Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное учреждение высшего образования
«Тульский государственный университет»
Белорусский национальный технический университет
Донецкий национальный технический университет
Правительство Тульской области
Российская академия архитектуры и строительных наук

Научно- образовательный центр геоинженерии, строительной механики и материалов

16-я Международная конференция по проблемам горной промышленности, строительства и энергетики

«СОЦИАЛЬНО-ЭКОНОМИЧЕСКИЕ И ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ ГОРНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ, СТРОИТЕЛЬСТВА И ЭНЕРГЕТИКИ»

Тула – Минск – Донецк
19-20 Ноября 2020

Материалы конференции
Том 1

Под общей редакцией
доктора техн. наук, проф. Р.А. Ковалева

Издательство ТулГУ
2020

УДК 622:001.12/18:504.062(1/9);620.9+502.7+614.87
ББК 18+26.1(2)+31.3+33+38.1(6)
С 69

16-я Международная конференция по проблемам горной промышленности, строительства и энергетики. «Социально-экономические и экологические проблемы горной промышленности, строительства и энергетики». В 2 т. Т.1: материалы конференции. Тула: Изд-во ТулГУ, 2020. 378 с.

ISBN 978-5-7679-4717-1
ISBN 978-5-7679-4718-8 (т.1)

Представлены материалы научных исследований по эффективным технологиям в области геоэкологии, геотехнологиям, мониторингу природно-техногенной среды, технологиям переработки и хранения отходов производства, экономике природопользования, механике материалов и строительных конструкций; технологиям и экологическим проблемам строительных материалов; эксплуатации, обследованию и усилению строительных конструкций; архитектуре и архитектурному проектированию; технологии, организации, управлению и экономике строительного производства; энергетике, энергосбережению, электрооборудованию и электроснабжению; теплогазоснабжению, санитарно-техническим системам и оборудованию.

Предложены способы оценки, прогнозирования и контроля техногенного загрязнения окружающей среды. Обсуждаются вопросы безопасности подземных горных работ, а также проблема управления риском потенциально опасной деятельности.

Сборник предназначен для научных, инженерно-технических работников и студентов, изучающих проблемы создания системы научных знаний и их эффективного практического применения при решении социально-экономических и экологических задач в горной промышленности, строительстве и энергетике.

Организационный комитет благодарит ученых, специалистов и руководителей производств, принявших участие в работе конференции, и надеется, что обмен информацией был полезным для решения актуальных задач в области фундаментальных и прикладных научных исследований, производственной деятельности и в образовательной сфере.

УДК 622:001.12/18:504.062(1/9);620.9+502.7+614.87
ББК 18+26.1(2)+31.3+33+38.1(6)

ISBN 978-5-7679-4717-1
ISBN 978-5-7679-4718-8 (т.1)

© Авторы материалов, 2020
© Издательство ТулГУ, 2020

Tula State University
Donetsk national technical university
Belarusian national technical university

The Government of the Tula region
Russian Academy of Architecture and Building Sciences
Scientific-educational centre of geoengineering,
building mechanics and materials

The 16-st International Conference on the Mining Industry, Building and Energetic Problems

«SOCIO-ECONOMIC AND ENVIRONMENTAL PROBLEMS OF THE MINING INDUSTRY, BUILDING AND ENERGETICS»

Tula – Minsk – Donetsk
19-20 November 2020

Materials of the Conference
Volume 1

Under the editorship of Doctor of Science,
Professor Roman A. Kovalev

Tula State University
2020

UDK 622:001.12/18:504.062(1/9);620.9+502.7+614.87

The 16-st International Conference on the Problems of the Mining Industry, Building and Energetic «Socio-economic and Environmental Problems of the Mining Industry, Building and Energetic»: . with 2 v. V. 1: conference materials. Tula, Tula State University, 2020, 439 p.

ISBN 978-5-7679-4717-1
ISBN 978-5-7679-4718-8 (т.1)

There is information about scientific research by effective technologies at the environmental protection area, geotechnologies, monitoring natural and man-caused environment, reprocessing and storage industrial wastes technologies, nature management economics, mechanics of materials and building constructions; technological and environmental problems of building materials; exploitation, inspection and strengthening the building constructions; architecture and architectural designing; technology, organizing, management, and economics of building industrial; energetics, energy-saving, electrical equipments and electric power supply; heat and gas supply, sanitary-technological systems and equipment in the collection of papers.

Methods of estimating, forecasting and man-caused controlling of environmental polluting were proposed. Underground mining safety and the problem of management by potential dangerous activity risk are discussed.

The collection of papers is meant for scientists, engineers and students, which studying problems of creating scientific knowledge system and their effective practical using for solving socio-economic and environmental problems at the mining industry, building and energetics.

Organizational committee thanks the scientists, specialists and chiefs of enterprises taking part in working the Conference and hopes for that the information changing has been useful for solving topical problems at the fundamental and applied scientific researches area, practical business activity and education sphere.

ISBN 978-5-7679-4717-1
ISBN 978-5-7679-4718-8 (т.1)

© Authors of materials, 2020
© Tula State University, 2020

ТУЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

90 лет

Тульский государственный университет – один из крупнейших вузов Центральной России, который в 2020 году отметил 90-летний юбилей.

По понятным причинам широко отпраздновать юбилей не удалось. Поэтому праздник мы встретили в рабочей атмосфере. Непростой этот год был ознаменован рядом важнейших для университета событий и значимых достижений.

Также хочу передать наилучшие пожелания и поздравления с юбилеями в два университета, с которыми мы поддерживаем партнёрские отношения – в Белорусский национальный технический университет и в Донецкий национальный технический университета. Оба вуза отмечают вековые юбилеи!

Работу Тульского государственного университета, как и всей системы образования России, в 2020 году во многом определяла пандемия коронавируса. Этот период потребовал принятия быстрых, точных и неординарных решений и многому нас научил. Две экзаменационные сессии мы провели в режиме онлайн, приёмная кампания также прошла в основном в удалённом формате, причём, когда в Тульской

области был снят ряд ограничений, и абитуриенты получили возможность обращаться в приёмную комиссию лично, многие всё же предпочли дистанционный формат, оценив его удобство.

В уходящем году ТулГУ участвовал в программе Минобрнауки России по модернизации инфраструктуры учреждений высшего образования. Благодаря федеральному финансированию, нам удалось капитально отремонтировать ряд учебных корпусов, общежитий, провести глобальную реконструкцию старейшего спортивного объекта университета – стадиона «Буревестник».

В 2020 году состоялся первый выпуск возрождённого в 2018 году при поддержке губернатора Тульской области А.Г. Дюмина военного учебного центра (ВУЦ) ТулГУ. Военное образование в вузе, где готовят специалистов ОПК – вопрос первой необходимости.

ТулГУ принимал активное участие в мероприятиях Года памяти и славы. Весной курсанты ВУЦ в течение 75 дней несли Вахту Памяти у стелы павшим студентам и сотрудникам в студгородке нашего вуза. Первый короткометражный фильм студенческого медиацентра о войне, премьера которого состоялась накануне Дня Победы, стал победителем киношколы «Ру-Кино». За первые дни после размещения в сети картина набрала больше 100 тысяч просмотров.

Как и по всей России, волонтёры ТулГУ активно участвовали в движении «Мы вместе». Штаб акции работает в Тульской области и сейчас, в нём трудятся студенты различных специальностей, но особое место занимают, конечно, будущие врачи. Ребята с младших курсов выполняют работу санитаров, а старшекурсники и ординаторы трудятся в отделениях, в том числе в инфекционных госпиталях. За период второй волны к работе в организациях здравоохранения региона привлечено более 1200 человек. Мы поддерживаем наших студентов и морально, и материально, создаём для них максимально комфортные и безопасные условия.

В 2020-м учёные ТулГУ вновь стали победителями конкурса грантов Президента РФ, обладателями стипендий Президента и Правительства РФ. Разработки наших специалистов вошли в список «100 лучших изобретений России». ТулГУ занял высокую позицию в Национальном агрегированном рейтинге (НАР), в числе 7% вузов России. Разработки университета демонстрировались на Ежегодной национальной выставке «ВУЗПРОМЭКСПО-2020» и на форуме «АРМИЯ-2020», где специалисты ТулГУ также поделились опытом организации работы ВУЦа.

Важнейшим событием стала для нас победа в конкурсном отборе по созданию в Тульской области научно-образовательного центра.

НОЦ «ТулаТЕХ» объединил четыре направления, ключевым из которых является ОПК («ОБОРОНтех»). Это комплексные передовые разработки мирового уровня в сферах управляемого высокоточного оружия и ракетного вооружения.

Стратегической целью НОЦ является создание к 2025 году в Тульской области кооперационной структуры по разработке, производству и реализации продукции и технологий военного, гражданского и двойного назначения мирового уровня.

Дорогие друзья! Я искренне желаю всем вам крепкого здоровья, благополучия, успехов, свежих творческих планов и выражаю глубокую признательность за вашу неиссякаемую энергию и, конечно же, за присущий вам дух творческого поиска при освоении новых высот!

Ректор ТулГУ
Грязев Михаил Васильевич

ТУЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ - крупнейший опорный вуз региона

«Тула веками оружие ковала» – так начинается гимн оружейной столицы России. Слова эти справедливы во все времена. В первой половине прошлого века высшее образование было необходимо городу, чтобы воспитать инженеров и конструкторов, создать культуру преемственности инженерных знаний. Это позволяло не только значительно усовершенствовать уже выпускаемые в Туле образцы вооружения, но и создавать новые.

1 октября 1930 года первые 240 студентов начали обучаться в тогда ещё Тульском механическом институте по четырём специальностям – холодная и горячая обработка металлов, инструментальное производство и станкостроение. Подготовка специалистов для оборонных предприятий Тулы была начата силами 35 преподавателей на 8 кафедрах, без собственных учебных корпусов и общежитий.

16 декабря 1934 года состоялись первые защиты дипломных проектов выпускников. Первые факультеты – механический и специальный – появились в 1937 году, а через два года в институте была защищена первая кандидатская диссертация.

Все эти годы вуз развивался, рос его статус: до 1963 года – Тульский механический институт, затем – Тульский политехнический институт, по привычке многие туляки и сегодня зовут его «полите-

хом». В 1992 году «политех» стал Тульским государственным техническим университетом. Но уже было ясно: региону нужен многопрофильный вуз, который сможет удовлетворить потребности и экономики промышленной области, и её социальной сферы, регулярно снабжать предприятия инновациями. Так в 1995 году появился Тульский государственный университет.

ТулГУ сегодня – это 18 учебных и 12 лабораторных корпусов, 14 общежитий и свыше 20 тысяч студентов всех форм обучения. Спектр образовательных программ – 50 направлений подготовки бакалавриата, 45 направлений магистратуры, 12 специальностей, 28 направлений аспирантуры, 24 специальности ординатуры и 11 специальностей среднего профессионального образования. К слову, в 2011 году тульский вуз был одним из первых в стране, в состав которого вошёл технический колледж. Время довольно быстро показало, что эксперимент был успешным. Одно из самых крупных в регионе учреждений СПО – Технический колледж им. С.И. Мосина – значительно укрепил свою материальную базу и кадровый потенциал, вывел подготовку кадров для промышленных предприятий на новый уровень, успешно интегрировался во все процессы большого вуза. Студенты колледжа получили доступ к университетской инфраструктуре, возможность прохождения практик на передовом оборудовании, выросло число выпускников СПО, которые выстраивают свою образовательную траекторию, продолжая обучение на ступени высшего образования. В вузе успешно реализуются программы прикладного бакалавриата.

Инфраструктура ТулГУ – одна из самых масштабных среди всех организаций Тульской области. Помимо учебных корпусов и общежитий, университетский кампус располагает множеством спортивных объектов: два стадиона, два бассейна, универсальные и тренажёрные залы. Работают университетский детский сад, санаторий-профилакторий, собственный медицинский клинический центр, есть база отдыха на реке Оке.

Очередная важная страница в истории ТулГУ была открыта в 2017 году, когда университет вошёл в число 33 опорных вузов России. Опорой, согласно проекту, вуз становится местной среде в самом широком смысле этого слова. Сегодня такой подход называют третьей миссией (первая – образование, вторая – наука). В основе такой миссии лежит принцип обеспечения университетом положительного влияния на развитие городов и регионов.

В 2016 году в Тульской области по инициативе губернатора Алексея Геннадьевича Дюмина была принята и сегодня реализуется Программа социально-экономического развития. Её положения фор-

мировались экспертами совместно с широкой общественностью и охватывают все основные направления жизни региона и его граждан. На основе этого документа разработана Программа развития ТулГУ как опорного университета в тесном сотрудничестве с правительством области.

Основными векторами программы развития ТулГУ являются оборонно-промышленный комплекс (ОПК), строительная отрасль, транспорт, медицина и подготовка рабочих кадров.

Что касается флагманского проекта опорного университета – подготовки кадров и научных открытий мирового уровня в области ОПК – то сегодня в этом направлении просматриваются большие перспективы. В Туле удалось создать уникальную инфраструктуру оборонной промышленности, которая ориентирована на разработку и производство оружия, и включает в себя:

- профильные образовательные учреждения;
- научно-исследовательские институты и конструкторские бюро;
- производственные предприятия оборонного комплекса.

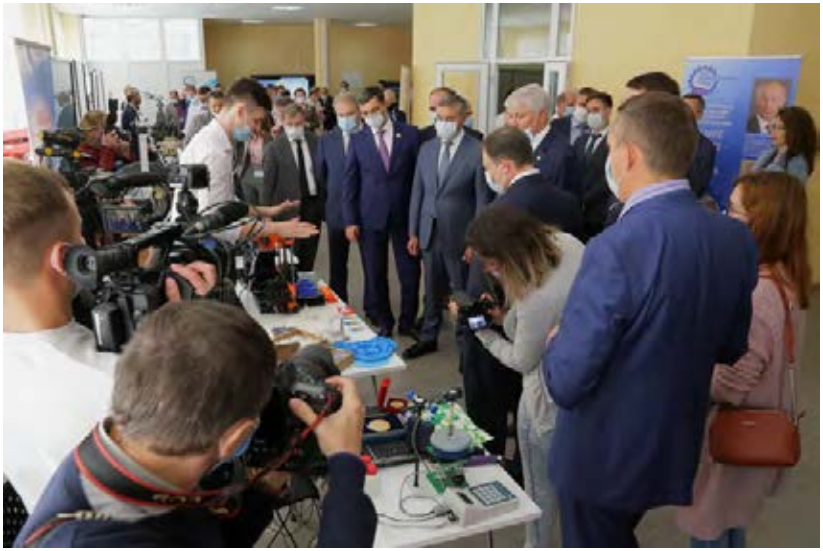
Столь тесное взаимодействие производства, профильного образования и научных исследований обусловлено традициями преемственности, формируемыми в Туле долгие годы. Одна из особенностей ТулГУ: к организации обучения здесь всегда привлекали успешных выпускников. Ряд кафедр и сегодня возглавляют директора и ведущие конструкторы оборонных предприятий Тулы, некогда окончившие вуз.

Спектр специальностей, по которым ведётся обучение в ТулГУ, позволяет готовить специалистов высокого уровня, способных создавать средства вооружения, начиная со стадии предварительных теоретических расчётов и заканчивая технологией его серийного производства. Такого набора специальностей оборонного профиля не имеет ни одно образовательное учреждение России. Обучение ведут преподаватели, многие из которых принимали непосредственное участие в разработке различных систем оружия и технологий его производства. Практические и лабораторные занятия проходят с использованием реальных образцов военной техники, стоящих на вооружении.

В Туле гордятся тем, что 60% техники, которую Россия демонстрирует на Параде Победы в Москве, либо создано тульскими предприятиями ОПК, либо при их непосредственном участии.

Во время рабочей встречи министра науки и высшего образования В.Н. Фалькова с руководством Тульской области было отмечено, что одна из основных целей региона – создание высокотехнологичной продукции, способной конкурировать на мировом рынке. Такую зада-

чу перед страной поставил Президент России Владимир Путин. И в Тульской области для этого есть всё необходимое.



Знакомство Министра науки и высшего образования РФ В.Н. Фалькова с научным потенциалом ТулГУ во время визита в Тулу сентябрь 2020

Исторически сильная и динамично развивающаяся промышленность. Более 40% валового регионального продукта создаётся в обрабатывающем секторе. Индекс промышленного производства в Тульской области составляет 120% (1-е место в ЦФО и 4-е в России). Высокий инвестиционный потенциал, который формируется за счёт региональных и федеральных мер поддержки инвесторов. В рейтинге инвестиционного климата Агентства стратегических инициатив Тульская область занимает 3-е место по стране, опережая Московскую область и Санкт-Петербург. Наукоёмкие производства – в регионе они представлены в основном в ОПК, машиностроении, химии, радиоэлектронике. Ведущие предприятия этих отраслей успешно внедряют современные технологии, используют передовой опыт, осваивают новые виды производств. И, пожалуй, главный фактор – квалифицированные кадры, задачу подготовки которых решает опорный университет.

Вклад ТулГУ в систему подготовки кадров региона составляет почти 60%, а по ключевым отраслям экономики, таким как машиностроение, строительство, транспорт, являющимся основными источни-

ками формирования валового регионального продукта, вклад университета достигает 85-90%.

Научные исследования в Тульском государственном университете ведутся в 74 научных направлениях, соответствующих приоритетным направлениям развития науки, технологий и техники в Российской Федерации.

Ключевые образовательные и научные компетенции университета сосредоточены в области подготовки кадров и научных исследований в интересах организаций оборонно-промышленного комплекса России. В вузе сложились научные школы в области систем и комплексов вооружения, стартовых и технических комплексов реактивных систем, теплофизики и газодинамики, механики деформируемого твёрдого тела, управляемых динамических систем и ряд других.

В рамках создания системы выявления и развития молодых талантов ТулГУ активно способствует развитию олимпиадного движения. Опорный университет является учредителем олимпиады по физике и математике «Наследники Левши», которая включена в Перечень олимпиад школьников Министерства науки и высшего образования России. Победители олимпиады по физике имеют возможность поступать на технические специальности ТулГУ без экзаменов, получают существенные льготы в других вузах.

Университет является соорганизатором ряда других олимпиад – олимпиады САММАТ по математике, Инженерной олимпиады центра России. С 2015 года ТулГУ выступает в качестве соорганизатора Многопрофильной инженерной олимпиады школьников «Звезда», проводимой Союзом машиностроителей России.

Подобная целенаправленная работа опорного вуза приносит свои результаты. За период с 2015 по 2019 год количество студентов, поступивших на технические направления подготовки и специальности всех форм обучения, выросло в полтора раза, с 1704 до 2592 человек.

В ТулГУ уделяется особое внимание целевой подготовке кадров. Вуз работает над адаптацией образовательных программ под конкретные запросы предприятий, что позволяет выпускать именно тех специалистов, которые будут востребованы. Университет успешно участвовал в нескольких программах «Новые кадры ОПК». Результатом их реализации стали новые практико-ориентированные образовательные модули, адаптированные под требования конкретных организаций оборонно-промышленного комплекса.

Студенты, обучающиеся на целевых местах, проходят практику на «своих» предприятиях и уже во время учебы погружены в производственный процесс. Они имеют возможность в рамках практиче-

ской подготовки знакомиться с уникальным оборудованием оборонных предприятий Тулы, а дипломное проектирование проводят по реальным тематикам опытно-конструкторских работ.

География трудоустройства выпускников-«оборонщиков» не ограничивается Тульской областью. Более 70 предприятий из 20 регионов ежегодно принимают на работу специалистов с дипломом опорного вуза.

По инициативе губернатора Тульской области А.Г. Дюмина в регионе создана научно-производственная рота, в которой проходят службу, в основном, выпускники ТулГУ. Они трудятся в Конструкторском бюро приборостроения и в НПО «Сплав». За два года работы этот механизм доказал свою эффективность, а в 2019 году научная рота туляков организована в военном иннополисе «ЭРА».

Строевая подготовка в военном учебном центре ТулГУ

Важность военной подготовки для специалиста в сфере ОПК трудно переоценить, поэтому возрождение в ТулГУ военной кафедры, а теперь – военного учебного центра, стало своевременным и дальновидным решением. В 2020 году состоялся первый выпуск сержантов запаса по четырём военно-учётным специальностям, ведётся подготовка офицеров запаса.

Тульский государственный университет расширяет сотрудничество с ведущими школами региона. Успешно функционируют физико-

математические школы и инженерные классы в крупных центрах образования Тулы. Так в тульском центре образования №3 открыт профильный «ТОЗ-класс» совместно с ведущим предприятием региона – Тульским оружейным заводом. Методическую поддержку университета получает и центр образования №58 «Поколение будущего» – первая школа, построенная с нуля в Тульской области за 20 лет. С 1 сентября 2020 года здесь начал свою работу 10-й медицинский класс, в подготовке учащихся задействованы представители медицинского и естественнонаучного институтов ТулГУ.

Силами преподавателей и студентов ТулГУ в Тульском суворовском военном училище созданы научные классы. 86% образовательных дисциплин с углубленным изучением основ и направлений военной науки реализуются в училище преподавателями ТулГУ.

Всё это позволяет говорить о создании и дальнейшем развитии в регионе системы непрерывного инженерно-технического образования, интегрированной в современное научно-инновационное пространство.

ТулГУ продолжает поступательное движение к созданию образовательной организации, отвечающей мировым стандартам, как по качеству образования, так и по уровню проводимых научных исследований.

Новая реальность диктует новые требования к кадрам и образовательным технологиям.

Вопрос цифровизации образования сегодня обсуждается на всех уровнях, вузы предпринимают шаги в развитии этого направления. Больше десяти лет в структуре ТулГУ работает Интернет-институт, где благодаря широким возможностям дистанционных технологий, получают образование сотни студентов не только из разных уголков России, но и из разных стран.

Пандемия наглядно продемонстрировала возможности онлайн-образования, и хотя такой формат не может и не должен быть единственным в вузе, дистанционная работа положительно повлияла на процесс создания электронной образовательной среды. Будущее за формированием индивидуальных образовательных траекторий с помощью технологий электронного обучения, онлайн-платформ.

Научно-технологическое развитие машиностроительной отрасли и оборонно-промышленного комплекса региона, решение задач социальной сферы, в первую очередь медицины и экологии Тульской области – приоритетные направления развития опорного вуза.

Проректор ТулГУ по научной работе
М.С. Воротилин

ИНСТИТУТ ГОРНОГО ДЕЛА И СТРОИТЕЛЬСТВА ТулГУ 70 лет

Вместе с Тульским государственным университетом, которому в 2020 году исполняется 90 лет, с момента его создания, свою круглую дату, 70 лет, отмечает институт горного дела и строительства Тульского государственного университета.

История подготовки горных специалистов в Тульском механическом институте (ТМИ) началась на базе горного отделения механико-технологического факультета с 5 октября 1950 г. Первым деканом факультета был Лашнев Серафим Иванович. Подготовка велась по специальностям «Горная электромеханика», «Горные машины», «Разработка угольных (пластовых) месторождений». В декабре 1952 г. состоялся первый выпуск. Квалификация инженера-механика по горному машиностроению присвоена пятидесяти трем выпускникам, одиннадцать из них получили дипломы с отличием.

Во исполнение постановления Совета Министров СССР № 1548 от 19 июня 1953 г. был образован Тульский горный институт (ТГИ) и на базе ТМИ осуществлен первый набор студентов по специальностям «Разработка месторождений полезных ископаемых» и «Горная электромеханика». С этого события начинается история Тульского горного института. При этом в рамках Тульского механического института продолжалась подготовка специалистов на факультете горного машиностроения, который в 1962 году был переименован в приборомашиностроительный факультет.

С 1953 г. директором Тульского горного института назначается канд. техн. наук, доц. Н.Н. Толокнов. В институте подготовка велась по специальностям: «Разработка месторождений полезных ископаемых», «Строительство горных предприятий», «Горная электромеханика».

В 1955 г. был построен учебный корпус Тульского горного института - ныне 1 учебный корпус ТулГУ. ТГИ состоял из горного и шахтостроительного факультетов. Институт имел филиал в Сталиногорске (ныне Новомосковске) Тульской области. Подготовка в филиа-

ле велась по 2 специальностям - «Разработка месторождений полезных ископаемых» и «Горная электромеханика».

Здание Тульского горного института

Первый выпуск горного факультета Тульского горного института составил 177 горных инженеров. Шахтостроительный факультет тульского горного института вел подготовку по специальностям «Строительство горных предприятий» и «Промышленное и гражданское строительство». Деканом факультета был назначен П.П. Полежаев, а в 1958 г. деканом избран А.А. Алексеев. В 1957 году были образованы кафедры «Строительной механики и конструкций» (зав кафедрой - Л.А. Толоконников) и «Технологии строительного производства» (заведующий кафедрой - А.А. Алексеев), «Сантехники, гидравлики и теплотехники» (заведующий кафедрой - Л.М. Даманский), «Архитектуры и строительных материалов» (заведующий кафедрой - И.П. Грызлов),

Решением Думы от 24 сентября 2008 года определено установить мемориальную доску заслуженному архитектору города Тулы Грызлову Ивану Порфирьевичу на восьмом учебном корпусе.

В 1958 году студентами стали 50 абитуриентов из первого набора и пятьдесят второкурсников, перешедших на специальность «Промышленное и гражданское строительство» с горных специальностей.

6-ой учебный корпус института горного дела и строительства ТулГУ

В 1959 году Шахтостроительный факультет Тульского горного института был преобразован в строительный факультет. Первый выпуск инженеров-строителей состоялся в 1959 г. в количестве 46 специалистов, которые стали участниками строительства сверхмощной доменной печи Новотульского металлургического завода (трест «Металлургстрой» - Ю.М. Данилин, В.Е. Лазаренко, Б.А. Гусев, М.А. Игнатова, Т.П. Перерушева), создавали объекты большой химии в Щекино и Новомосковске (Ю.М. Фокин, Б.Н. Масловский, А.И. Наумов, Н.И. Цветков), сильной базы строительной индустрии в регионе и массового жилищно-гостроительства (А.О. Касаткин, Л.И. Левинский), стали проектировщиками в институтах и конструкторских бюро (Ж.С. Данилина, Э.Г. Азиева, Р.Г. Ризаев, А.Ф. Касаткина, В.Л. Питин), аспирантами и сотрудниками вузов и НИИ (Л.А. Зиборов и В.И. Игнатов - будущие деканы строительного факультета, Э.И. Шлапакова - канд.техн.н., доцент кафедры «Водоснабжения и водоотведения», Л.Г. Дмитриева –
старший преподаватель кафедры «Архитектура»).

В соответствии с Постановлением Министра высшего и среднего образования РСФСР от 19.06.63 г. произошло объединение ТМИ И ТГИ с присоединением Тульского горного техникума в Тульский политехнический институт. В 1964 г. факультет грузоподъемного и горного машиностроения был присоединен к горно-металлургическому факультету (декан - А.Д. Климанов).

В последующие годы с этого факультета на вновь образовываемые факультеты транспортного машиностроения и экономический бы-

8-ой учебный корпус института горного дела и строительства ТулГУ

ли переданы ряд кафедр и им поручена подготовка кадров по разным специальностям.

Кафедра транспортных и строительных машин и комплексов, организованная в составе факультета грузоподъемного и горного машиностроения, в январе 1967 г. вошла в структуру факультета тяжелого машиностроения. Её заведующими были канд. техн. наук, доц. Г.П. Ананьин,- канд. техн. наук, доц. Е.А. Момотков, 1974-1980 гг. - канд. техн. наук, доц. В.А. Голутвин, 1980-1982 гг. - д-р техн. наук, проф. Э.С.Макаров.

Приказом по ТПИ №284 в 1966 г. горно-металлургический факультет переименован в горный факультет, деканом которого с этого момента до 1973 г. являлся Э.М. Соколов, по 1975 год - В.Л. Попов, а с 1975 года по 1998 года Е.И. Захаров.

Перед объединением в 1998 г. на горном факультете работали пять кафедр: «Технология и механизация горных работ» (зав. кафедрой - В.Н. Каретников); «Строительство подземных сооружений» (зав. кафедрой - Н.С. Булычев); «Горные машины и комплексы» (зав кафедрой - В.А. Бреннер); «Геология» (зав. кафедрой - С.С. Кузнецов); «Аэрология, охрана труда и окружающей среды» (зав. кафедрой - Э.М. Соколов).

При образовании Тульского политехнического института строительный факультет не изменил свое название, его деканами являлись: А.А. Алексеев, - Л.А. Толоконников, Г.А. Нехаев, А.М. Тужилкин, - В.И. Игнатов, - Л.А. Зиборов, - М.Е. Хазанов, - Н.М. Матченко.

Приказом по ТулГУ №439 от 16.06.98 г. на основании решения Ученого совета от 8 июня 1998 г. по реорганизации структуры университета, были объединены горный и строительный факультеты в горно-

строительный факультет. Его деканами являлись: с июня 1998 по 2001 год Е.И. Захаров, с 2001 по 2006 год Н.М. Качурин, с 2006 года Р.А. Ковалев. В 2014 году в результате реорганизации горно-строительного факультета был образован Институт горного дела и строительства, директором которого был избран Ковалев Роман Анатольевич.

В настоящее время в институте ведется подготовка студентов по тридцати двум основным образовательным программам специалитета, бакалавриата, магистратуры и аспирантуры на семи кафедрах: «Геотехнология и строительство подземных сооружений» (ГиСПС) -зав. каф. д-р техн. наук проф. Н.М. Качурин; «Геоинженерия и кадастр» (ГиК) -зав. каф. д-р техн. наук проф. И.А. Басова; «Городское строительство, архитектура и дизайн» (ГСАиД) -зав. каф. д-р тех. наук К.А. Головин;«Механика материалов» (МехМат) -зав. каф. д-р техн. наук, проф. С.В. Анциферов;«Охрана труда и окружающей среды» (ОТиОС) -зав. каф. д-р техн. наук, проф. В.М. Панарин; «Строительство, строительные материалы и конструкции» (ССМиК) - зав. каф. д-р техн. наук А.А. Трещев; «Санитарно-технические системы» (СТС) - зав. каф. д-р техн. наук Р.А. Ковалев.

Участники программы Русского географического общества Студенты института горного дела и строительства ТулГУ

На 7 кафедрах института горного дела и строительства работают 135 преподавателя, в том числе 30 профессора, доктора наук, 72 доцентов, кандидатов наук, обучаются 200 магистров, 32 аспиранта и более 800 студентов, в том числе около250 - на коммерческой основе. В институте работают 12 академиков государственных и отраслевых академий, 4 заслуженных деятелей в области науки и образования Рос-

сии, 11 почетных работников высшего образования, 2 заслуженных строителя РФ, 2 заслуженных архитектора РФ.

Студенты каф. ГиСПС. Финалисты международного конкурса CASE-IN

В 2015 году институт прошел государственную аккредитацию по всем реализуемым образовательным программам бакалавриата, специалитета, магистратуры и аспирантуры.

Повышение конкурентоспособности выпускников института горного дела и строительства ТулГУ на рынке образовательных услуг обеспечена динамичным развитием учебно-методической и лабораторной базой. При поддержке ректора ТулГУГрязева Михаила Васильевича создан и активно работает "Инжиниринговый центр "Машины и оборудование для горнодобывающей отрасли". Отремонтированы и оснащены новым оборудованием лаборатории.

За последние 5 лет создана сеть научно-образовательных центров, имеющих различные задачи и направления деятельности и обеспечивающих развитие образовательной среды студентов направления 08.03.01 «Строительство» и 20.00.00 «Техносферная безопасность». С 2017 по 2020 год созданы: межкафедральный научно-производственный центр строительных технологий и материалов на базе АО «Перспектива»; научно-производственный центр строительных конструкций на базе ООО «Строймеханика-2»; межкафедральный научно-образовательный центр на базе ООО «Центр качества «Стройконтроль»; межкафедральный научно-производственный центр строительных конструкций и материалов на базе АО «Первомайский завод ЖБИ»; научно-производственный центр «Экологическое машино-

строение» на базе ООО «Экотэч»; совместный с ООО «Эко Фостер» НОЦ инновационных технологий диспергирования материалов.

Совместно с ООО «Скуратовский опытно-экспериментальный завод» создано в 2020 году НПО по проблеме «Придание грунтовым массивам заданных физико-механических свойств в условиях плотной городской застройки».

Лаборатория отопительной техники«BOSCH-термотехника»

Привлечение софинансирования в систему организации и сопровождения научно-исследовательской и инновационной деятельности Тульского государственного университета стало основой развития научно-исследовательской базы института ГДиСТулГУ.

Средства софинансирования со стороны ООО «Протон-2000», выделенные в рамках реализации стратегического проекта 7,2 млн. рублей (в 2017 году), позволили создать на базе института современную учебно-производственную базу, отвечающую требованиям образовательных стандартов. Предприятия партнеры оказали софинансирование в 2018 году на сумму 3, 433 млн. рублей, а в 2019 году на общую сумму 5,926 млн. рублей. Компания ООО «Этек ЛТД» предоставила оборудование на сумму 984 тыс. руб. и дооснастила лабораторию «Системы водоочистки и водоподготовки». В связи с этим к 2020 году институт смог стать базой учебных практик студентов высшего образования, а университету позволило перенаправить собственные финансовые ресурсы на решение иных профильных задач.

Лаборатория гидравлики высоких и сверхвысоких давлений

Созданный научно-

образовательный многофункциональный комплекс в области строительства и техносферной безопасности, основанный на взаимодействии с предприятиями-партнерами, обеспечивающий разработку технологий и реализацию проектов, включен в образовательный процесс обучения студентов и аспирантов и реализуется в виде широкого внедрения в учебный процесс практико-ориентированных работ на основе кейсовых заданий. Численность слушателей,с начала реализации проекта,из сторонних организаций, прошедших обучение по программам переподготовки и очно-дистанционного обучающего комплекса повышения квалификации составила 740 человека, что в двое больше запланированной

Учебный класс отопительной техники компании«VAILLANT»

В 2018 году соглашение о сотрудничестве с АНО «Конверсионный кластер цифрового экологического машиностроения», первого в России, было подписано ректором ТулГУ Грязевым М.В. На базе ТулГУ АНО «Тула Экомаш», в рамках развития промышленной кооперации с производственными предприятиями Российской Федерации, подписано соглашение о создании Машиностроительного кластера и Всероссийской Ассоциации Экологического машиностроения.Её регистрация прошла в июле 2020 года. В результате совместной работы было оформлена и внесена в реестр новая отрасль – 330.33 «Экологическое машиностроение». Проведена работа в Минпром-торге России для формирования Перечня современных технологий, в целях проведения конкурса для предоставления субсидий на НИОКР в соответствии с Правилами, утвержденными постановлением Правительства. Российской Федерации от 12.12.2019 № 1649, для дальнейшей работы-

по проведению изысканий в области научных экологических исследованийи научных тематик кафедр института.

В институте горного дела и строительства активно идет работа по подготовке аспирантов и докторантов. За 2020 год в диссертационном совете Д 212.271.04Тульского государственного университетапроведены защиты 9 диссертаций, из которых успешно прошли защиту 6 аспирантов изинститута ГДиС ТулГУ.

НОЦ инновационных технологий диспергации материалов и электроактивации процессов

Институт развивает международные и академические связи, сотрудничает с Сианьским горным институтом (Китай), Белградским университетом (Сербия), Университет г.Генуя (Италия), Технический университет г. Бранденбург (Германия), Университет г. Паннония (Венгрия), Международной Академией наук экологии и безопасности жизнедеятельности, Белорусским национальным техническим университетом, Московским государственным горным университетом (МГГУ), Санкт-Петербургским горныминститутом (техническим университетом), Кузбасским государственным техническим университетом и др.

Магистры института горного дела и строительства ТулГУ

БЕЛОРУССКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

100 лет

БЕЛОРУССКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ: УНИКАЛЬНЫЙ ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЙ И НАУЧНО-ИННОВАЦИОННЫЙ КЛАСТЕР НАЦИОНАЛЬНОЙ СИСТЕМЫ ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

Представить систему образования в Республики Беларусь без Белорусского национального технического университета (БНТУ) невозможно.

Исторический путь белорусского народа к национальному техническому образованию, которое на сегодняшний день имеет статус базового для стран СНГ, нельзя назвать простым. Были разные исторические события – войны и революции, взлеты и падения. Периоды стабильности являлись островками благополучия, которые раскрывали огромный научный, образовательный и инновационный потенциал белорусского народа.

Белорусская земля за эти короткие промежутки спокойствия и стабильности дала миру много известных имен. Так, например, свой творческий путь в стенах БНТУ начинал лауреат Нобелевской премии Жорес Алфёров.

БНТУ 10 декабря 2020 года исполняется 100 лет! Это праздник не только для коллектива университета. Это достояние для всего белорусского народа.

БНТУ – единственный университет республики, который имеет статус национального. БНТУ имеет статус базовой организации государств – участников СНГ по высшему техническому образованию и статус базовой организации государств – участников СНГ по подго-

товке, переподготовке и повышению квалификации кадров по нормированию труда.

В БНТУ около 35 тысяч студентов. Уникальная инновационная инфраструктура представляет образовательно-научно-производственный комплекс, в который входят 16 факультетов, 92 кафедры с 96 филиалами, филиал БНТУ «Научно-исследовательский политехнический институт» (НИПИ), Республиканское инновационное унитарное предприятие «Научно-технологических парк БНТУ «Политехник», филиал БНТУ «Опытный завод «Политехник», 9 филиалов-колледжей, лицей, филиал в городе Солигорске, санаторий-профилакторий, научная библиотека, Институт Конфуция по науке и технике, Белорусско-Узбекский межотраслевой институт прикладных технических квалификаций, 18 совместных международных научно-технических центров и лабораторий.

Подготовка студентов ведется по 87 специальностям, магистров – по 26, аспирантов – по 56, докторантов – по 34. БНТУ за вековой путь выпустил более 200 тысяч специалистов для республики и свыше 8 тысяч для 120 стран мира. С 2019 года начато обучение на английском языке по 8 специальностям высшего образования, 4 специальностям магистратуры, 12 специальностям аспирантуры.

В рейтинге Webometrics БНТУ занимает 2540-ю позицию среди 28 тысяч университетов мира. Среди технических университетов БНТУ входит в топ-300 лучших университетов. По данным авторитетного рейтинга QS, БНТУ является 103-м университетом в регионе Восточной Европы и Центральной Азии и входит в 800-1000 лучших университетов мира.

В 2019 году создан совместный Белорусско-Узбекский межотраслевой институт прикладных технических квалификаций в г. Ташкенте. Первый выпуск состоится в 2024 году.

С 2012 года на базе БНТУ ежегодно проводятся Форумы вузов инженерно-технологического профиля Союзного государства, в работе которых принимают участие около 200 ученых из 100 университетов и компаний Республики Беларусь и Российской Федерации.

Активно развивается сотрудничество с университетами Китая. Так, одним из партнеров БНТУ является Северо-Восточный университет. Важным этапом сотрудничества стало открытие на базе БНТУ единственного в мире Института Конфуция по науке и технике.

БНТУ является учредителем научных журналов «Наука и техника» (входят в базу данных ESCI на платформе Web of Science), «Энергетика. Известия высших учебных заведений и энергетических объединений СНГ» (включен в SCOPUS), «Литье и металлургия»,

«Приборы и методы измерений» (входят в базу данных ESCI на платформе Web of Science), «Системный анализ и прикладная информатика», сборников «Машиностроение», «Металлургия», «Архитектура», «Теоретическая и прикладная механика», «Экономическая наука сегодня», «Автотракторостроение и автомобильный транспорт», «Транспорт и транспортные системы».

Система подготовки инженерных кадров БНТУ находится в фазе качественных изменений в рамках модели «Университет 3.0», предполагающей рациональное сочетание образования, науки и предпринимательства.

Системно ведется работа с интеллектуальной и имеющей способности к научной работе молодежью в БНТУ, которая основана на реализации идей личностного, креативного и социального развития как основных приоритетов обучения в университете и является первым шагом для получения послевузовского образования в аспирантуре. Так, с целью содействия повышению уровня подготовки студентов, магистрантов, аспирантов в отдельных областях знаний, а также создания условий для формирования творческой активности, самостоятельности молодежи университета в их научной работе, изучения ими результатов исследований и разработок отечественных и зарубежных ученых в БНТУ созданы и работают 21 студенческое бюро (центры, лаборатории). Непосредственно в научно-исследовательской работе ежегодно принимает участие не менее 40 % от общего числа студентов БНТУ.

В БНТУ работают32 научные школы под руководством ведущих ученых Республики Беларусь в области строительства и архитектуры, энергетики, транспортных коммуникация, горного дела, машиностроения, автотракторостроения, транспорта, металлургии, приборостроения, лазерных технологий и др. Работают 10 советов по защите диссертаций, из них 9 – докторских и 1 – кандидатский. За последние 10 лет в БНТУ получили послевузовское образование в аспирантуре 595 человек, из них 424 человека за счет средств республиканского бюджета, 171 – на платной основе, в том числе 72 аспиранта из числа иностранных граждан. За рассматриваемый период докторантуру окончили 23 человека.

За 5 лет БНТУ получено более 300 патентов, в том числе 50 патентов Евразийского патентного ведомства. Университет является головной организацией по 3 ГПНИ и ответственной организацией-исполнителем по 5 подпрограммам, а также принимает участие в выполнении заданий Государственной программы инновационного развития Республики Беларусь на 2016-2020 гг., Государственной про-

граммы развития физической культуры и спорта в Республике Беларусь на 2016-2020 гг., Государственной программы «Образование и молодежная политика» на 2016-2020 гг., шести научно-технических программ Союзного государства, четырех государственных научно-технических программ, восьми государственных программ научных исследований. Структурные подразделения БНТУ за последние 5 лет выполнили более 35 тысяч тем (заданий, проектов), в том числе более 34 тысяч хозяйственных договоров и контрактов.

На БНТУ приходится около 40 % объема всех прикладных научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ, выполняемых по прямым договорам университетами Республики Беларусь.

БНТУ тесно сотрудничает с крупными промышленными предприятиями, научными учреждениями и организациями Республики Беларусь. Стран СНГ, Европы, Азии и Африки. Научные исследования выполнялись по заявкам ОАО «Беларуськалий», ОАО «Белгорхимпром», ОАО «Минский автомобильный завод», ОАО «Минский тракторный завод», ОАО «БЕЛАЗ – управляющая компания холдинга «БЕЛАЗ-ХОЛДИНГ», ОАО «ИНТЕГРАЛ», ОАО «Пеленг», а таких зарубежных компаний, как ЗАО «Корпорация «Защита» (Российская Федерация), ЗАО ПП «Техника» (Российская Федерация), Skania CV AB, Volvo Car Corporation AB (Швеция), Daimler AG, BMW (Германия).

БНТУ имеет 183 договора с университетами и научными организациями из 44 стран мира. Университет принимает участие в 11 международных программах и проектах, выполняемых странами Евросоюза, Балтийского региона, Азии и СНГ. Наиболее значимыми среди них ERASMUS+, HORIZON 2020, Балтик Грид-2, а также проекты, выполняемые под патронажем ЮНЕСКО.

Из 47 стран среди иностранных обучающихся преобладают граждане Узбекистана, Таджикистана, Туркменистана, Китая, Ливана, Российской Федерации, Шри-Ланки, Украины, Казахстана, Египта. Одной из самых продуктивных форм обучения являются совместные образовательные программы, в рамках которых на текущий момент обучаются около 300 человек из Узбекистана, 70 человек из Китая и Шри-Ланки, 450 человек из Таджикистана.

В университете создано более 30 информационно-пропагандистских групп общей численностью свыше 220 работников. Студенческое самоуправление осуществляет свою деятельность посредством студенческого совета, старост совета, студенческой редакционной коллегии, добровольных дружин БНТУ. На уровне факультетов и общежитий студенческое самоуправление представлено

студенческими советами факультетов, советами старост факультетов, студенческими редакционными коллегиями факультетов и общежитий. В БНТУ работает первичная организация ОО «Белорусский республиканский союз молодежи» с правами районного комитета, которая на протяжении 10 лет является самой крупной первичной организацией в Республике Беларусь и насчитывает в своих рядах свыше 10 тысяч членов.

Особое место в образовательном и научном процессе БНТУ занимает научная библиотека. В ее структуру входят 17 отделов, в том числе – редакционно-издательский. Обслуживание пользователей осуществляется на 7 абонементах в 10 читальных залах.

Особое место в образовательном и научном процессе БНТУ занимает столетняя подготовка кадров для минерально-сырьевого сектора экономики. Добыча полезных ископаемых и переработка минерального сырья – научное направление, которое развивается факультетом горного дела и инженерной экологии и включает исследования, разработку и создание технологий и техники в области разработки месторождений полезных ископаемых, обеспечивающих сокращение объемов образования отходов производства и инженерную защиту окружающей среды.

Благодаря нашим исследованиям развивается минерально-сырьевая база ОАО «Беларуськалий», РУПП «Гранит», ОАО «Доломит», предприятий торфяного производства – введен в эксплуатацию Петриковский рудник, строится Дарасинский, рационально складируются отходы обогащения калийной руды, ведется добыча с минимальными потерями полезных ископаемых, разработаны технологии и параметры взрывов вблизи охраняемых объектов. Разработаны 10 изделий в области механизации горных работ и обогащения полезных ископаемых – элементы систем пневмотранспорта и пылеочистного оборудования, устройства подготовки к сушке и брикетированию торфа, элементы гусеничного хода, проходческих и очистных комбайнов и др. Разработаны 20 технологий, повышающих эффективность добычи торфа, калийных руд, строительных материалов. Разработаны 7 технологий складирования отходов обогащения калийных руд, в т.ч. технология складирования гидронамывом галитовых отходов на отработанные шламохранилища. Получено 40 патентов на изобретения и полезные модели. Установлены более 100 видов бесчелюстных рыб в силурийской, девонской и раннекаменноугольной ихтиофауне Беларуси. За последние 15 лет подготовлено 5 докторов и 10 кандидатов наук. Более 30 студентов поощрены специальным фондом Президента Рес-

публики Беларусь по социальной поддержке одаренных учащихся и студентов.

Существенным шагом в развитии подготовки кадров для минерально-сырьевого сектора следует считать подписание в городе Санкт-Петербурге 18.07.2019 Соглашения о сотрудничестве между БНТУ и Автономной некоммерческой организацией «Международный центр компетенций в горнотехническом образовании» под эгидой ЮНЕСКО, созданного на базе Санкт-Петербургского горного университета. В результате БНТУ получил статус опорного зарубежного университета Центра компетенций.

Участвуя в работе Международного центра компетенций в горнотехническом образовании под эгидой ЮНЕСКО, факультет формирует политику в области подготовки специалистов на национальном и межгосударственном уровнях.

Сегодня факультет горного дела и инженерной экологии – это около 600 студентов дневной и заочной форм обучения; более 100 работников (74 преподавателя, из них 5 докторов наук, профессоров и 26 кандидатов наук, доцентов); 18 аспирантов; 4 выпускающие кафедры (горные работы, горные машины, инженерная экология) и 1 общеобразовательная (английский язык №1); 3 филиала кафедр (2 в ОАО «Белгорхимпром» и 1 в ГНУ «Институт природопользования НАН Беларуси»); 21 учебная лаборатория; 1 научно-исследовательская лаборатория «Экопром», в состав которой входит Орган по экологической сертификации систем управления окружающей средой; научно-творческое студенческое бюро «Горняк».

Факультет готовит инженерные кадры по следующим специальностям: «Разработка месторождений полезных ископаемых» по таким направлениям, как подземные горные работы (квалификация: горный инженер), открытые горные работы (квалификация: горный инженер), маркшейдерское дело (квалификация: горный инженер-маркшейдер); «Горные машины и оборудование» по таким направлениям, как открытые горные работы (квалификация: горный инженер-механик), подземные разработки (квалификация: горный инженер-механик), обогатительно-перерабатывающее производство (квалификация: горный инженер-механик), электромеханика (квалификация: горный инженер-электромеханик); «Экологический менеджмент и аудит в промышленности» (квалификация: инженер-эколог-менеджер).

Ведется подготовка в магистратуре по специальностям «Геотехнология (подземная, открытая и строительная)», «Горные машины», «Экология». Послевузовское образование в аспирантуре получают по специальностям «Геотехнология (подземная, открытая и строитель-

ная)», «Геомеханика, разрушение горных пород, рудничная аэрогазодинамика и горная теплофизика», «Обогащение полезных ископаемых», «Горные машины», «Экология».

Факультет имеет тесные связи с 15 зарубежными университетами-партнерами, компаниями и организациями, среди которых Санкт-Петербургский горный университет (Санкт-Петербург), Национальным исследовательским технологическим университетом (НИТУ «МИСиС», Москва), Российским государственным геологоразведочным университетом имени Серго Орджоникидзе (Москва), Тульским государственным университетом (Тула), Тверским государственным техническим университетом (Тверь), Уральским государственным горным университетом (Екатеринбург), Фрайбергской горной академией (Германия), Техническим университетом Дрездена (Германия), ООО «ЕвроХим-Проект». Созданы условия для международной мобильности обучающихся путем активизации взаимодействия с германской службой академических обменов DAAD.

Входя в новое столетие БНТУ переходит на новый этап развития образовательного, научного и инновационного процессов. Добиться значимых результатов позволит баланс традиций и инноваций при подготовке инженерных кадров новой формации, обладающих междисциплинарными знаниями в инженерии, используя глобальный международный диалог. Имеющийся в БНТУ образовательный, научно-инновационный потенциал дает университету право гордиться достижениями и уверенно смотреть в будущее.

ДОНЕЦКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

100 лет

Донецкий национальный технический университет (ДонНТУ) высшее учебное заведение Донбасса.
Широко известен под названием *ДПИ*
(Донецкий политехнический институт).
Международное название
Donetsk National Technical University (DonNTU)

Наименования учебного заведения

· 1921−1926 — Донецкий горный техникум им. товарища Артёма (город Сталино);

· 1926−1935 — Донецкий горный институт (ДГИ);

· 1935−1960 — Донецкий индустриальный институт (ДИИ), в 1941—1953 годах носил имя Н. С. Хрущёва;

· 1960−1993 — Донецкий политехнический институт (ДПИ);

· 1993−2001 — Донецкий государственный технический университет (ДонГТУ);

· с 2001 — Донецкий национальный технический университет (ДонНТУ).

Становление первого в Донбассе вуза проходило в крайне сложных условиях. После гражданской войны бездействовали шахты, металлургические, коксовые, машиностроительные заводы, были разрушены железные дороги. Новое руководство страны придавало большое значение восстановлению Донбасса. Для этого необходимы были инженерные кадры. В то время в Донбассе работало всего 189 горных инженеров и горная промышленность остро нуждалась в специалистах высокой квалификации.

Учитывая это, в Юзовке решено было открыть горный техникум. Инициатива его создания принадлежит Ф. А. Сергееву (Артёму). Решение об открытии горного техникума было принято Центральным комитетом Всероссийского союза горнорабочих. В 1920-е годы в СССР техникумы являлись высшими учебными заведениями и готовили специалистов узкой специализации, в то время как институты готовили руководителей производства, администраторов.

По решению городских властей вновь создаваемому учебному заведению выделили здание бывшего Коммерческого училища (ныне 2-й учебный корпус) и примыкавшие к нему полуразрушенные казачьи казармы. За короткий срок был произведен их ремонт и 30 мая 1921 состоялось официальное открытие Донтехникума. Первый набор студентов составлял 208 человек.

Поскольку студенты имели очень слабую общеобразовательную подготовку, администрация техникума организовала рабочий факультет. Это был один из первых на Украине рабфаков, где студенты в течение трёх лет изучали общеобразовательные дисциплины.

На рабфаке учился и будущий глава СССР Н. С. Хрущёв. Именно Донтехникум дал старт его политической карьеры. Вернувшись в 1922 году в Юзовку, он, закончив гражданскую войну инструктором политотдела Девятой армии, был направлен к качестве комиссара на восстановление одной из шахт Рутченково (сейчас Кировский район Донецка). Благодаря успешной работе он вскоре получил предложение возглавить соседнюю шахту, но вместо этого подал заявление на рабфак, в котором, в частности, указал цель поступления: «Получить технические знания, необходимые для более продуктивной работы на производстве». Довольно скоро Н. С. Хрущев стал партсекретарём не только рабфака, но и всего техникума. В этот период по его инициативе и при его непосредственном участии были восстановлены мастерские, лаборатории и электроснабжение учебного корпуса, а также начато издание учебников в близлежащей типографии. В сентябре 1924 года Н. С. Хрущев являлся членом комиссии, выдававшей дипломы первым 15 выпускникам техникума. Сам он диплом получить так и не успел, будучи назначенным в июле 1925 года партийным руководителем Петрово-Марьинского уезда Сталинского округа, откуда он начал своё стремительное восхождение к вершинам власти.

Большой проблемой для Донтехникума был подбор преподавательских кадров. Для ведения специальных предметов приглашались инженеры с промышленных предприятий. С 1923 в техникуме стали работать профессора из Харькова, Екатеринослава, Новочеркасска и других городов СССР.

Донецкий горный институт.

К 1926 году Донецкий горный техникум добился значительных успехов в подготовке квалифицированных специалистов, став фактически учебным и научно-техническим центром Донбасса. Однако высокие темпы индустриализации Донецкого угольного бассейна требовали значительно большего количества квалифицированных специалистов. В связи с этим в апреле 1926 года Донецкий горный техникум был реорганизован в институт и приобрёл новое название — Донецкий горный институт.

В конце 1929 года открывшийся в городе вечерний металлургический техникум был преобразован в Донецкий металлургический институт (ДМИ), готовивший специалистов по доменному, мартеновскому и прокатному производству. А летом 1930 года на базе углехимического факультета возник второй отраслевой институт — Донецкий углехимический институт.

Донецкий индустриальный институт

В апреле 1935 года было принято решение создать на базе горного, металлургического и углехимического институтов единый вуз, получивший название — Донецкий индустриальный институт.

С 1941 по 1953 год институт носил имя Н. С. Хрущёва.

К 1941 году институт превратился в крупнейший учебный и научный центр региона. За 20 лет своего существования институт подготовил около 4300 инженеров, была создана хорошая материально-техническая база, подготовлены высококвалифицированные кадры преподавателей. В ознаменование 20-летнего юбилея и учитывая большие заслуги в деле подготовки высококвалифицированных инженерно-технических кадров для угольной промышленности 31 января 1941 года институт был награждён орденом Трудового Красного Знамени. Орденами и медалями были награждены и 16 работников института, в том числе орденом Ленина — бывший директор И.М. Пугач.

Дальнейшие планы по развитию института прервала Великая Отечественная война. Уже в первые дни войны многие студенты-старшекурсники, выпускники, преподаватели и сотрудники добровольцами ушли на фронт. В августе 1941 года на фронт были мобилизованы почти все студенты младших курсов.

Накануне оккупации города фашистами в октябре 1941 года удалось эвакуировать часть оборудования института, часть преподавателей и студентов в город Прокопьевск Новосибирской области. Там в феврале 1942 года начались учебные занятия. В сложных условиях в марте 1942 года состоялся первый выпуск студентов военного време-

ни. Дипломы инженеров получили 6 человек. В новом 1942/1943 учебном году в институте в Прокопьевске обучалось более 400 студентов.

После освобождении Донбасса осенью 1943 года из Прокопьевска в Сталино была направлена группа преподавателей для обследования состояния института. Ущерб, нанесённый вузу, составил более 66 млн рублей. Были сожжены и взорваны 13 учебных и жилых зданий. Значительными были и человеческие потери: убиты фашистами проф. Н. А. Никольский, заведующий кафедрой математики С. Ф. Лебедев и ещё более ста преподавателей и сотрудников института.

Многие преподаватели, сотрудники, студенты отдали свои жизни на фронте.

Параллельно с освобождением территории Донбасса начались работы по восстановлению его хозяйства. Преподаватели и студенты работали на восстановлении учебных корпусов. 5 декабря 1943 года 678 студентов 1-2 курсов приступили к занятиям. В октябре 1944 года основной состав института, находившийся в Прокопьевске, вернулся в город Сталино. В институте вновь стали действовать четыре факультета: горный, горно-механический, металлургический и углехимический.

В институте была организована центральная лаборатория по откачке воды из шахт Донбасса во главе с заведующим кафедрой горной механики профессором В. С. Паком.

К началу 1946 из 5 довоенных учебных корпусов в эксплуатации находились лишь три: второй учебный корпус, 70 % полезной площади первого и 40 % третьего. Для ускоренной подготовки при институте были организованы трехгодичные высшие инженерные курсы. К 1951 институт был практически полностью восстановлен.

Постепенно вуз расширялся: было восстановлено вечернее отделение, открылся факультет по подготовке специалистов промышленного и гражданского строительства, с 1953 начал функционировать заочный факультет. В этом же году открылся филиал института в Краматорске. В 1955 открыли вечернее отделение в Макеевке.

Донецкий политехнический институт.

В начале 1960 филиалы института появились в Горловке и Торезе. По своему характеру вуз становился политехническим и 19 марта 1960 года он был реорганизован, получив название *Донецкий политехнический институт*. К этому времени в нём обучались 8355 студентов по 18 специальностям.

В 1960 году Донецкий политехнический институт располагал 4 учебными корпусами, 2 библиотеками с книжным фондом в 600 тыс. томов. Ректор института профессор М. А. Богомолов (был ректором с 1952 по 1968) уделял большое внимание вопросам укрепления и рас-

ширения материальной и учебной базы института, что позволяло систематически увеличивать наборы студентов.

С 1952 началась подготовка студентов для зарубежных стран, и уже к 1960 вуз закончили более 100 иностранных граждан из Китая, Польши, Венгрии и Болгарии. В 1967 электротехнический факультет Донецкого политехнического института закончил Нгуен Ван Ан, ставший впоследствии председателем Национального Собрания Вьетнама.

В 1960-е годы были открыты новые факультеты: в 1960 — электротехнический, в 1966 — механический, в 1967 — геолого-маркшейдерский, в 1969 — инженерно-экономический. Образование новых факультетов продолжалось и в 1970-е годы: в 1972 — энергетический, в 1974 — факультет ВТ и АСУ, который в 1977 разделился на два самостоятельных факультета: ВТ и факультет АСУ. Таким образом, к началу 1980-х в базовом институте работало 10 дневных факультетов: горный, горно-геологический, горно-электромеханический, металлургический, механический, химико-технологический, инженерно-экономический, факультет вычислительной техники, факультет АСУ, а также два вечерних факультета: горно-механический и электромеханический, а также заочный факультет. Кроме того, были созданы факультеты по обучению иностранных студентов, организаторов промышленного производства и строительства, повышения квалификации преподавателей средних специальных учебных заведений и подготовительное отделение с дневной и вечерней формами обучения.

ДПИ дал также путёвку в жизнь целому ряду технических вузов Донбасса, выросшим из подразделений и филиалов базового института, в том числе: Краматорскому индустриальному институту, преобразованному в 1960 из филиала ДПИ в самостоятельный вуз, и Макеевскому инженерно-строительному институту (ныне Донбасской академии строительства и архитектуры), также выросшему из филиала ДПИ.

С 1960 по 1990 значительно окрепла материально-техническая база института. Немалая заслуга в её развитии принадлежит ректорам: М. А. Богомолову (ректор с 1952 по 1968 год), Г. В. Малееву (ректор с 1968 по 1989 год), А. А. Минаеву (ректор с 1989 по 2014 год). Были построены современные корпуса механического, химико-технологического, энергетического, горного факультетов. В начале 1990-х годов базовый институт располагался в 9 учебных корпусах, учебная площадь которых составляла около 200 тыс. м². В них располагались 120 специализированных аудиторий, более 300 учебных лабораторий и кабинетов, два учебных телевизионных центра, вычисли-

тельный центр, библиотека с книжным фондом более 1,5 млн томов. В 1969 по приказу проректора С. А. Жеданова был организован «учебный телецентр», оборудованный на тот момент времени самым современным оборудованием.

К началу 1990-х годов ДПИ превратился в один из крупнейших вузов Украины. В нём работало около 1400 преподавателей, в том числе 122 профессора, доктора наук, около 700 доцентов, кандидатов наук. Преподавательскую и научную работу вели 10 Заслуженных работников высшей школы Украины (М. П. Зборщик, Г. В. Малеев, В. Н. Маценко и др.), ведущие учёные, отмеченные званиями «Заслуженный деятель науки и техники Украинской ССР» (В. Г. Гейер, В. М. Клименко, К. Ф. Сапицкий, Н. Г. Логвинов, А. А. Минаев и др.).

Донецкий государственный технический университет.

В 1993 году ДПИ прошёл аттестацию и решением Кабинета Министров Украины в сентябре 1993 года ему был присвоен статус государственного технического университета.

На базе ДонГТУ в этот период был создан Региональный учебно-научно-технический комплекс, в который вошли также три института (горный, международного сотрудничества и Горловский автомобильно-дорожный), Красноармейский филиал, 20 факультетов, Центр повышения квалификации и переподготовки кадров, подготовительное отделение для иностранных граждан, три техникума.

Донецкий национальный технический университет.

Летом 2001 года университет получил статус национального. К этому времени количество специальностей и специализаций превысило 60. Общая численность студентов по всем формам обучения превысила 25 тысяч. На 88 кафедрах в настоящее время работают 1300 преподавателей, среди которых целый ряд лауреатов Государственных премий Украины, в том числе профессора А. А. Минаев, А. Н. Смирнов, Е. А. Башков, А. А. Троянский, Л. П. Фельдман и другие.

Университет в период вооружённого конфликта

В связи с вооружённым конфликтом на юго-востоке Украины, приказом Министерства образования и науки Украины № 1129 от 03.10.2014 Донецкий национальный технический университет был переведён в город Красноармейск (ныне Покровск) Донецкой области. Базой для университета стал Красноармейский индустриальный институт (с 2017 года - Индустриальный институт ДонНТУ).

Однако значительная часть студентов и преподавателей остались в Донецке по месту постоянного жительства. Университет продолжает свою работу. Ведётся обучение студентов на 16 факультетах, а также в Институте горного дела и геологии.

Сегодня ГОУ ВПО ДОННТУ в Донецке, имеет следующую структуру:

· Горно-геологический факультет
· Горный факультет
· Факультет инженерной механики и машиностроения
· Физико-металлургический факультет
· Электротехнический факультет
· Факультет компьютерных наук и технологий
· Факультет компьютерных информационных технологий и автоматики
· Факультет экологии и химической технологии
· Инженерно-экономический факультет
· Факультет переподготовки кадров
· Институт инновационных технологий заочного обучения
· Автомобильно-дорожный институт (г. Горловка)
· Магистратура государственного управления
· Институт последипломного образования
· Научно-техническая библиотека ДонНТУ
· Докторантура и аспирантура
· Центр довузовской подготовки
· Горловский автотранспортный техникум

В числе выпускников вуза:

· Хрущёв, Никита Сергеевич — возглавлял СССР в период с середины 1950-х до середины 1960-х;

· Засядько, Александр Фёдорович, Худосовцев, Николай Михайлович и Пшеничный, Александр Андреевич— руководители угольной промышленности СССР и Украинской ССР;

· Ляшко, Александр Павлович, Звягильский, Ефим Леонидович — возглавляли правительство Украины;

· Янукович, Виктор Фёдорович — четвёртый Президент Украины;

· Гайдук, Виталий Анатольевич и Клюев, Андрей Петрович — вице-премьеры Украины;

· Безлепкина, Людмила Фёдоровна — экс-министр социальной защиты населения России;

· Нгуен Ван Ан (англ.) русск. — председатель Национального Собрания Вьетнама;[

· Соловьяненко, Анатолий Борисович — народный артист СССР.

· Веня Д'ркин – рок-бард, музыкант, поэт, художник.

ТУЛЬСКИЙ КРЕМЛЬ 500 лет

В этом году исполняется 500 лет окончанию строительства Тульского кремля. Строительство мощной каменной крепости на самой южной окраине Великого княжества Московского должно было иметь очень веские причины. Во всей средневековой истории строительство каменных крепостей на границах княжеств — явление исключительное, да и вообще на Руси каменных крепостей было чрезвычайно мало. Даже такое сильное княжество как Тверское не могло себе позволить выстроить каменную крепость вокруг своей столицы. Дороговизна каменного строительства и большие трудности возведения такой постройки служили непреодолимым препятствием для массового строительства кремлей. К тому же на границах строились, как правило, небольшие деревянные крепости.

История Тульского кремля

Тульский кремль – выдающийся памятник русского оборонного зодчества XVI в. Построенный на важнейшем стратегическом направлении крымско-татарских набегов – Муравском шляхе, он в течение нескольких столетий оборонял южные рубежи Русского государства, являлся главным звеном знаменитой Большой Засечной черты.

Впервые упоминаемый в Никоновской летописи 1146 г. город Тула, вероятно, еще в IX—XI вв. был одним из укрепленных поселений вятичей, наверно, от тех стародавних времен дошло до наших дней «старое городище» при впадении реки Тулицы в Упу. Тулица, видимо, и дала название городу, хотя по Далю старинное толкование слова «Тула» означает «скрытое, недоступное место, затулье, притулье для защиты». Топоним с таким значением также мог послужить названием для города.

В земле вятичей самостоятельного княжества не образовалось. Эти территории входили во владения сначала черниговских, а позднее рязанских князей. Вот почему упоминания о небольшом вятичском укрепленном поселении Тула, расположенном вдали от политических центров Руси, не попадают в летописи, и начальная история города на протяженib двух столетий неизвестна. Наверняка Тулу не миновало страшное Батыево нашествие. Известно лишь, что спустя столетие ею владели баскаки царицы Тайдулы. В 1382 г. рязанский князь Олег по договору передал Тулу Москве, а через столетие город окончательно вошел в состав Московского государства.

В начале XVI в. резко обострилась обстановка на юге страны. После смерти Ивана III крымский хан Менгли-Гирей превратился в злейшего врага Москвы. В 1507 г. Василий III повелел построить крепость на печально известном Муравском Шляхе, главной дороге, по которой осуществлялись вторжения крымчаков. Прежние укрепления при впадении Тулицы в Упу не были достаточно надежными, в связи с чем новую крепость перенесли с правого берега на левый, менее затопляемый в половодье. Низинные берега Упы, речки Хомутовки и топкой Ржевской гати не служили естественным препятствием для врага.

Однако крепость срубили именно здесь, в месте пересечения единственной в этих местах крупной реки Упы с Муравским шляхом. Причем построили ее не на северном берегу, под защитой реки, а на южном, на территории необжитого Дикого поля, что может свидетельствовать о далеко идущих планах Москвы по освоению степных просторов. Новая крепость должна была не просто вести пассивную оборону, но и проводить активную наступательную борьбу под защитой крепких каменных стен. Необычным для Московского государства был и порядок возведения кремля и города. Последний возник уже после строительства кремля, а не наоборот, как это было обычно.

Тульский кремль

Как установили историки, первоначально в 1507—1509 гг. срубили деревянную крепость. Одновременно приступили к созданию лесных завалов на опасных направлениях, положивших начало засечной черте. В тульской крепости разместили пять полков для охраны

пограничных земель. В 1514 г. во время похода Василия III на Смоленск, в Туле приступили к строительству каменной крепости, постепенно заменяя рубленные стены.

Тяжелым оброком легла на плечи крестьян доставка зимой камня, который добывали в окрестностях Венева. Начав сначала возводить из белого камня северную и западную стены, градодельцы затем широко применяли большемерный кирпич, наладив его местное производство. Это позволило ускорить ход работ и уже через шесть лет, летом 1520 г. строительство крепости было завершено.

Целое десятилетие до создания в 1531 г. каменных кремлей в Зарайске и Коломне и в 1556 г. в Серпухове, Тульский кремль был единственным надежным щитом, прикрывавшим Москву с юга.

В середине XVI в. тульская земля жила под постоянной угрозой татарских нападений. Только в 40-е гг. XVI столетия крымчаки 14 раз нападали на Тулу. В 1552 г. Иван Грозный выступил с войском в поход против Казанского ханства. Чтобы помешать этому, поддерживаемая Турцией Крымская Орда во главе с ханом Девлет-Гиреем двинулась на Москву. В итоге однако, Девлет-Гирей решил ограничиться взятием и разграблением Тулы и 21 июня 1552 г. неожиданно появился под стенами кремля.

Тула в то время не имела воинов для защиты (они были на государевой службе), но защитники города мужественно отражали натиск врага. На следующий день после нападения подошли государевы полки и вместе они смогли обратить Девлет-Гирея в бегство «Побеже царь нечестивый от города с великим срамом», — говорит летописец.

В 1555 г. Девлет-Гирей вновь двинулся к Туле, но снова был разбит русскими воинами. Иван Грозный дорожил крепостью и назначал ее воеводами самых опытных военачальников-князей: А.Курбского, И.Воротынского, П.Серебрянного.

В 1607 г. Тульский кремль стал местом «сидения» в осаде войска И.Болотникова. С 30 июня боярское войско В.Шуйского полностью блокировало укрывшихся в городе восставших. Артиллерия обстреливала крепость с севера и с юга. В течение лета было предпринято до 22 частных штурмов. Войско Болотникова умело и стойко оборонялось, осуществляя ежедневно три-четыре вылазки. Осада затягивалась, и царь согласился с предложениями боярского сына Ивана Кровкова затопить Тулу, соорудив плотину на реке. Два месяца царское войско строило плотину длиной около полукилометра.

В результате вода поднялась и затопила кремль и острог. Люди вынуждены были спасатсья на крышах. К этому времени в городе уже наступил голод и 10 октября «тульские сидельцы» сложили оружие.

В тяжелые годы «Московского разоренья» Тула сильно пострадала. Ее дубовый острог, неоднократно перестраивавшийся, тем не менее пережил Смутное время и упоминается в летописи 1629 г.

Переломной в судьбе Тулы стала середина XVII в. К этому времени граница Московского государства продвинулась далеко к югу, и роль передовых форпостов легла на другие крепости. Вражеские набеги теперь не грозили городу. В 1630 г. последовал государев указ — быть тулякам в «в государственных самопальных мастерах». В 1636 г. население города насчитывало 2 тыс. человек.

В 1641 г. Никитскую и Троицкую слободы южной части города прикрыл земляной вал протяженностью 1483 м, который являлся продолжением другого вала под названием Завитай. Он подходил к Туле с юго-запада от Малиновых ворот Засечной черты.

В 1673-1674 гг. прежний частокольный острог был частично заменен деревянными укреплениями. Посадские деревянные укрепления Тулы постоянно обновлялись и меняли свой облик. Они просуществовали до 1741 г., когда были разобраны за ветхостью, а земляные валы срыты.

В 1784 г. по повелению императрицы Екатерины II в Тульском кремле был произведен капитальный ремонт. При этом, к сожалению, не ставилась цель сохранить первоначальный вид кремля, поэтому современный Тульский кремль сильно отличается от первоначального.

В 1821-1828 гг. проводились очередные ремонтные работы в кремле, а на башнях были установлены деревянные купола. К сожалению, последние не продержались и сотни лет и к 40-м годам XX века кремль находился на грани почти полного разрушения, т. к. не реставрировался в течение почти 100 лет.

В 1948 г. Советом Министров СССР было принято решение, что Тульский кремль подлежит реставрации, а к концу 1957 г. был закончен ремонт ворот и восстановление зубцов.

Единственный кремль, ни разу не впустивший врага

В истории Тульского кремля был момент, когда Тула стала практически столицей государства при знаменитом самозванце - Лжедимитрии I. В Туле его встретили как истинного царя: духовенство, воеводы, дворяне и народ. Две недели Лжедимитрий находился в Тульском кремле, который стал царской резиденцией. Правда закончилось это для лжевенценосца плачевно: его свергли и казнили, а в стране началась смута. Кульминацией этой первой в России гражданской войны стало восстание Ивана Болотникова. Он выступил на стороне Лжедимитрия, но его сторонников разбили войска Василия Шуйского. Восставшие закрепились в Тульском кремле. Четыре месяца длилась оса-

да. И только военная хитрость помогла царским войскам завладеть крепостью. Этой осадой Тулы в 1607 году завершилась бурная жизнь кремля. После 1654 года, когда Украина присоединилась к России, границы страны ушли на юг, а Тула утратила первоначальный статус оборонительного поста.

Тульский кремль - единственный, который ни разу не пустил за свои стены врага. Но все же самый древний памятник Тульской губернии трижды за всю свою историю был на грани исчезновения. И вовсе не от рук неприятеля, а стараниями местных градоначальников. Так, в XVIII веке тогдашний генерал-губернатор Михаил Кречетников приказал разобрать стены крепости, нуждавшейся в ремонте. Защитила кремль Екатерина II, которая повелела не только отремонтировать кремль, но сделать это "с возвышением башен".

Тульский кремль

Спустя два века в 1911 году городские власти вновь решили использовать кремлевский белый камень и кирпич в практических целях. Тульская общественность выступила с резким протестом и требованием выделить деньги на ремонт. На сей раз денег не дали, но и разбирать не стали.

В последний раз на Тульский кремль покусились в 1934 году. Тогдашние советские градоначальники хотели разобрать южную стену и устроить площадь для демонстраций и парадов. И на этот раз патриотам истории удалось защитить этот уникальный памятник российского зодчества.

Архитектура Тульского кремля

Тульский кремль – регулярная крепость, в плане представляет собой прямоугольник с периметром стен около 1 км и площадью 6 гектаров. В архитектуре памятника органично сочетаются вековые традиции русского зодчества и лучшие достижения западноевропейского фортификационного искусства. К сожалению, имена зодчих, по проекту которых возводились стены и башни Тульского кремля, не дошли до нашего времени. С большой долей вероятности можно утверждать, что в сооружении тульской крепости приняли участие итальянские архитекторы.

Если пройти по периметру кремля, то видно, что это почти правильный прямоугольник, стены которого протянулись более чем на километр и охватывают территорию около шести гектаров. Тульский кремль - одна из немногих регулярных каменных крепостей, имеющая строго прямоугольный план. Всего есть три таких каменных крепости того периода постройки: Большой Боярший город в Ивангороде, Зарайск и самый большой - Тульский. Все они построены на ровном месте, оттого не требовалась привязка к рельефу местности.

Стены Тульского кремля возвышаются на белокаменном расширяющемся книзу цоколе, отделанном полуваликом, и завершаются двурогими зубцами в виде ласточкина хвоста с бойницами. Кирпич для стройки обжигали в местечке Большие и Малые Гончары под Тулой. По своему качеству он вполне конкурировал с лучшим в мире голландским кирпичом. Недалеко от Тулы на территории нынешнего Веневского района добывали и белый камень.

Высота стен Тульского кремля сейчас около 10 метров, толщина на южном и западном участках 2,8, на северном и восточном 3,2 метра. Внутренние стороны стен расчленены заглубленными в них широкими арочными нишами. Вдоль стен на высоте 6-6,5 метров идет "боевой ход" - площадка, откуда под прикрытием зубцов, кто "с пищалью, а кто с рогатиной", отражали врага защитники города. В нишах стен выше фундамента располагались бойницы "подошвенного боя", откуда также велся огонь. Башни с высокими деревянными шатровыми кровлями делят стены на участки - "прясла". Венчавшие башни зубцы были с бойницами навесного, или "косого боя", через которые стреляли вниз, лили горячую смолу. В XVII веке на башнях было до 50 пищалей "московского и немецкого литья". По тем временам - достаточно мощная артиллерия. В толще стен этих башен на уровне боевого хода шла обходная галерея с бойницами "к полю" и внутрь башни для обстрела врага. Стены окружал ров с подъемными мостами у ворот. Подступы к кремлю не застраивались, чтобы лишить врага укрытий.

Еще одна особенность Тульского кремля в том, что он стоит на дубовых сваях. Их вбивали в шахматном порядке и заливали глиной. Такая подушка под фундамент с успехом выдержала испытание временем. Заготовками для свай служили бревна диаметром от 12 до 46 сантиметров. При этом сваи изготовлялись как из целых бревен-кругляков, так и их частей. Длина обнаруженных свай находится в пределах от 94 до 174 сантиметров. Под башнями вбито примерно 22 тысячи свай, а под стенами - не менее 55-56 тысяч. Общее же количество основных и уплотняющих свай под фундаментом стен и башен кремля, по некоторым данным, составляет не менее 77-78 тысяч штук.

Сохранившихся источников, подтверждающих участие итальянских мастеров в возведении Тульского кремля, нет. Несомненно, итальянская крепостная архитектура имела огромное значение для Руси, но, вероятно, далеко не каждое строительство того периода проходило с участием итальянских зодчих. И все же итальянские черты в Туле отчетливо угадываются. Это "ласточкины хвосты" на стенах, машикули, аркада в тыльной части стены, расширяющая боевой ход, цоколь, отделенный валиком, белый камень в кирпичной кладке и т.д. Говорят, похожий на Тульский кремль средневековый замок можно видеть вблизи Милана. К тому же внутри одной из башен есть сферический купольный потолок, чуждый для русской архитектуры. Впрочем, архитектурный стиль самих оборонительных башен резко отличается от стен. Так что итальянское искусство, замешанное на российском своеобразии, породило в сердце Тулы поистине уникальный памятник зодчества.

На страже города девять кремлевских башен, которые и ныне величественно возвышаются, образуя неповторимый архитектурный ландшафт городского центра.

Ивановская башня

Оборонительные башни, сильно вынесенные за линию стен, чем обеспечивали фланговый обстрел по врагу, служили укреплением кремля. Они изолированы одна от другой, и, таким образом, каждая представляет собой как бы самостоятельную крепость. Внутри они делятся мостами на ярусы. Между собою мосты были связаны каменными лестницами, которые выводят не только в верхние помещения, но и на боевой ход, ширина которого около 2,5 метров. Всего башен девять. Проездных четыре - Одоевская, Ивановская, Пятницкая и Водяная, что довольно много для подобных укрепсооружений. Их так и называли - воротные башни. Ворота были настоящие - средневековые решетки, сверху обитые железом, и поднимались с помощью специальных устройств.

В XVI–XVII веках главной вертикалью в системе оборонительных сооружений Тульского кремля являлась Никитская воротная башня. Свое первоначальное

Башня Одоевских ворот

название башня получила по имени близлежащей церкви – храма во имя Великомученика Никиты (Староникитская церковь). На протяжении нескольких столетий район Тулы, расположенный южнее и юго-восточнее кремля, именовался Никитским концом. В 1553 году недалеко от восточной стены кремля был основан мужской Иоанно-Предтечев монастырь, по имени которого близлежащая башня впоследствии стала

Башня Водяных ворот

называться Ивановской или Иоанно-Предтеченской.

Сегодня признанным символом нашего города является Одоевская башня. Называется башня так потому, что в древности от нее начиналась дорога в сторону города Одоева, которая сохранилась до наших дней. Это центральная магистраль города – проспект Ленина, до революции Киевская улица. Одно время башню называли Киевскими воротами, позднее стали именовать Казанской, по близлежащей часовне во имя Казанской Божьей Матери. В 1784 году во время первого капитального ремонта кремля башня Одоевских ворот получила надстройку в виде вышки с куполом и шпилем с орлом. Это был знак признательности благодарных туляков перед императрицей Екатериной II, которая впервые в истории Тульского кремля выделила государственные средства на реставрацию памятника.

Четвертая въездная башня Тульского кремля – башня Водяных ворот. Когда-то по Малой кремлевской улице, соединяющей Одоевские и Водяные ворота, шел крестный ход на реку или “на воду”. Традиционно такое шествие совершалось два раза в год, на большие православные праздники – Богоявление Господне или Крещение (6/19 января) и летом, на праздник Происхождение (изнесение) честных древ Животворящего Креста Господня (1/14 августа). В эти праздники происходил торжественный обряд освящения воды, поэтому Богоявленский крестный ход назывался еще крестным ходом на Иор

Башня на погребу

Башня Пятницких ворот

дань. В эти дни на набережной реки Упы собирались туляки всех сословий и возрастов, чтобы видеть великое таинство, участвовать в нем. Другое название башни – Воскресенские ворота – в память о близлежащей церкви Воскресения, что на старом городище. Это одна из самых древних тульских церквей, построенная еще в XVI веке. Здание храма было уничтожено в 1930-е годы, но несколько лет назад храм отстроен заново. Находится на территории Тульского оружейного завода.

Юго-восточнее Водяных ворот расположена квадратная, глухая “башня, что на Погребу”. Под ней находился погреб, где хранились военные припасы и провизия на случай длительной осады. Примечательно, что до 1821 года над башней возвышался московский герб, т. к. до 1770 года Тульская провинция входила в состав Московской губернии.

С юго-восточной стороны башни На погребу в стене кремля сохранился проход, позволявший выйти на берег Упы. Первоначально он прикрывался специальным щитом. Благодаря этому проходу, “башня, что на погребу” в росписи 162

9 г. названа еще и башней “у малых воротец на погребу”.

Башня Пятницких ворот получила свое название по имени деревянной церкви Великомученицы Параскевы Пятницы, построенной еще в

Никитская башня

Спасская башня

XVI веке недалеко от западной стены Тульского кремля. В XVI–XVII веках в этой башне находились главные въездные ворота кремля. Через Пятницкие ворота въезжали русские монархи, предстоятели Русской православной церкви, послы иностранных держав, другие именитые гости. В конце XVIII века с наружной стороны была пристроена Знаменская часовня, поэтому сама башня именовалась в те времена Знаменской.

В целом, архитектура Спасской башни напоминает Никитскую. То же деление на четыре боевых яруса, наличие в нижней части полусферического свода. В старину на этой башне находилась смотровая вышка с вестовым колоколом. Набатные колокола на Руси в древности назывались еще “всполохи”, поэтому в писцовых книгах XVI–XVII веков башня именуется и Всполошной (Вестовой).

Свое второе название – Спасская – башня получила в честь близлежащего храма Спасо-Преображения. Первое деревянное здание церкви было построено еще в первой четверти XVII века. В течение последующих столетий храм несколько раз перестраивался. В первой половине XIX века, предположительно, по проекту архитектора В.Ф. Федосеева – ученика и сподвижника К. Росси, – возведено новое здание церкви с прекрасным фасадом, грандиозным куполом. По своей значимости в жизни дореволюционной Тулы храм уступал только Свято-Успенскому собору Тульского кремля. К сожалению, в 1930-е годы храм был за

Башня Ивановских ворот

крыт и разрушен.

Восточная угловая башня имеет несколько названий: Ивановская, Предтеченская – в честь одноименного монастыря XVI века. Ее нижний ярус имел подземный ход – «тайник» – длиной около 70 м, из нутри обшитый дубовым тесом, поэтому башню называют еще Тайницкой. Выводил этот «тайник» на берег реки Упы, предназначался для пополнения запасов пресной воды. Уже в конце XVII века подземный ход пришел в негодность: сгнили деревянные укрепления, и проход обвалился.

Надугольная башня

По имени церкви во имя святого Великомученика Никиты получила свое название и угловая башня южной стены – Никитская. Внутри она снабжена двумя деревянными мостами и каменным сводом над нижним ярусом, где в 1676 году хранилась «пороховая и свинцовая казна». Исследователи считают, что в Никитской башне в конце XVII – начале XVIII веков находился пыточный застенок, куда водили подозреваемых на дознания.

Четвертая круглая башня носит название Наугольная к реке или Наугольная против мясного ряда. Первое название объясняется тем, что эта башня ближе других подходила к реке Упе. Другое имя – Наугольная против мясного ряда или просто Мясницкая – объясняется тем, что рядом с ней, с наружной стороны стены, располагались деревянные торговые ряды, где торговали мясом.

На территории Тульского кремля находятся два собора. В 1762-1764 гг. был сооружен ныне существующий летний собор во имя Успения Божьей Матери. Десять лет спустя к нему была пристроена с западной стороны высокая четырехъярусная (70 м) колокольня с позолоченным шпилем и часами. К сожалению, город утратил этот величественный архитектурный памятник после пожара 1936 г. (колокольня была разобрана). И толко в 2014 году восстановленная колокольня вновь вернулась в архитектурный ансамбль Тульского кремля.

В 1855-1882 гг. в северо-восточной части кремля, напротив башни. На Погребу, в память туляков, погибших в Отечественной войне 1812 г., был построен зимний Богоявленский кафедральный собор,

внешний вид которого сильно изменен из-за приспособления здания собора под музей оружия.

В 1837-1841 гг. в северо-западной и юго-западной частях кремля были сооружены Торговые ряды (по 24 каменных лавки, расположенных по обе стороны Пятницких ворот). Северо-западная часть этих рядов в сильно измененном виде дошла до наших дней. В 1900 г. эти помещения были использованы при строительстве первой городской электростанции, которая была одной из первых в стране.

После 1834 г. по указу императора Николая I в кремле была построена одноэтажная каменная гауптвахта (в настоящее время – объект утрачен). В дальнейшем намечено восстановление данного исторического объекта, необходимого для полноценного функционирования музея «Тульский кремль» (охрана кремля, касса и другие служебные помещения).

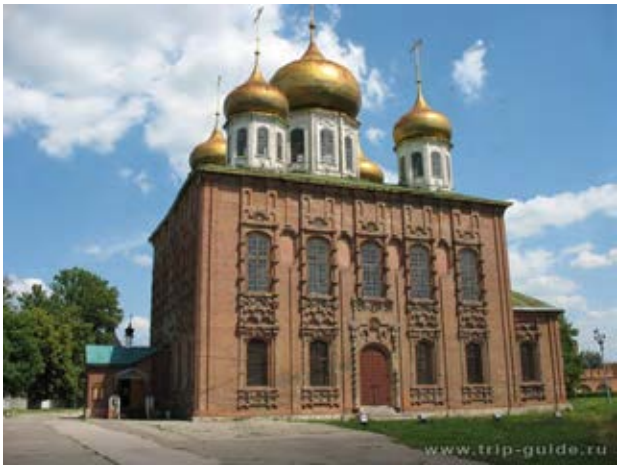
Памятники Тульского кремля:

Тульский кремль сегодня – это уникальный комплекс памятников истории и архитектуры. В его ансамбль, помимо стен и башен, не претерпевших существенных реконструкций с XVI в., входят два бывших кафедральных собора: Свято-Успенский собор (XVIII в.) и Богоявленский собор (XIX в.), торговые ряды (XIX в.), здание первой городской электростанции (XX в).

Подлинным украшением Тульского кремля по праву считается Свято-Успенский собор (1762 – 1764). Торжественная простота архитектуры, изящество каменного «узорочья», царственная монументальность интерьера – все это делает собор одним из красивейших храмов Тулы. Гармоничным завершением храмового ансамбля является соборная колокольня (1772-1776) – величественный памятник московского барокко, на верхних ярусах которой располагалось 22 колокола. Семидесятиметровая кремлевская колокольня считалась главной городской доминантой дореволюционной Тулы.

Богоявленский собор (1855-1862) построен по проекту архитек-

тора тульского оружейного завода М.А.Михайлова в память воинов - туляков, погибших в Отечественную войну 1812 г. (ныне Музей оружия).



Свято-Успенский собор

Богоявленский собор

Торговые ряды (1837-1841) - располагаются в северо-западной части кремля. До нашего времени из 48 каменных лавок сохранилась лишь половина (24 были снесены в конце XIX века). Эта часть Торговых рядов была приспособлена под помещения первой городской электростанции и утратила свой первоначальный архитектурный облик. Дошедшая до наших дней аркада-галерея Торговых рядов придает памятнику неповторимое очарование старины.

К уникальным достопримечательностям собора относятся монументальные росписи ярославских мастеров (1765-1766), семиярусный резной позолоченный иконостас (вторая половина XVIII в.). В соборе захоронены архиепископ Тульский и Белевский Никандр (1893), трое малолетних детей воеводы Г.Д.Скобельцына (1765).

Интерес вызывает здание городской электростанции (1900) - одной из первых электростанций России. Строительство, проводимое фирмой «Сименс-Гальске» на средства городской управы, было закончено в 1900 году, но электростанцию приняли в эксплуатацию только в декабре 1901 года. В то же время на главных улицах были построены первые линии уличного освещения с дуговыми фонарями. Электричество было проведено не более чем в двадцати домах наиболее богатых людей. В 1930-е годы электростанция была закрыта, оборудование ее перевезено на о. Шпицберген.

В 1988 году в Тульском кремле создан музей, который с 2006 года является филиалом ГУК ТО Объединения «Тульский музей изобразительных искусств».

В 2013 году музей "Тульский кремль" стал филиалом ГУК ТО "Объединение "Историко-краеведческий и художественный музей".

ГЕОТЕХНОЛОГИИ И ГЕОТЕХНИКА

УДК 622.6-83

ОЦЕНКА НАГРУЖЕННОСТИ ПРИВОДОВ КОМБАЙНОВ «УРАЛ-20Р» ПРИ ОТРАБОТКЕ ЗАБОЯ НЕПОЛНЫМ СЕЧЕНИЕМ ИСПОЛНИТЕЛЬНЫХ ОРГАНОВ

Шишлянников Д.И., Трифанов Г.Д., Суханов А.Е.
Пермский национальный исследовательский политехнический университет, Пермь, Россия

Исследование включает в себя анализ влияния динамических нагрузок на приводы исполнительных органов комбайнов «Урал-20Р» при отработке калийного массива неполным сечением исполнительного органа. Представлены результаты экспериментальных исследований по оценке нагруженности приводов проходческо-очистных комбайнов калийных рудников, полученные с использованием программно-регистрирующего комплекса «Ватур».

Большинство горных предприятий Российской Федерации, осуществляющие добычу калийных руд подземным способом, используют проходческо-очистные комбайны «Урал», производства АО «Копейский машиностроительный завод».

Комбайны оснащаются системами визуализации и регистрации нагруженности электроприводов исполнительных органов по потребляемым токам. Однако регулирование параметров работы машины и оценка степени нагруженности приводов в режиме реального времени возложены на оператора.

Корректная оценка нагруженности приводов выемочных машин позволяет обосновать рациональные режимные параметры процесса разрушения соляного массива исполнительными органами комбайнов и минимизировать количество аварийных отказов, возникновение которых обусловлено сверхнормативными нагрузками [1].

Под режимом работы выемочной машины принято понимать установленный порядок чередования периодов, характеризуемых величиной, продолжительностью и характером изменения нагрузки во время работы, количеством пусков и отключений, временем производительной работы и технологических перерывов. От правильного выбора режима работы зависит эффективность использования добычной машины и в первую очередь её техническую производительность в конкретных условиях эксплуатации.

Наиболее производительные отечественные комбайны «Урал-20Р» осуществляют проходку выработок с арочной формой сечения. Число ходов в отрабатываемой камере определяется устойчивостью кровли. При мощности пласта калийной руды свыше 4 м применяется двухслойная отработка камер с наложением сечений по высоте: первым ходом комбайн осуществляет выемку верхнего слоя (комбайн работает полным забоем), нижний слой отрабатывается вторым ходом после отгона комбайна. При этом площадь забоя меньше площади сечения исполнительного органа выемочной машины, осуществляется подрубка пласта (рис. 1). Технологическая операция подрубки сопровождается значительными динамическими нагрузками на приводы исполнительных органов комбайнов. Пульсирующий характер нагрузок и отсутствие эффективных демпфирующих устройств приводят к возникновению ударов в зубчатых передачах и разрушению редукторов приводов переносного и относительного вращения резцовых дисков.

По отзывам специалистов сервисных служб горной техники, большинство аварийных отказов приводов планетарно-дисковых исполнительных органов происходит при работе комбайнов неполным сечением исполнительных органов. Наиболее часто выходят из строя поворотные и раздаточные редукторы планетарно-дисковых исполнительных органов комбайнов «Урал-20Р», редукторы бермовых исполнительных органов, а также тихоходные редукторы скребковых конвейеров-перегружателей. Доля отказов поворотного редуктора планетарно-дискового исполнительного органа составляет 35,6 %, редуктора бермового исполнительного органа – 14,6 %, тихоходного редуктора конвейера – 14,5 %, раздаточного редуктора планетранодискового органа – 9,7 %. Доля отказов других основных узлов варьируется в диапазоне до 9 % от общего числа аварийных отказов.

Штатная система управления комбайна «Урал-20Р» комплектуется индикаторами токовых нагрузок приводных электродвигателей, контроль предельных токовых нагрузок осуществляется аппаратами типа «КОРД». При возникновении аварийных ситуаций аппарат сраба-

тывает и своим контактом размыкает цепь питания соответствующего электродвигателя.

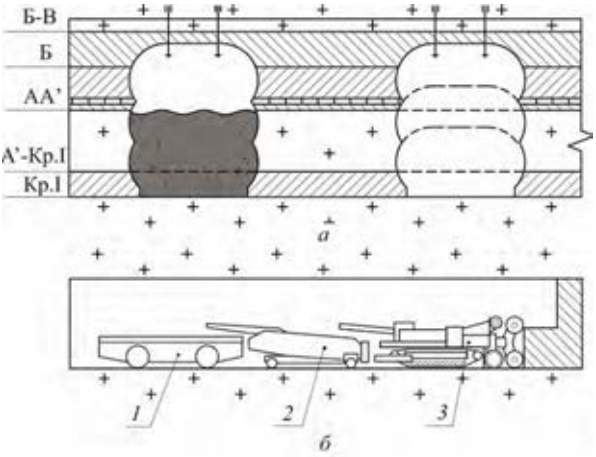


Рис. 1. Отработка сближенных пластов с подрубкой:
а – поперечное сечение выработок; б – продольное сечение выработки; 1 – самоходный вагон; 2 – бункер-перегружатель; 3 –комбайн

Следует особо отметить, что штатная система управления и индикации комбайна «Урал-20Р» не позволяет контролировать величину динамических составляющих нагрузок на приводы выемочной машины.

С целью выявления основных закономерностей процесса формирования нагрузок приводов проходческо-очистных комбайнов «Урал-20Р» при отработке забоя неполным сечением исполнительных органов, авторами выполнены экспериментальные исследования в реальных условиях эксплуатации данных выемочных машин.

Для проведения экспериментальных исследований сотрудниками кафедры «Горная электромеханика» Пермского национального исследовательского политехнического университета разработан и изготовлен программно-регистрирующий комплекс «Ватур», обеспечивающий измерение, запись и сохранение основных параметров работы приводов комбайнов «Урал-20Р».

«Ватур» регистрирует электрические параметры работы комбайна по двум вводам напряжения. На каждом вводе регистрируются нагрузки трех потребителей энергии, в качестве которых могут выступать как отдельные электродвигатели, так и группа из нескольких по-

требителей. Для измерения активной мощности в трехфазной цепи применяется метод одного ваттметра с искусственным нулем. На рисунке 2 приведена схема подключения датчиков тока и напряжения на комбайне [2].

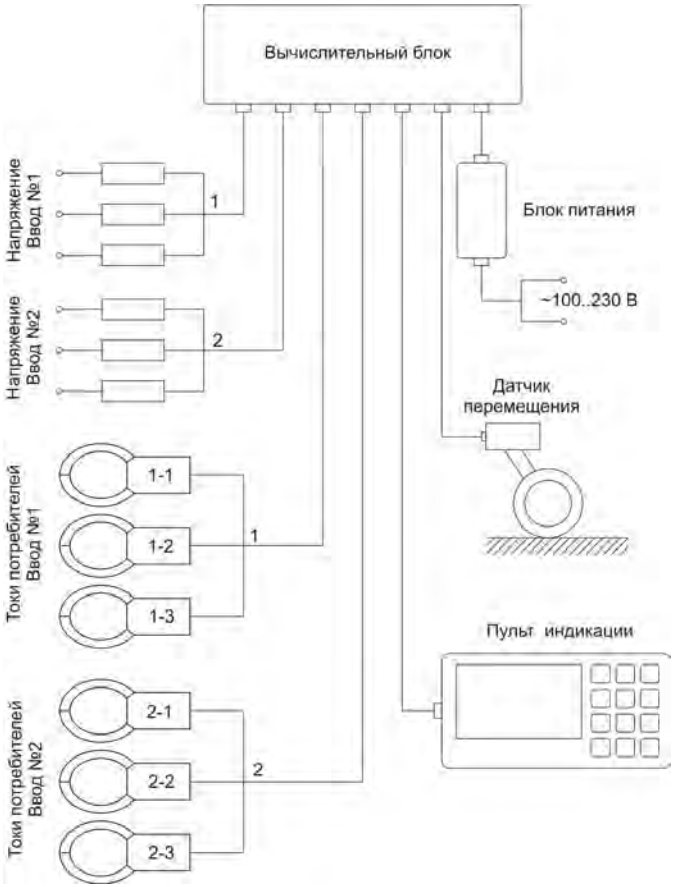


Рис. 2. Структурная схема программно-регистрирующего комплекса «Ватур»:

Прибор осуществляет 100 измерений в течение одного периода колебания напряжения питающей сети. Первичная обработка мгновенных значений и вычисление количественных показателей работы ком-

байна осуществляются программным обеспечением прибора в ходе эксперимента.

В процессе первичной обработки данных определяются следующие параметры: эффективное значение тока, эффективное значение фазного напряжения по каждому кабельному вводу, активная и полная мощности, коэффициент мощности, скорость подачи комбайна. Вычисленные значения регистрируются в энергонезависимой памяти прибора. Дальнейшая обработка и анализ массива данных производится на персональном компьютере с помощью специализированного программного обеспечения «*PC*-Ватур». Массив данных замера представляется в виде набора графиков на одной временной оси. Границы анализируемых участков графиков выбирает исследователь в процессе обработки данных посредством установки меток начала и конца на оси времени замера. Для определения параметров работы комбайна в установившемся режиме выбирается соответствующий участок замера без переходных режимов. При определении интегральных показателей границы обработки могут быть расширены [3].

Оценка вариативности нагрузок на приводы исполнительных органов комбайна осуществлялась путём определения дисперсии, среднего квадратичного отклонения и коэффициента вариации активных мощностей, потребляемых двигателями добычной машины.

Исследование работы комбайна «Урал-20Р» неполным сечением исполнительных органов проводились при подрубке продуктивного слоя пласта «Красный II», угол наклона выработки составлял +2° (движение вверх). Высота разрушаемого массива составляла 1,0 м, площадь забоя 5,5 м2. В ходе измерений комбайн «Урал-20Р» работал со скоростями подачи, близкими к используемой в практике работы при выполнении подобных операций. Средняя скорость подачи составила 0,40 м/мин. Машинист ограничивал скорость подачи выемочной машины, ориентируясь на показания токовых индикаторов нагрузки двигателей.

По данным измерений построены графики активных мощностей, потребляемых двигателями комбайна «Урал-20Р» (рис. 3), проведены расчеты средних значений активных мощностей, потребляемых приводами комбайна, определены средние квадратичные отклонения и коэффициенты вариации сигналов активных мощностей (таблица). На графике U1 – это фазное напряжение на вводе № 1, В; N1 – активная мощность, потребляемая двигателем относительного вращения резцовых дисков, кВт; N2 – активная мощность, потребляемая двигателем переносного вращения, кВт; U2 – фазное напряжение на вводе № 2, В;

N3 – активная мощность, потребляемая одним двигателем бермовых фрез, кВт

Согласно исследованиям, наиболее нагруженными двигателями комбайна «Урал-20Р» являются двигатели бермовых исполнительных органов, осуществляющих разрушение массива у почвы выработки и погрузку отбитой руды на конвейер. Данное явление объясняется заштыбовкой погрузочных шнеков, приводимых от тех же электродвигателей, что и бермовые фрезы комбайна. Большая часть мощности, потребляемой двигателями бермовых исполнительных органов, расходуется не на разрушение забоя, а на погрузку и переизмельчение руды шнеками [4].

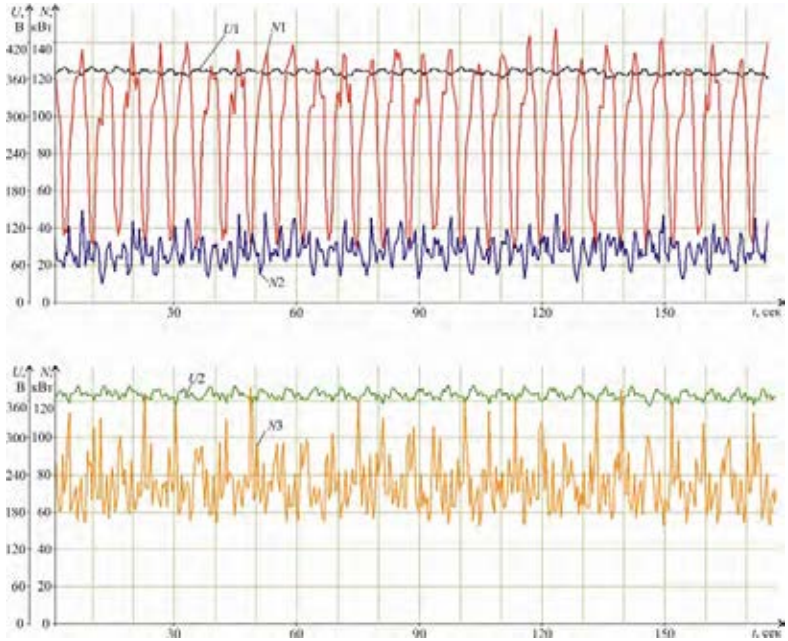


Рис. 3. Графики изменения энергетических параметров работы приводных двигателей комбайна «Урал-20Р» при обработке забоя неполным сечением ($V_п$ = 0,40 м/мин).

Особо следует отметить, что при работе комбайна «Урал-20Р» в рассматриваемых условиях в контакте с забоем попеременно находится только один из двух поворотных редукторов планетарного исполнительного органа. Штатная система индикации сигнализирует о наличии сверхнормативных нагрузок при двукратной перегрузке

поворотного редуктора. Указанное объясняет то, что свыше 35 % от общего числа аварийных отказов электромеханического оборудования комбайнов «Урал-20Р» приходится на поворотные редуктора планетарно-дисковых исполнительных органов.

Таблица

Средние значения активных мощностей двигателей комбайна «Урал-20Р» при обработке забоя неполным сечением со скоростью подачи $V_п$=0,40 м/мин

Обследуемые двигатели	Среднее значение активной мощности N_a (кВт)	Среднее квадратичное отклонение σ_N (кВт)	Значение коэффициента вариации K_v	Активная мощность при номинальной нагрузке двигателя, кВт
Относительное вращение 1	97,17	38,16	0,39	170,2
Относительное вращение 2	104,70	45,56	0,44	170,2
Бермовый орган	169,73	17,56	0,20	163,0
Переносное вращение	36,20	7,57	0,21	81,5

Анализ результатов исследований показал, что скорость подачи комбайна Vп превышала допустимое значение по критерию максимально допустимой толщины стружки hmax, значение которой определяется конструкцией породоразрушающего инструмента и планетарно-дискового исполнительного органа. Разрушение калийного массива планетарными исполнительными органами комбайна «Урал-20Р» со скоростью подачи Vп>0,25 м/мин допускает контакт с забоем кулаков-резцедержателей. В ходе визуальных наблюдений за движением комбайна были отмечены существенные вибрации корпуса выемочной машины, а также проскальзывания гусениц ходового оборудования.

Таким образом, при работе комбайнов «Урал-20Р» неполным сечением исполнительных органов следует ограничивать скорость подачи выемочной машины на забой по критерию максимально допустимой толщины стружки.

Штатные системы управления и индикации комбайна «Урал-20Р» нуждаются в совершенствовании, так как не позволяют контролировать величину динамических составляющих нагрузок на приводы комбайна.

Работа комбайна «Урал-20Р» неполным сечением исполнительных органов с большой скоростью подачи приводит к ускоренному расходу ресурса и аварийным отказам редукторов и приводных электродвигателей выемочной машины.

Библиографический список:

1. Иванов С.Л. Повышение ресурса трансмиссий горных машин на основе оценки энергонагруженности их элементов. СПб.: Санкт-Петербургский горный ин-т, 1999. 92 с.

2. Исследование нагруженности и возможности прогнозирования энергоресурса приводов исполнительных органов комбайна «Урал-20Р» / Г.Д. Трифанов, А.А. Князев, Н.В. Чекмасов, Д.И. Шишлянников // Горное оборудование и электромеханика. 2013. № 2. С. 41-44.

3. Обоснование рационального способа контроля параметров работы и технического состояния проходческо-очистных комбайнов калийных рудников / Д.И. Шишлянников, Н.В. Чекмасов, М.Г. Трифанов, С.Л. Иванов, И.Е. Звонарев // Проблемы машиностроения и надежности машин. 2015. № 3. С. 110-115.

4. Суханов А. Е., Максимов А. Б. Обоснование параметров погрузочного оборудования проходческо-очистных комбайнов" Урал-20Р" //Проблемы разработки месторождений углеводородных и рудных полезных ископаемых. – 2018. – №. 1. – С. 433-436.

УДК622.279.04

ОБОСНОВАНИЕ РАЦИОНАЛЬНОГО СПОСОБА РАЗРАБОТКИ ТОРФЯНОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ В УСЛОВИЯХ ОГРАНИЧЕННОЙ ГЕОЛОГИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИИ

Яконовская Т.Б., Жигульская А.И., Оганесян А.С.,
Тверской государственный технический университет, Тверь, Россия

Встатье анализируются проблемы недостоверности и ограниченности геологической информации в торфодобывающей отрасли,приводятся возникающие при этом хозяйственные риски в освоении торфяных месторождений. На основе разработанной авторами информационно-математической модели торфяного месторождения предлагается обосновать качество торфяных ресурсов, ассортимент торфопродукции и выбор оптимальной технологии отработки торфяной залежи. Представлен алгоритм оптимального выбора способа добычи торфа.

На современном этапе экономического развития России торфодобывающий сектор горной промышленности функционирует в кризисных условиях, которые усугубляются недостоверной и ограничен-

ной геологической информацией. Вся известная геологическая информация по имеющимся торфяным ресурсам России содержится в «Местных торфяных фондах» датируемых 1950 – 1955 – 1980 – 2000 годами. Массовая геологическая разведка торфяных месторождений проводилась в эпоху индустриального развития отрасли с 1930-х годов. В советское время промышленная добыча торфа проводилась быстрыми темпами практически во всех регионах страны [1-4]. Было достаточно много предприятий с годовой программой добычи до 900 тысяч тонн. Особенно быстрыми темпами вырабатывались торфяные месторождения, находящиеся рядомсрынками сбыта и районными административными центрами. В настоящее время большая часть торфяных месторождений с благоприятными горно-геологическими и производственно-экономическими условиями выработана. Следовательно, дальнейшее развитие отрасли сдерживается неблагоприятными экономическими условиями, а такженедостаточной геологической изученностьюместорождений, их удаленностью от рынков сбыта и отсутствием подъездных путей. Такие месторождения изучены маршрутно и информация по ним скудная, ктому же в торфяных фондах часто встречаются противоречивые геологические данные по одним и тем же месторождениям. В этой связи, при принятии решения о разработке торфяного месторождения возникают следующие риски:

1. Геологический риск – возникает при оценке объемов и качества запасов торфяного сырья в торфяной залежи посредством моделирования торфяного массива. Такая оценка проводится в результате торфоисследовательских работ. На этом этапе геологи определяют тип, группу, вид, степень разложения, зольность, пнистость, глубину и агрохимический состав торфа. При наличиинеопределенности геологической информации задача сводится к тому чтобы в случае отсутствия достаточных запасов торфа определенного качества минимизировать капиталовложения, а в случае их наличия – обеспечить достаточную степень геологической изученности торфяного массива [5, 6].

2. Технологический риск – возникает при ограниченности геологической информации и связан с неправильным выбором рационального способа и технологии разработки торфяного месторождения. Это приводит к ошибкам в проектировании структуры парка технологических машин и оборудования, что, в свою очередь, негативно отражается на эффективности технологии сервисного сопровождения торфодобывающей техники [7 - 9].

3. Экологический риск – торфяное месторождение в естественном виде представляет собой болотную экосистему в которой встречается редкая флора и фауна. В осушенном виде торфяной массив является ис-

точником пожароопасности. Этап торфоисследовательских работ позволяет определить геоморфологические и гидродинамические условия месторождения и тем самым проектировать оптимальные технологии рекультивации выработанного торфяника [10 - 12].

4. Маркетинговый риск – также связан с недостоверностью геологической информации, которая сказывается на разработке ассортиментной стратегии торфодобывающего производства.

5. Экономический риск – возникает на стадии проектирования торфодобывающего производства и напрямую связан с неточностью геологической информации. Так, например, известно, что себестоимость торфяной продукции и величина первоначальных инвестиций меньше на залежах эвтрофного (низинного) типа торфа, чем на олиготрофных (верховых) торфах. То же можно сказать о пнистости месторождения, рост пнистости на 1% приводит к увеличению расходов на добычу торфа на 10% на любых типах торфяной залежи [13 - 18].

Таким образом, риск недостоверной и ограниченной геологической информации о торфяном месторождении является основополагающим, базовым для всех остальных видов риска. Геологическая неопределенность в торфоисследовательских работах проявляется в пространственной изменчивости качественных характеристик торфа в залежи, как в горизонтальном, так и в вертикальном направлениях. Кроме того, в результате процесса осушения месторождения торф взаимодействует с воздухом и окисляется, по этой причине качественные характеристики торфяного сырья также меняются. В связи с этим, особо важную роль играют методы принятия решений о разработке торфяных месторождений в условиях ограниченной геологической информации. Для определения объема запасов торфа в месторождении, качества запасов и качественных характеристик торфяной залежи авторами было исследовано несколько вариантов моделей месторождений: аналитическая, алгебро-логическая, кусочно-аналитическая, каркасная, кинематическая, рецепторная и комбинированная, однако, оптимальной для математического описания торфяного массива является точечно-дискретная модель, в которой торфяной массив рассматривается как геологическое тело определенной геометрической формы и структуры. Качественные слои ресурсов торфяной залежи кодировались по схеме: тип-степень разложения-зольность-пнистость-глубина.

Основной геологической информацией при выборе стратегии добычи торфа являются данные по типу торфа, пнистости залежи и ее бонитету, как правило, именно такие данные обладают наибольшей неопределенностьютак как, при осушении процент пнистости растет, а ее определение проводится по трем методам (Инсторф, ЦТОС, МТИ) (рис.1).

Методы ЦТОС и МТИ позволяют довольно точно определить среднюю пнистость залежи до 2,5%, но для послойного моделирования торфяного месторождения более точный результат по количеству горизонтов пней и их послойной пнистости можно получить только методом МТИ, так как он увязан с фактическими данными по геологии и стратиграфии месторождения. К тому же, для целей селективной технологии разработки торфяной залежи метод определения пнистости МТИ подходит больше.

В то же время для построения модели распределения пней в торфяной толще можно использовать метод геометрических слоев по методике ЦТОС, тогда распределение пней будет рассчитываться как среднее по динамическому ряду, а количество горизонтов пней увеличится (такой подход заложен в современных горных ГИС).

Практическая значимость моделирования торфяного массива заключалась в принятии решения об оптимальной технологии разработки торфяной залежи. При этом критериями оптимальности будут вступать: минимум капиталовложений в технологию добычи торфа, экономически целесообразный ассортимент торфопродукции и максимизация прибыли. Алгоритм выбора способа разработки торфяного месторождения представлен на рис. 2.

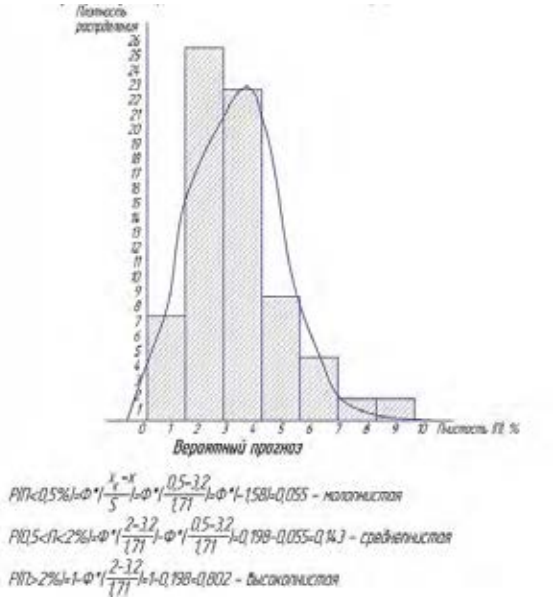


Рис. 1 Статистическое распределениепнистости торфяной залежи

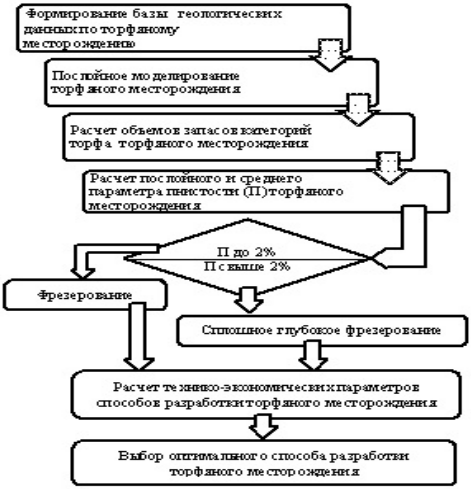


Рис. 2 Алгоритм принятия решения о выборе способа разработки торфяного месторождения

Таким образом, для принятия решения о способе разработки торфяного месторождения можно не проводить дорогостоящих, детальных геологоразведочных работ,достаточно иметь данные по зондированию залежи на пнистость. Количество площадок по определению пнистости зависит от площади месторождения и от вида торфяного массива, при этом на этой желплощади проводят и опробирование залежи для определения ее типа (верховая, переходная, низинная).

Библиографический список:

1.Анализ инвестиционно-инновационной активности в торфяной отрасли / Т.Б. Яконовская, А.И. Жигульская, М.А. Жигульский // Современное состояние экономических систем: экономика и управление.Сб. науч. тр. межд. науч.конф. / под общ. ред. Д.В. Розова, Г.Г. Скворцовой. 2018. С. 148-153.

2.Вопросы инвестиционной привлекательности торфяной отрасли / Т.Б. Яконовская, А.И. Жигульская, Б.Ф. Зюзин // В сборнике: Современное состояние экономических систем: экономика и управление.Сб. науч. тр. межд. науч.конф. / под общ. ред. Д.В. Розова, Г.Г. Скворцовой. 2018. С. 139-142.

3.Яконовская Т.Б., Жигульская А.И. Проблемы теории, методологии и практики налогообложения предприятий торфодобывающей отрасли Тверского региона // Вестник Тверского государственного технического университета. Серия: Науки об обществе и гуманитарные науки. 2020. №2(21). С. 121-127.

4. Яконовская Т. Б., Жигульская А. И. Проблемы информатизации технологических процессов предприятий по добыче торфа // Актуальные направления научных исследова-

ний: технологии, качество и безопасность: сборник материалов Национальной (Всероссийской) конференции / под общ. ред. А.Ю. Просекова; ФГБОУ ВО «Кемеровский государственный университет». – Кемерово, 2020. С. 112-115

5. Оценка использования геофизического метода VLF для определения мощности торфяного месторождения / Т.Б. Яконовская, А.И. Жигульская, П.А. Яконовский // Горные науки и технологии. 2020;5(3):224-234. https://doi.org/10.17073/2500-0632-2020-3-224-234

6.Дистортность в оценке экспериментальных исследований и поведенческих решений / Б.Ф. Зюзин, А.И. Жигульская, Т.Б. Яконовская // Технологическое оборудование для горной и нефтегазовой промышленности. Сб. тр. XVIII межд. науч.-тех.конф. «Чтения памяти В.Р. Кубачека», проведенной в рамках Уральской горнопромышленной декады. Екатеринбург, 2020. С. 217-221.

7.Оценка этапов жизненного цикла разработки торфяного месторождения / А.В. Михайлов, А.И. Жигульская, Т.Б. Яконовская и др. // Геология и минерально-сырьевые ресурсы Запада Восточно-Европейской платформы: проблемы изучения и рационального использования. Мат. межд. науч.конф., посвященной 215-летию со дня рождения И. Домейко /под ред. А.К. Карабанова. 2017. С. 196-199.

8.Strip mining of peat deposit / A. Mikhailov, A. Zhigulskaya,T.Yakonovskaya // Proceeding of the 26th International Symposium. Edited by BehzadGhodrati, Uday Kumar, HåkanSchunnesson. 2017. С. 497-501.

9.Excavating and loading equipment for peat mining /A.V. Mikhailov, A.I.Zhigulskaya, T.B.Yakonovskaya // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. [Electronicresource]. 2017. С. 022014.

10.Жигульская А.И., Яконовская Т.Б.Новое оборудование и технологии комплексной безотходной добычи и переработки ресурсов торфяного месторождения - Учебное пособие(2-е изд., перераб. и доп.)/ Тверской государственный технический университет. Тверь, 2016. 160 с.

11.Яконовская Т.Б., Жигульская А.ИБезотходные технологии получения продукции на основе торфа // Актуальные вопросы химической технологии и защиты окружающей среды. Сб. мат. VIII всерос.конф., посвященной 60-летию ПАО "Химпром". 2020. С. 28-29.

12.Комплексное использование торфяных и древесных ресурсов / Б.Ф. Зюзин, и др. // Проблемы рационального использования природных ресурсов и устойчивое развитие Полесья. Сб. док.межд. науч.конф.: в 2-х томах. 2016. С. 152-156.

13.Экономическая классификация способов разработки торфяного месторождения: рентный подход / Т.Б. Яконовская, А.И. Жигульская, Б.Ф. Зюзин Б.Ф. // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). 2014. №7. С. 318-323.

14.Жигульская А.И., Яконовская Т.Б. Экономические и инженерные аспекты нового оборудования и технология комплексной безотходной добычи и переработки ресурсов торфяного месторождения // Депонированная рукопись №953/04-1330.01.2013

15.Жигульская А.И., Яконовская Т.Б. Комплексная механизация добычи и переработки торфо-древесных ресурсов торфяных месторождений // Депонированная рукопись №954/04-1330.01.2013

16.Яконовская Т.Б. Совершенствование экономического механизма управления промышленными предприятиями. Дис.на соискание уч. степ.к.э.н. / Российский заочный институт текстильной и легкой промышленности. Тверь, 2009. 175 с.

17.Перспективы комплексного освоения торфяных месторождений (экологический, технологический и экономический аспекты) / Г.Л. Макаренко, А.Е. Тимофеев, Т.Б.Яконовская // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). 2010. №10. С. 265-272

18.Круглогодичная технология получения торфо-древесного сырья с учетом эколого-экономического фактора / А.И. Жигульская, Т.Б. Яконовская, и др. // Социально-экономические и экологические проблемы горной промышленности, строительства и

энергетики. 8-я межд.конф. по проблемам горной промышленности, строительства и энергетики. 2012. С. 135-142.

УДК 622.235

ВЛИЯНИЕ ТРЕЩИНОВАТОСТИ ГОРНОГО МАССИВА НА РАДИУС ЗОНЫ РАЗРЫХЛЕНИЯ ПРИ ВЗРЫВЕ СКВАЖИННОГО ЗАРЯДА

Фролов А.А., Бельтек Н.И.
Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт имени Игоря Сикорского», г. Киев, Украина

Представлены результаты исследований по определению радиуса зоны взрывного разрыхления трещиноватых горных массивов при взрыве в нем скважинного заряда взрывчатого вещества. Установлено, что параметры зоны взрывного разрыхления зависят от размеров зон интенсивного дробления и трещинообразования, которые формируются под действием взрыва в скальном монолитном массиве. Представлена аналитическая зависимость по расчету радиуса зоны взрывного разрыхления в трещиноватых массивах, которая учитывает основные характеристики горного массива и заряда. Получены графические зависимости изменения радиуса зоны взрывного разрыхления магнетитовых кварцитов от расстояния между трещинами в горном массиве для разных типов взрывчатых веществ.

При воздействии взрыва цилиндрического заряда взрывчатого вещества (ВВ) на монолитный горный массив в нем образуются три зоны: зона интенсивного дробления (смятия); зона трещинообразования (радиальных трещин); зона упругих деформаций [1]. Как правило, между этими зонами нет четких границ (рис. 1). Они постепенно переходят друг в друга, а радиус зоны трещино-образования определяет в целом размеры зоны дробления. Процессы формирования этих зон и их параметры зависят как от характеристик ВВ и зарядной полости, так и от свойств горного массива.

В то же время общеизвестно, что скальные горные массивы, подлежащие взрывному дроблению, в большинстве своем являются трещиноватыми. При воздействии на них взрывной нагрузки большая

часть породы разваливается по существующим в массиве трещинам. При этом только лишь небольшая часть массива, прилегающего к заряду, подвергается дроблению на куски меньше естественной отдельности [2, 3]. Поэтому проблеме взрывного разрушения трещиноватого массива всегда уделяется большое внимание, а установление параметров зоны взрывного разрыхления в различных горно-геологических и горнотехнических условиях составляет научно-техническую задачу, решение которой позволит эффективно управлять действием взрыва в горном массиве [4].

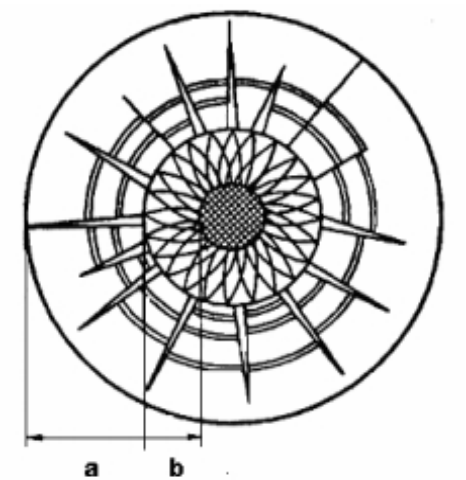


Рис.1 – Схема взрывного разрушения монолитного горного массива:
a – зона трещинообразования: b – зона интенсивного дробления [5]

Среди ученых нет единого мнения относительно процесса формирования и параметров зон разрушения скального горного массива. Однако всеми исследователями выделяется зона интенсивного дробления или переизмельчения [5, 6]. Основной же объем разрушений в монолитном массиве приходится на зону трещинообразования [7].

Прогнозирование результатов взрывного разрыхления трещиноватых массивов является более сложной научной задачей. Несмотря на достигнутые успехи в этой сфере исследований, на сегодняшний день невозможно достоверно установить действие взрыва в трещиноватых массивах. Таким образом, целью данных исследований является определение влияния трещиноватости скального массива на радиус зоны взрывного разрыхления горных пород, как показателя эффективности взрывной отбойки [8].

Существует несколько способов расчета параметров буровзрывных работ, которые учитывают трещиноватость скального массива. Однако они не получили широкого распространения, поскольку не охватывают, в полной мере, тех многих факторов, которые влияют на эффективность разрушения трещиноватых массивов горных пород взрывом удлиненного заряда. В частности одни способы не учитывают величину и действие взрывного импульса на окружающую среду, другие слишком упрощают влияние трещиноватости массива и т.д.

На наш взгляд, наиболее полно (хотя несколько и упрощенно) величина взрывного импульса и размер зоны его влияния отражен в следующем значении радиуса трещинообразования при отбойки монолитного массива [9]:

$$R_{\text{гр}} = 1,4R_{\text{д}}\sqrt{\frac{P_{\text{ВВ}}r_{\text{з}}}{R_{\text{д}}\tau}}\text{, м,} \qquad (1)$$

где $R_{\text{д}}$ – радиус зоны интенсивного дробления горных пород взрывом удлиненного заряда, м; $P_{\text{ВВ}}$ – среднее давление продуктов взрыва ВВ в зарядной камере, Па; $r_{\text{з}}$ – радиус цилиндрического заряда (скважины или шпура), м; τ – предел прочности разрушения породы на сдвиг, Па.

Следует отметить, что в (1) в качестве основной составляющей входит радиус зоны интенсивного дробления. В этой зоне, во время действия взрыва, происходит интенсивное мелкодисперсное дробление породы. Радиус зоны интенсивного дробления в монолитном массиве, согласно [6], определяется из выражения

$$R_{\text{д}} = d_{\text{з}}\sqrt{\frac{P_{\text{ВВ}}}{\sigma_{\text{с}}}}\text{, м,} \qquad (2)$$

где $d_{\text{з}}$ – диаметр цилиндрического заряда ВВ, м; $\sigma_{\text{с}}$ – предел прочности горных пород на сжатие, Па.

Среднее давление продуктов детонации ВВ в заряде, Па, определяют как [10]

$$P_{\text{ВВ}} = \frac{1}{8}\rho_{\text{ВВ}}D^2\text{,} \qquad (3)$$

где D – скорость детонации взрывчатого вещества, м/с; $\rho_{\text{ВВ}}$ – плотность ВВ в заряде, кг/м^3.

В тоже время радиус зоны взрывного разрыхления в трещиноватом горном массиве, при взрыве в нем удлиненного заряда, рекомендуется определять как[11]:

$$R_{\text{р}} = 1,4R_{\text{д}}\sqrt{\frac{P_{\text{ВВ}}r_{\text{з}}}{R_{\text{д}}\tau K_{\text{с}}}}\text{,} \qquad (4)$$

где $K_с$ – коэффициент структурного ослабления трещиноватого массива.

Как видно, формула (4) отличается от (1) только наличием коэффициента структурного ослабления трещиноватого массива, который, согласно [9], наиболее достоверно аппроксимируется выражением

$$K_с = \frac{1}{0,97 + 0,13\dfrac{R_{тр}}{l_т}}, \tag{5}$$

где $l_т$ – среднее расстояние между трещинами.

То есть коэффициент структурного ослабления функционально определяется из соотношения предельно возможного радиуса зоны трещинообразования в монолитном массиве и среднего расстояния между трещинами.

С учетом (1) и (5) формула (4) примет следующий вид:

$$R_р = 1,4R_п\sqrt{\frac{P_{ВВ}r_з\left(0,97 + 0,182\sqrt{\dfrac{R_д P_{ВВ} r_з}{l_т^2 \tau}}\right)}{R_д \tau}}. \tag{6}$$

Таким образом в (6) представлены основные свойства скального горного массива (прочностные характеристики породы и трещиноватость) и характеристики ВВ (радиус цилиндрического заряда, а также, через давление газов взрыва, плотность заряжания и скорость детонации ВВ).

Используя (6), рассчитаны численные значения радиусов зон взрывного разрыхления $R_р$ трещиноватых магнетитовых кварцитов с пределом прочности на сжатие $\sigma_с$=2,1×10^8 Па и пределом прочности на сдвиг τ=1,25×10^8 Па. Расстояние между трещинами $l_т$ изменялась от 0,1 до 2 м с интервалом 0,1 м. Радиус скважинного заряда составляет $r_з$=0,125 м, соответственно диаметр равен $d_з$=0,250 м.

Рассмотрены три типа ВВ: 1 – анемикс 70 (плотность заряжания $\rho_{ВР}$=1220 кг/м^3; скорость детонации D=4900 м/с); 2 – граммонит 79/21 ($\rho_{ВР}$=1000 кг/м^3; D=3700 м/с); 3 – AN-FO ($\rho_{ВР}$=900 кг/м^3; D=3200 м/с).

Результаты расчетов радиуса зоны взрывного разрыхления, в зависимости от расстояния между трещинами в горном массиве, представлены на рис. 2.

Анализ рис. 2 показывает, что радиус зоны взрывного разрыхления в целом уменьшается с увеличением расстояния между трещинами. Наибольшая интенсивность его изменения наблюдается для скального массива в пределах II категории трещиноватости

(расстояние между трещинами 0,1-0,5 м) независимо от типа ВВ. В частности, для анемикса 70 значение радиуса взрывного разрыхления уменьшается с 5,82 м до 3,55 м, т.е. в 1,64 раза. При дальнейшем увеличении расстояния между трещинами значения радиуса зоны разрыхления изменяется незначительно – с 3,55 до 2,93 м при увеличении расстояния между трещинами с 0,5 до 2,0 м.

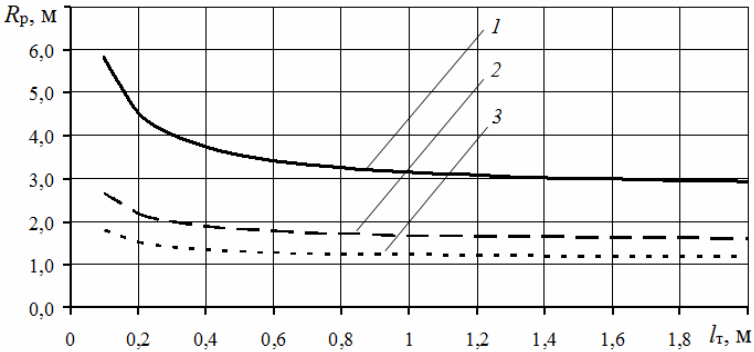


Рис. 2 – Изменение радиуса зоны взрывного разрыхления трещиноватых магнетитовых кварцитов $R_р$ в зависимости от расстояния между трещинами в горном массиве $l_т$: *1* – анемикс 70; *2* – грамонит 79/21; *3* – AN-FO

Аналогичная картина складывается и при анализе использования других типов ВВ. Уменьшение радиуса взрывного разрыхления при увеличении расстояния между трещинами с 0,1 до 0,5 м составляет: для граммонита 79/21 – 1,48 раза (с 2,67 до 1,81 м); для AN-FO – 1,40 раза (с 1,8 до 1,29 м). Дальнейшее же увеличение расстояния между трещинами практически не влияет на радиус зоны разрыхления (конечные значения радиуса 1,6 и 1,17 м, соответственно для граммонита 79/21 и AN-FO).

Таким образом, полученные результаты исследований позволяют в дальнейшем совершенствовать методики расчета параметров буровзрывных работ в скальных трещиноватых массивах, в основе которых в качестве основного параметра принят радиус зоны взрывного разрыхления.

Библиографический список:

1. Шер Е.Н. Исследование влияния конструкции скважинного заряда на размер зоны разрушения и время ее развития в горных породах при взрыве / Е.Н. Шер, Н.И. Александрова. – ФТПРПИ, 2007 № 4. С. 76-85.

2. Головин К.А. Прогнозирование расположения зон разрушения массива в ходе проведения взрывных работ / К.А. Головин, Р.А. Ковалев, А.Б. Копылов // Известия ТулГУ. Науки о Земле. – 2017. – №4. С. 293-302.

3. Адушкин В.В., Кочарян Г.Г., Бригадин И.В. и др. К вопросу о механизме разрушения прочных скальных пород подземным взрывом / ГИАБ. – 2015. – №7. – С. 344-349.

4. Фролов О.О. Встановлення закономірностей руйнування природно порушених скельних масивів вибухом /О.О. Фролов, М.І. Бельтек//Вісник ЖДТУ/Технічні науки. – 2019. – №1(83). – С. 283-288.

5. Кутузов Б.Н. Методы ведения взрывных работ. Часть1. Разрушение горных пород взрывом / Кутузов Б.Н. // МГТУ – М.: Горная книга, 2009. – 471с.

6. Андриевский А.П. Гипотезы дробления массива взрывом колонкового заряда / А.П. Андриевский, А.Е. Зуев // Международный научно-исследовательский журнал, 2015, №10(41) Часть 4. –С. 86-90.

7. Шер Е.Н. Форма и размеры радиальных трещин, образующихся при взрыве двух сближенных скважинных зарядов / Е.Н. Шер // Фундаментальные и прикладные вопросы горных наук. – 2016. – № 3. – С. 250–255.

8. Казаков Н.Н. Разрушение и дробление горных пород в карьерах / Н.Н. Казаков // Взрывное дело. – 2018. – №119/76. – С. 5-19.

9. Андриевский А.П. физико-техническое обоснование параметров разрушения горного массива взрывом удлиненных зарядов / Дис. ... докт. техн. наук: 25.00.20. – Красноярск, 2009. – 349 с.

10. Фролов О.О. Керування енергетичними потоками при вибуховому руйнуванні гірських порід на кар'єрах: монографія / О.О. Фролов, А.І. Крючков, Т.В. Косенко. – Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, Вид-во "Політехніка", 2019. –196 с.

11. Андриевский А.П., Кутузов Б.Н., Половов Б.Д. и др. Влияние физико-механических свойств и трещиноватости массива на параметры образующейся взрывной воронки при отбойке на обнаженную плоскость // ФТПРПИ. 1997. N 4. - С.59-61.

⚒⚒⚒

УДК 621.313

ФАКТОРЫ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРОИЗВОДСТВА И ИСПОЛЬЗОВАНИЯ БИОГАЗА

Бельская Г.В., Хрипович А.А., Зеленухо Е.В.
Белорусский национальный технический университет, г. Минск, Республика Беларусь

В работе определены факторы повышения эффективности производства и использования биогаза в Республике Беларусь. В качестве основных факторов выделены состав и предварительная обработка используемого органического субстрата, а также очистка и доработка биогаза инновационными методами, позволяющими получить высококалорийное биотопливо и минимизировать воздействие на окружающую среду.

Использование биогазовых технологий, основанных на переработке органических отходов пищевой промышленности, а также отходах растениеводства и животноводства, является одним из перспективных направлений получения возобновляемой энергии для потребления в хозяйственной деятельности. Это обусловлено рядом положительных энергетических, экологических и агротехнических аспектов. Энергетический аспект заключается в возможности использования биогаза в качестве топлива для обеспечения собственных нужд предприятий тепловой и электрической энергией. Экологическая составляющая характеризуется тем, что при анаэробном сбраживании происходит разложение большей части органических веществ, содержащихся в биомассе. Это приводит к сокращению выбросов загрязняющих веществ и парниковых газов в атмосферный воздух, в том числе и от навозных лагун за счет внедрения новой системы уборки, хранения и использования навоза и других органических субстратов. Сбраживание биомассы позволяет снизить содержание в ней возбудителей инфекционных заболеваний растений и животных, в т.ч. вирусных, что благоприятно влияет на снижение заболеваемости, загрязнения почв, поверхностных и подземных вод. В качестве агротехнической составляющей можно выделить получение и использование биогумуса - продукта, получаемого после биогазовой переработки отходов. Он обладает рядом преимуществ по сравнению с не переработанной органикой, так как содержит более доступные для растений формы азота, а также очищен от семян сорной растительности и болезнетворных микроорганизмов [1].

Однако, несмотря на широкий спектр преимуществ использования биогазовых технологий, с целью повышения эффективности производства и использования биогаза необходимы учет и корректировка ряда факторов (как на стадии проектирования и строительства, так и в ходе эксплуатации биогазовых комплексов).

Так, к одним из значимых факторов относится оптимизация вопросов логистики биогазовых комплексов (строящихся и функционирующих). С целью обеспечения непрерывного процесса работы биогазовых установок важным является наличие достаточного объема органического сырья. Поэтому наилучшим вариантом является территориальное размещение биогазовых установок как можно ближе к источникам производимых субстратов. Должна быть обеспечена оптимальная инфраструктура подъездных путей и мест складирования первичного сырья.

Важным фактором, оказывающим влияние на выход биогаза, является состав используемого органического субстрата. При оценке субстрата следует учитывать, что только из сухой массы, и в этом случае, только из ее органической части можно произвести метан. Поэтому содержание органической сухой массы в соотношении к общей биомассе, используемой для брожения, является первым и самым важным критерием для выбора составляющих смеси субстратов. С учетом потенциала образования и поставки органических отходов с целью эффективного их использования для производства тепловой и электрической энергии необходима объективная оценка установленной электрической мощности биогазового комплекса (планируемого для строительства).

Необходима также оценка и предобработка органических субстратов. Микроорганизмы, участвующие в производстве биогаза, требуют строго определенных условий для своего функционирования, в противном случае процесс производства биогаза может замедлиться или полностью остановиться. Некоторые токсические вещества (в первую очередь, аммиак, сероводород), образующиеся на разных стадиях микробиологического разложения, известны как ингибиторы, которые отрицательно влияют на жизнедеятельность микроорганизмов и соответственно снижают выход биогаза, вплоть до остановки микробиологического процесса.

К наиболее распространенным методам предварительной обработки субстратов относятся механическая, химическая, биологическая, термическая и комбинированная обработки. Механическая обработка является наиболее простым видом обработки субстрата. Она осуществляется при помощи различных дробилок и шредеров, которые измельчают субстрат, что увеличивает контактную поверхность для микроорганизмов, образующих биогаз. При этом выход биогаза увеличивается на 15-25% [2], значительно сокращается время ферментации. Основным недостатком механической обработки является потребление большого количества электрической энергии для привода дробилок.

Химическая обработка позволяет разрушать связи между целлюлозой и гемицеллюлозой, растворять лигнин, связывающий волокна растительных субстратов. Обычно для этого используются растворы кислот различной концентрации, щелочи и оксиды. Химическая обработка увеличивает выход биогаза на 20% [2]. Недостатком химической обработки необходимость нейтрализации кислот или щелочей и большой расход воды на промывку обработанного сырья.

Биологическая обработка. Основными этапами образования биогаза являются гидролиз и ацидогенез. При этом гидролитические и кислотообразующие бактерии требуют различных условий для своего функционирования. Если эти этапы отделить друг от друга и проводить их в отдельных реакторах, то можно добиться увеличения выхода биогаза на 21% [2]. Однако это приводит к увеличению стоимости функционирующего оборудования. Также к биологической обработке относится добавление в реактор специальных штаммов целлюлозоразрушающих грибных организмов и энзим бактерий, которые увеличивают скорость разложения органического субстрата.

В ходе термической обработки осуществляется нагрев субстрата до температуры 125 – 190 °С при давлении от 20 до 30 атмосфер. В таких условиях субстрат удерживается некоторое время (обычно до одного часа). При этом нарушается клеточная целостность субстрата, что позволяет увеличить выход биогаза на 20–30%. Недостатком этого вида обработки является большое потребление энергии для нагрева субстрата до высоких температур.

Комбинированная обработка представляет собой комбинацию из некоторых вышеописанных типов обработок. Например, растительный субстрат может быть измельчен (механическая обработка), затем подвергнут воздействию раствора кислоты (химическая обработка) и помещен в автоклав (термическая обработка).

С целью повышения эффективности использования, неочищенный биогаз, получаемый с помощью анаэробного сбраживания, обычно необходимо подготовить для дальнейшего использования. Помимо CH_4, биогаз содержит такие компоненты, как CO_2, N_2, H_2S, H_2, O_2, летучие органические загрязнители, силоксаны, галогеносодержащие органические соединения и водяной пар, которые рассматриваются как загрязняющие вещества. Они должны быть удалены до использования биогаза с целью получения тепловой энергии или как топливо (биометан) [3].

Содержание метана в биогазе в первую очередь определяется следующими критериями:

- технологией процесса (соблюдением условий метаногенеза, отсутствием вредных соединений в субстрате);

- температурой процесса сбраживания (при более высокой температуре выход метана ниже, это происходит из-за различия в растворимости и образования газообразной двуокиси углерода: чем большее количество CO_2 переходит в газообразную форму, тем меньше будет концентрация CH_4 в биогазе).

Обогащение биогаза до биометана подразумевает удаление из него сероводорода (H_2S), диоксида углерода (CO_2) и паров воды. Сероводород (содержание в биогазе достигает до 3 %) является агрессивным газом, провоцирующим кислотную коррозию; содержание CO_2 в биогазе может достигать до 50 %. Содержание воды в биогазе зависит от влажности субстрата и режима сбраживания, этот компонент также снижает теплоту сгорания биогаза [4].

Для очистки биогаза могут быть использованы как традиционные методы (химическая очистка, абсорбция, адсорбция), так и инновационные способы (мембранное разделение, криогенное разделение и биологические технологии очистки).

Классические химические методы очистки биогаза реагентным способом, либо с использованием аминосодержащих соединений позволяют получить практически чистый метан (более 99%), однако при этом требуется утилизация образующихся отходов.

Водная абсорбция при повышенном давлении и адсорбция на органической (полиэтиленгликоль) или неорганической (глинозем, цеолит, алюмосиликаты) матрице высоко эффективны, однако они требуют предварительной очистки биогаза от H_2S. Также необходима регенерация сорбента, что приводит к затратам и повышению нагрузки на окружающую среду в виде отработанных сорбентов и образующихся отходов.

К инновационным методам в сфере подготовки биогаза относится мембранная технология. Разделение метана и других компонентов газа обеспечивается благодаря разным скоростям диффузии молекул различных газов через мембранный барьер. Метан проходит через большинство мембран быстрее, чем, например, двуокись углерода или углеводород. При этом чистота получаемого биогаза зависит от вида мембраны, ее поверхности, скорости потока и количества ступеней разделения.

Для очистки биогаза могут быть использованы следующие типы мембран: неорганические, полимерные и со смешанной матрицей. Неорганические мембраны собраны в плотную и пористую фазы. Несмотря на высокую термическую и химическую стабильность, неорганические мембраны из-за затрат на производство имеют ограниченное применение в промышленных масштабах. Полимерные мембраны в основном состоят из ацетата целлюлозы, поликарбоната, сложных полиэфиров, полисульфона, полиамида и др. В этом типе мембран, коэффициент диффузии и растворимость CO_2 выше по сравнению с неорганическими, что приводит к более высокой проницаемости. Газ, богатый CH_4 остается на стороне мембраны с более высоким давлени-

ем, в то время как CO_2 и H_2S распространяются на стороне с более низким давлением. Мембраны со смешанной матрицей создаются путем смешивания неорганического наполнителя и органической полимерной матрицы для достижения более высокой проницаемости и селективности. Комбинация этих двух материалов приводит к изменению проницаемости, действуя как барьер молекулярного сита и нарушая структуру матрицы [5].

Биологические технологии доработки биогаза основаны на применении микроорганизмов, потребляющих для своего функционирования CO_2 и H_2S. Одна из таких технологий основана на преобразовании углекислого газа в метан ацетофильными бактериями, использующими для этого процесса водород. Введение в биореактор таких бактерий и водорода в реакционную среду позволяет повысить содержание метана в биогазе, при этом отсутствуют отходы и выбросы в окружающую среду. Возможна доочистка биогаза с помощью биотехнологий не при получении биогаза, а перед потреблением, если невелики транспортные расходы.

Одной из разновидностей биотехнологий является фотосинтетическое удаление CO_2 и H_2S из биогаза с применением микроводорослей. Углекислый газ является источником энергии для роста микроводорослей, сероводород в процессе полностью окисляется до сульфатов. Полученная биомасса может использоваться для получения биоудобрений или служить сырьем для производства биогаза в том же технологическом процессе, делая его практически безотходным.

Криогенное разделение основано на принципе разной температуры сжатия газов. Метан при охлаждении сжимается и отводится, углекислый газ в жидком виде удаляется как побочный продукт, обладающий самостоятельной ценностью и спросом, при этом загрязнители остаются в твердой фазе и удаляются в небольшом объеме. При всех экологических преимуществах технологии существенным недостатком ее является высокая энергоемкость [5,6].

Недостатки вышеупомянутых технологий очистки биогаза возможно преодолеть путем их объединения в гибридные технологии. Так, сочетание мембранного разделения с водной абсорбцией, химической очисткой или криогенным разделением эффективнее этих методов по отдельности за счет низких эксплуатационных затрат, высокой степени поглощения CO_2 и H_2S, более высоких уровней чистоты метана и меньшего потребления энергии.

Таким образом, к основным факторам, способствующим повышению эффективности производства и использования биогаза, относятся состав и предварительная обработка используемого органиче-

ского субстрата, а также очистка и доработка биогаза инновационными методами, позволяющими получить высококалорийное возобновляемое биотопливо и минимизировать воздействие на окружающую среду.

Библиографический список:

1. ТКП 17.02-05-2011 (02120) «Охрана окружающей среды и природопользование. Порядок расчета экономической эффективности биогазовых комплексов».

2. Величко В.В., Кундас С.П., Капустин Н.Ф. Повышение эффективности биогазовых технологий // Энергоэффективность. - №7, 2017. – с. 10-16.

3. Zhao, Q., Leonhardt, E., Macconnell, C., Frear, C., Chen, S., 2010. Purification technologies for biogas generated by anaerobic digestion. In: Compress Biomethane, pp.1–24.

4. Kapoor, R., Subbarao, P.M.V., Vijay, V.K., Shah, G., Sahota, S., Singh, D., Verma, M., 2017. Factors affecting methane loss from a water scrubbing based biogas upgrading system. Appl. Energy 208, 1379–1388 Kapoor, R., Subbarao, P.M.V., Vijay, V.K., Shah, G., Sahota, S., Singh, D., Verma, M., 2017. Factors affecting methane loss from a water scrubbing based biogas upgrading system. Appl. Energy 208, 1379–1388

5. Miltner, M., Makaruk, A., Harasek, M., 2017. Review on available biogas upgrading technologies and innovations towards advanced solutions. J. Clean. Prod. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.06.045. Miltner, M., Makaruk, A., Harasek, M., 2017. Review on available biogas upgrading technologies and innovations towards advanced solutions. J. Clean. Prod. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.06.045.

6. Song, C., Liu, Q., Ji, N., Deng, S., Zhao, J., Li, Y., Kitamura, Y., 2017. Reducing the energy consumption of membrane-cryogenic hybrid CO2 capture by process optimization. Energy 124, 29–39.

УДК 622.935

ИЗУЧЕНИЕ ТОРФА И НЕФТИ С ПРИМЕНЕНИЕМ IT ТЕХНОЛОГИИ

Поликарпова Н.Н.

Белорусский национальный технический университет, г. Минск, Республика Беларусь

Приведены результаты изучения микроскопических составляющих торфа и нефти с помощью IT технологии. Разработан современный модернизированный метод определения видов торфа и его степени разложения.

Использование новых информационных технологий является одной из приоритетных задач XX1века. Цель информатизации научно-исследовательской деятельности состоит в ускорении получения и уг-

лубления научных знаний о всех явлениях и закономерностях в природе, и других областях, обеспечивающих существование нашей цивилизации. Научно информационные технологии используются на всех этапах научной работы. Чаще всего под информационными технологиями (ИТ) понимают компьютерные технологии (КТ), в которых компьютеры с программным обеспечением используются для хранения, обработки, преобразования, передачи и получения информации. Информация является важнейшим ресурсом человечества наряду с такими традиционными материальными ресурсами как полезные ископаемые и поэтому процесс её получения и переработки аналогичным образом можно рассматривать как технологию.

Информационные технологии в соответствии с различием информационных процессов классифицируются на технологии:

- сбора информации;
- передачи информации;
- обработки информации;
- хранения информации;
- представления информации;
- использования информации.

Все перечисленные технологии были нами задействованы в исследовательском процессе. Кроме того, на этапе получения информации использовались микроскоп и фотокамера. Все последующие операции осуществлялись за счет компьютеризации.

Была создана установка, состоящая из бинокулярного микроскопа (МИКМЕД-1), фотокамеры (Ni-con Cool Pix 4500) и компьютера. (Рис.1.) Установка имеет высокую степень разрешения и позволяет получать увеличение изображения образцов горных пород и составляющих их минералов в 1200 раз и сохранять их в электронном виде. Такой способ сохранения визуальной информации позволяет составлять электронные каталоги горных пород, основываясь на детальном изучении их микроскопического состава. Особенно эффективно использование установки для изучения свойств таких органогенных пород, как торф, нефть, сапропели. Установка позволяет выявить микроскопические составляющие этих полезных ископаемых, определить микровключения в составе породы, содержание гумусовых и асфальтеновых веществ, упрощает методику их классификации. Установка может быть применена также при изучение твердых кристаллических полезных ископаемых.

В качестве объекта исследования был использован торф. Торф - осадочная рыхлая горная порода с высоким содержанием воды (86 – 94% в естественном состоянии), образующаяся в результате биохими-

ческих процессов из отлагающихся на поверхности болот растительных остатков. Торф традиционно рассматривается как горючее полезное ископаемое поскольку содержит 50-60 % углерода и имеет теплоту сгорания (максимальная) - 24 МДж/кг. Используется комплексно как топливо, удобрение, источник различных органических соединений (около 100 тыс. видов) теплоизоляционный материал и для других целей. Препараты гуминовых кислот, извлекаемых из торфа, используются как стимуляторы роста растений. По разным оценкам, в мире от 250 до 500 млрд тонн торфа (в пересчёте на 40 % влажность), он покрывает около 3 % площади всей суши. В Беларуси насчитывается порядка 9200 месторождения торфа, которые расположены почти повсеместно. В них сосредоточено 3 млрд т торфа. Разрабатывается порядка 400 месторождений, с ежегодной добычей 13-15 млн т. За все годы разработки торфяных залежей в стране добыто 1,1 млрд т торфа. По составу исходного растительного материала, условиям образования и физико-химическими свойствами различают три типа торфа:

- верховой тип торфа;
- низинный тип торфа;
- переходный тип торфа.

Рис. 1. установка, состоящая из бинокулярного микроскопа (МИКМЕД-1), фотокамеры (Nicon Cool Pix 4500) и компьютера.
Габаритные размеры установки: 0.5х0.2 м, 2.5 кг (без массы компьютера)

Верховой торф – образуется главным образом, из растительности олиготрофного типа (сосна, пушица, сфагнум, вереск и др.) и. имеет низкое содержание зольных элементов - 2-4%, органических веществ - 99-95%, pH=2,8-3,6. Окраска торфа зависит от его степени разложения и с её ростом изменяется от светло-желтой до темно-коричневой.

Низинный торф -- торф, образовавшийся из растительности евтрофного типа, в ботаническом составе которого не более 10% остатков растительности олиготрофного типа. Зольность 6-18%. Цветовая гамма - от преобладающих серых цветов до землисто-серого оттенка. Низинный торф характеризуется более низким уровнем кислотности: 5,5-6,7 pH и большим содержанием гуминовых кислот - 32%. .

Переходный торф - занимает промежуточное положение между верховым и низинным.

Каждый тип торфа по содержанию в нем древесных остатков подразделяется на три подтипа: лесной, лесо-топяной, топяной. Подтипы каждого типа подразделяются на группы: В каждую группу входят несколько видов торфа. Всего в Беларуси встречается 32 вида торфа. Ботанический состав торфа является его важнейшей характеристикой, позволяющей установить вид торфа. В классификации торфа его вид представляет собой основную таксономическую единицу, которая характеризуется постоянным соотношением растительных остатков видов - торфообразователей. Использование торфа в различных областях напрямую зависит от его видовой принадлежности.

Вид торфа определяется как правило стандартным микроскопическим методом. Сущность метода заключается в определении при помощи оптического микроскопа, дающего увеличение 50-140, количественного соотношения в процентах остатков растений-торфообразователей, слагающих растительное волокно в пробе, освобожденной от гумуса т.е. после промывания пробы проточной водой. По ботаническому составу при помощи специального «ключа" определяется тип, группа и вид торфа.

Предметное стекло с пробой растительных остатков кладут на столик микроскопа и рассматривают при увеличении 56-140. Видимые в поле зрения структурированные элементы принимают за 100%.. При анализе путем перемещения предметного стекла на каждом препарате просматривают по десять полей зрения (всего на каждый вид торфа их 30), записывают название встречающихся растений и ставят против них процент занимаемой площади с округлением до 5%. для каждого растения-торфообразователя. После того как определены все расти-

тельные остатки, участвующие в сложении данного образца и их соотношение, при помощи "ключа" устанавливается тип, группа и вид исследуемого торфа. При этом название растения, остатки которого преобладают, ставят на последнее место, а менее представленное – на первое. Например, если остатки сосны обыкновенной составляют 35%, а сфагновых мхов 65%, такой торф следует назвать сосново-сфагновый. Абсолютное допускаемое расхождение между определениями ботанического состава, проводимыми разными исполнителями в одной пробе, не должно превышать 5% по растениям торфообразователей, определяющим вид торфа.

С целью совершенствования стандартной микроскопической методики определения ботанического состава и определения вида торфа мы применили установку, состоящую из бинокулярного оптического микроскопа (МИКМЕД-1), фотокамеры (Nicon Cool Pix 4500) и компьютера, Максимальная разрешающая способность (увеличение) установки составляет 900 х. Получаемые фотоснимки выводятся на монитор компьютера и получают на нем дополнительное увеличение (до 1200). В стандартной микроскопической методике (ГОСТ 28245-89. Торф. Методы определения ботанического состава и степени разложения) увеличение составляет 56-140. Такое увеличение часто не позволяет детально рассмотреть растительные фрагменты и сделать вывод о их принадлежности. Чтобы достигнуть 400-кратного увеличения необходимо использовать специальную методику с приготовлением препаратов, в которых используются покровные стекла и нанесенное на них иммерсионное масло, что в значительной степени усложняет и замедляет процесс определения растительных остатков. Разработанная нами технология, примененная при микроскопическом определении видов торфа с использованием фотографической камеры NIKON Cool Pix 4500 в сочетании с бинокулярным микроскопом МИКМЕД-1 и выведением получаемых изображений полей зрения на компьютер отличается целым рядом преимуществ по сравнению со стандартной (ГОСТ 28245-89). Прежде всего в нашей технологии достигается увеличение изображения в 900, а вместе с компьютером – до 1200 раз, что имеет решающее значение при установлении вида растений представленных в волокне торфа в виде полуразложившихся остатков (обрывки тканей эпидермиса трав, корешки болотных кустарничков, корки древесных пород, листочки и веточки зеленых и сфагновых мхов и др.). Вторым несомненным достоинством технологии является возможность сохранять объективную информацию о составе торфа в виде полей зрения в памяти компьютера и при необходимости в любой момент проводить количественную оценку доли

каждого из растений торфообразователей чтобы установить вид торфа. Такая возможность уменьшает риск субъективной ошибки оператора, который, проводит однократную оценку пробы торфа.

На рисунке 2 представлено одно из наблюдаемых полей зрения, которые были получены нами при исследовании торфа с помощью фотокамеры NIKONCoolPix 4500 в сочетании с бинокулярным микроскопом МИКМЕДво-1 и компьютером. Все растительные остатки четко различимы и поэтому задача определения их видовой принадлежности значительно упрощается.

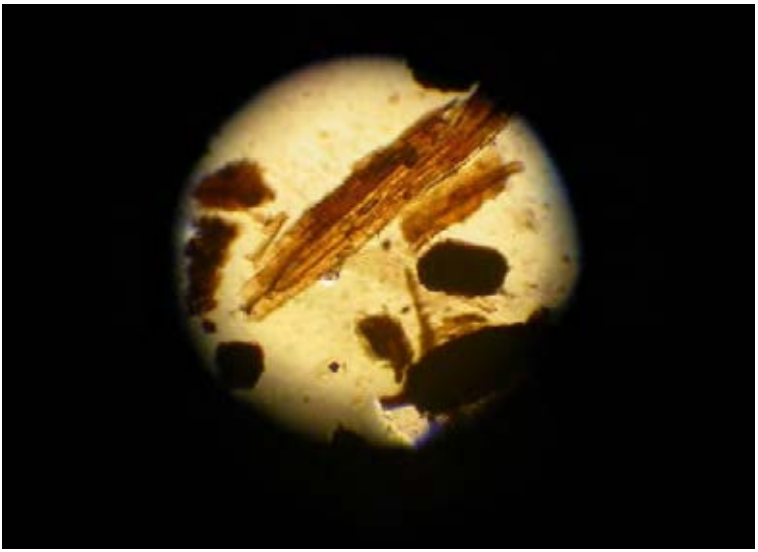


Рис. 2. Микроскопические остатки, наблюдаемые при исследовании верхового торфа.

Устойчивое социально-экономическое развитие любой страны и ее экономическая безопасность определяются состоянием минерально-сырьевой базы, в которой решающую роль играют энергетические ресурсы и прежде всего запасы нефти. История добычи нефти в Беларуси начинается с залежей Припятского прогиба, в котором открыто 64 месторождения. Их поиски и разведка осуществлялись с 1952 года, а разработка началась с 1965. Все месторождения за исключением одного сосредоточены в северной тектонической зоне Припятского бассейна. Здесь обнаружено свыше 185 нефтеносных залежей из них 183 в девонских отложениях. Наибольшее число нефтяных залежей (95)

приурочено к подсолевой карбонатной толще. Запасы нефти в месторождениях Припятского прогиба, как и в других регионах распределены, неравномерно. Наиболее крупными по запасам являются Осташковическое и Речицкое месторождения, за ними следует Вишанское, Южно-Осташковическое и Южно-Сосновское.

Нефть каждой залежи по-своему уникальна. Все нефти различаются по физико-химическим свойствам и качеству получаемых из них нефтепродуктов. Среди различных видов нефти встречаются малосернистые и высокосернистые. Различаются нефти и по содержанию парафиновой фракции (парафинистые и высокопарафинистые) а также смолистых веществ (малосмолистые и высокосмолистые). В месторождениях Беларуси встречаются как особо легкие нефти, с плотностью не более 830 кг/м^3, так и битуминозные нефти, плотность которых превышает 950 кг/м^3; маловязкие с вязкостью не более 1 мм^2/с и высоковязкие, имеющие вязкость в поверхностных условиях более 300 мм^2/с. Поскольку свойства нефти обуславливают подбор различных методов добычи, выбор оптимальной системы сбора и подготовки различных видов нефти, то для изучения пластовой и дегазированной нефти, а также нефтяных попутных газов используется обширный комплекс физических и химических методов исследований.

В тоже время создание новых подходов в изучении нефти для решения в последующем технических вопросов не утрачивает своей актуальности. Нами была поставлена задача, разработать новый эффективный метод для изучения оптических свойств нефти. Собранная нами установка, состоящая из бинокулярного оптического микроскопа (МИКМЕД-1), фотокамеры (Nicon Cool Pix 4500) и компьютера, позволяет в широком диапазоне изучать оптические характеристики различных горных пород и минералов в том числе торфа и нефти. Нами были подготовлены микропрепараты нефти, образцы которой были получены с различных месторождений Беларуси. Для этого на предметное стекло пипеткой наносилась капля нефти, которая сверху накрывалась покровным стеклом. Препарат помещался на предметный столик микроскопа, и производилось его фотографирование с последующим выведением фотографии на компьютер. Общее увеличение изображения составляет 1200 раз.

Таким способом были исследованы образцы нефти, которые представлены на рисунке 3 (образец №1 - месторождение Александровское; №2 - месторождение Речицкое; №3 - месторождение Барсуковское; №4 - месторождение Первомайское; №5 - месторождение неизвестно; №6 - месторождение Вишенское; №7 - месторождение Речицкое).

Рис. 3. Микроскопические остатки и окраска, определяемая содержанием битуминозных веществ, наблюдаемые при исследовании белорусской нефти

Анализ рассмотренных микрофотографий образцов нефти, взятых с различных месторождений, показал, что они имеют четко выраженные характерные отличия по цвету и микровключениям, обусловленным их генезисом. Однако установить конкретно какие именно органические составляющие (виды биологических организмов) попадали в поле зрения пока не удалось, так как для этого требуется специальное изучение органических остатков, входящих в состав нефти. На основание проведенной работы следует, что данный метод является перспективным для исследования таких пород как нефть с целью их классификации Достоинством выполненных исследований является разработка новой технологии для диагностики и классификации горных пород и минералов с использованием компьютеризации. Создан высокоэффективный современный метод определения ботанического состава торфа, который отличается высокой разрешающей способностью и возможностью сохранения результатов визуальных наблюдений. В результате использования созданной установки доказано ее преимущество по сравнению с традиционно применяемой методикой определения видового состава такой горной породы как торф. Хорошо зарекомендовал себя разработанный метод и для изучения нефти. На микрофотографиях, выводимых на монитор, хорошо видны различные

органические включения, а также степень содержания битумных фракций. Разработанная методика внедрена в учебный процесс. Получен акт о внедрении в учебный процесс. Эффективность проведенного исследования определяется применением принципиально новых подходов с использованием компьютеризации в диагностике горных пород и минералов.

Библиографический список:

1. Денисенков В. П. Основы болотоведения: Учеб. пособие. - СПб.: Изд-во С.-Петерб. ун-та, 2000. - 224 с.

2. Доктуровский В. С. Торфяные Болота (курс лекций по болотоведению). - Государственное научно-техническое горное издательство, Москва - Ленинград, 1932, - с.193.

3. ГОСТ 28245-89. Торф. Методы определения ботанического состава и степени разложения.

4. ГОСТ 21123-85. Торф. Термины и определения.

УДК 622.281+622.261

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ СИСТЕМЫ «ПОРОДНЫЙМАССИВ – АНКЕРНАЯ КРЕПЬ –КРЕПЬ ИЗ МОДИФИЦИРОВАННОГО БЕТОНА» ГОРНЫХ ВЫРАБОТОК УГОЛЬНЫХ ШАХТ

Марийчук И.Ф., Купенко И.В., Барсук Н.Д.

Донецкий национальный технический университет, Донецк

С увеличением глубины разработки угольных месторождений, помимо усложнения ряда технологических процессов, существенно ухудшаются и условия возведения и поддержания крепи. В связи с этим, возникает необходимость развития методов расчета крепей выработок глубоких шахт.Авторами предложена расчетная схема для решения задачи напряженно-деформированном состоянии системы «породный массив – анкер – модифицированный бетон».

Для исследования напряженно-деформированного состояния (НДС) системы «породный массив – анкер – модифицированный бетон», авторами предложена расчетная схема, представленная в виде многослойной толстой оболочки с транстропными слоями, находящейся под действием распределенной нагрузки q от действия горного давле-

ния, четыре края которых защемлены или два края защемлены, а другие – шарнирно опертые.

Для решения задачи о НДС системы «породный массив – анкер – модифицированный бетон» использованы вариационный метод Ритца и Бубнова-Галеркина [1].

В работе применен прием, состоящий в представлении полного прогиба в виде суммы двух составляющих – за счет изгиба w_0 и сдвига w_1, т.е. $w = w_0 + w_1$.

Искомые функции представлены в виде [2]

$$w_0(x,y) = \sum_{j=1}^{n} a_j f_j(x) g_j(y),$$

$$w_1(x,y) = \sum_{j=1}^{n} c_j l_j(x) u_j(y), \qquad (1)$$

$$\varphi(x,y) = \sum_{j=1}^{n} b_j p_j(x) q_j(y),$$

где $\varphi(x,y)$ – функция усилий, a_j, b_j, c_j – неопределенные параметры; $f_j \ldots q_j$ – заданные координатные функции, которые выбраны в виде степенных полиномов.

В пределах технической теории многослойных анизотропных оболочек [3], используя основные соотношения для деформаций, сил и моментов для вариации полной энергии слоистой оболочки получим

$$\delta Э = \delta \iint \left[\frac{1}{2} L_a(w,w_1) - \frac{1}{2} L_c(\varphi,\varphi) - L(w_0,\varphi) + \frac{1}{2} L(w_1) - q_z w_0 \right] dS = 0. \qquad (2)$$

Авторами введены следующие обозначения:

$$D_{jk} = a_{jk},\ 2D^*_{12} = a^*_{12},\ A_{11} = C_{22},\ A_{22} = C_{11},\ \frac{1}{2} A^*_{12} = C^*_{12};$$

$$L_p(\varphi,\eta) = p_{11}\psi_{xx}\eta'_{xx} + 2p_{12}\psi'_{xx}\eta'_{yy} + p_{22}\psi_{yy}\eta'_{yy} + 2p^*_{12}\psi'_{xy}\eta'_{xy}; \qquad (3)$$

$$L(w_0,\varphi) = R^{-1}(w_0)'_x \varphi'_x;\ L(w_1) = G_{xz}(w_1')^2_x + G_{yz}(w_1')^2_y.$$

где φ – функция усилий в срединной поверхности; q_z – внешняя нагрузка, вызванная горным давлением; D_{jk}, A_{jk} – жесткостные и упругие параметры оболочки; R– радиус кривизны контура горной выработки; G_{xz}, G_{yz} – модули сдвига; штрихами обозначены кратные производные.

В выражении $L_p(\varphi, h)$ p_{jk} принимает значения a_{jk}, c_{jk}, а функции ψ и h соответствуют функциям w и φ.

Вводя безразмерные величины и константы по формулам,

$$w_0 = L_0 \bar{w}_0,\ w_1 = L_0 \bar{w}_1,\ \varphi = 2EH_0 L_0^2 \bar{\varphi},\ x = L_0 \bar{x},\ y = B_0 \bar{y},$$

$$D_{jk} = 2D_0 h_{jk},\ D^*_{12} = 2D_0 h^*_{12},\ C_{jk} = 2C_0 a_{jk},\ C^*_{12} = 2C_0 a^*_{12},$$

$$q_z = 2q_0 \bar{q}_z,\ q_0 = \sum \rho_i h_i,\ H = H_0 \bar{H},$$

$$b_{jj} = \frac{a_{jj}}{D_2},\ b_{12} = -\frac{a_{12}}{D_2},\ b^*_{12} = \frac{1}{a^*_{12}},\ D_1 = a_{11}a_{22} - a^2_{12}, \tag{4}$$

$$C_0 = -\frac{12(1-\nu^2)R^2}{H_0^2},\ t_0 = \frac{L_0}{R},\ k_0 = \frac{L_0}{B_0},\ \tau_0 = \frac{G_0 H_0 L_0^2}{D_0},\ \ \rho_0 = \frac{q_0 L_0^3}{D_0},$$

и, опуская черту в обозначениях безразмерных величин, получим систему уравнений следующего вида:

$$\sum_{j=1}^{n} a_j \iint \sum_{r=1}^{5} F_r G_r dS + \sum_{j=1}^{n} c_j \iint \sum_{r=1}^{5} F_r S_r dS + c_0 t_0^3 \sum_{j=1}^{m} b_j \iint KN dS =$$

$$= \rho_0 \iint f_i g_i dS,$$

$$i = 1, \ldots, n;$$

$$c_0 t_0^3 \sum_{j=1}^{n} a_j \iint RS dS + c_0 t_0^2, \tag{5}$$

$$i = n+1, \ldots, n+m.$$

$$\sum_{j=1}^{n} a_j \iint \sum_{r=1}^{5} K_r G_r dS + \sum_{j=1}^{m} c_j \iint \sum_{r=1}^{7} K_r S_r dS = 0,$$

$$i = n+m+1, n+m+2, \ldots, 2n+m.$$

В (5) входящие величины имеют вид:

$$F_1 = f_i \varphi_j'',\ F_2 = f_i \varphi_j,\ F_3 = f_i f_j'',\ F_4 = f_i f_j,\ \ F_5 = f_i \varphi_j'',$$

$$G_1 = h_{11} g_i g_j,\ G_2 = k^2_0 h_{12} g_i g_j'',\ G_3 = k^2_0 h_{12} g_i'' g_j,\ G_4 = k^4_0 h_{12} g_i'' g_j'',$$

$$G_5 = 4k_0^2 h^*_{12} g_i'' g_j'',\ S_1 = h_{11} l_j'' u_j,\ S_2 = k_0^2 h_{12} l_j u_j'',\ S_3 = k_0^2 h_{12} l_j'' u_j,$$

$$S_4 = k_0^4 h_{22} l_j u_j'',\ S_5 = 4k_0^2 h^*_{12} l_j' u_j',\ S_6 = \tau_0 \alpha_{13} l_j' u_j,\ S_7 = \tau_0 k_0^2 \alpha_{23} l_j u_j', \tag{6}$$

$$K_1 = K_2 = l_i'' u_i,\ K_3 = K_4 = l_i u_i'',\ K_5 = l_i' u_i',\ K_6 = l_i' u_i,\ K_7 = l_i u_i',$$

$$K = f_i' g_i,\ N = p_j' q_j.$$

Выражения для функций P_r, Q_r, и R, S получены из выражений для F_r, G_r и K, N заменой в них f ,g на p, q,h_{jk}, на b_{jk}, h_{12}^* на b_{12}^* и f ,g на p, q, i на j , и наоборот.

Интегралы в (5) вычисляются в пределах $0 \le x \le 1$, $0 \le y \le 1$.

Для i-го слоя оболочки напряжения имеют вид (7), (8), (9).

$$\sigma_x^i = \sum_{j=1}^{m} b_j (k_0^2 \beta_1 p_j q_j'' + \beta_2 p_j'' q_j) - \frac{z}{L_0}\left[\sum_{j=1}^{n} a_j (B_{11}^i f_j'' g_j + k_0^2 B_{12}^i f_j g_j'') + \right.$$
$$\left. + \sum_{j=1}^{m} c_j \left(B_{11}^i l_j'' u_j + k_0^2 B_{12}^i l_j u_j''\right)\right] \tag{7}$$

$$\sigma_y^i = \sum_{j=1}^{m} b_j (k_0^2 \beta_3 p_j q_j'' + \beta_4 p_j'' q_j) - \frac{z}{L_0}\left[\sum_{j=1}^{n} a_j (B_{12}^i f_j'' g_j + k_0^2 B_{22}^i f_j g_j'') + \right.$$
$$\left. + \sum_{j=1}^{m} c_j \left(B_{12}^i l_j'' u_j + k_0^2 B_{22}^i l_j u_j''\right)\right] \tag{8}$$

$$\sigma_{xy}^i = -k_0 B_{12}^{*i}\left[\beta_{12}^* \sum_{j=1}^{m} b_j p_j' q_j' + \frac{2z}{L_0}\left(\sum_{j=1}^{n} a_j f_j' g_j' + \sum_{j=1}^{m} c_j l_j' u_j'\right)\right]$$
$$\sigma_{xz}^i = G_{xz}^i \sum_{j=1}^{n} c_j l_j' u_j, \quad \sigma_{yz}^i = k_0 G_{yz}^i \sum_{j=1}^{n} c_j l_j u_j', \tag{9}$$

где

$$\beta_1 = B_{11}^i \beta_{22} + B_{12}^i \beta_{12}; \quad \beta_3 = B_{12}^i \beta_{22} + B_{22}^i \beta_{12};$$
$$\beta_2 = B_{11}^i \beta_{12} + B_{12}^i \beta_{11}; \quad \beta_4 = B_{12}^i \beta_{12} + B_{22}^i \beta_{11}. \tag{10}$$

Координата z меняется в пределах от нейтральной оси до нижней и верхней поверхностей оболочки, причем ее положение зависит в каждом конкретном случае от количества четных или нечетных слоев и их жесткостей на изгиб.

Координатные функции выбраны в виде степенных полиномов по методу Ритца, удовлетворяющие геометрическим условиям, а также Бубнова-Галеркина для граничных условий, которые соответствуют условиям работы крепи.

Приведенные механические характеристики имеют вид:

$$E_x^i = \frac{E_a d_a + (t - d_a)\left(E_n^i h_п^i + E_б h_б^i\right)/\left(h_п^i + h_б^i\right)}{t} = E'/t; \tag{11}$$

$$E_y^i = \left(E_a d_a + E_б^i h_б^i\right) / \left(d_a + h_б^i\right);$$

$$G_{xz}^i = \frac{G_a d_a + (t - d_a)\left(G_n^i h_п^i + G_б^i h_б^i\right) / \left(h_п^i + h_б^i\right)}{t} = E' / t;$$

$$G_{yz}^i = \left(G_a d_a + G_б^i h_б^i\right) / \left(d_a + h_б^i\right); \quad G_{12}^{*i} = G_n^i;$$

$$\mathrm{n}_x^i = \frac{\mathrm{n}_a d_a + (t - d_a)\left(\mathrm{n}_n^i h_п^i + \mathrm{n}_б^i h_б^i\right) / \left(h_п^i + h_б^i\right)}{t} = \mathrm{n}' / t;$$

$$\mathrm{n}_y^i = \left(\mathrm{n}_a d_a + \mathrm{n}_б^i h_б^i\right) / \left(d_a + h_б^i\right);$$

$$G_a = \frac{E_a}{2(1+\mathrm{n}_a)}; \quad G_n^i = \frac{E_n^i}{2\left(1+\mathrm{n}_n^i\right)}; \; G_б^i = \frac{E_б^i}{2\left(1+\mathrm{n}_б^i\right)},$$

где E_a, E_n^i, $E_б^i$ – модули нормальной упругости материала анкера, слоёв породы и модуль сдвига модифицированного бетона, МПа; $h_п$, $h_б^i$ – толщины слоев пород и модифицированного бетона, м; d_a – диаметр анкера, м; G_a, G_n^i, $G_б^i$ – модули сдвига материала анкера, слоёв породы и модифицированного бетона, МПа; n_a, n_n^i, $\mathrm{n}_б^i$ – коэффициенты Пуассона материала анкера, слоев породы и модифицированного бетона.

Приведенная математическая модель НДС системы «породный массив – анкер – модифицированный бетон», учитывающая различное сочетание геометрических размеров выработки; толщину слоев пород и их количество; параметры анкеров, приведенные механические характеристики породного массива, позволит в будущем обосновать параметры крепи горной выработки.

Библиографический список:

1. Михлин С.Г. Вариационные методы в математической физике / С.Г. Михлин. – М.: Наука, 1970. – 512 с.

2. Напряженно-деформированное состояние массива горных пород подземных объектов угольных шахт : монография / С.В. Борщевский, А.О. Новиков, К.Н. Лабинский и др. ; под общ. ред. С.В. Борщевского, И.Ф. Марийчука. – Донецк: ГОУВПО "ДОННТУ", 2017.– 275 с.

3. Амбарцумян С.Н. Теория анизотропных оболочек / С.Н. Амбарцумян. – М.: Физматлит, 1961. – 384 с.

УДК 622.281

РЕЗУЛЬТАТЫ ОБСЛЕДОВАНИЯ СОСТОЯНИЯ ГОРНЫХ ВЫРАБОТОК ШАХТ ГП «ДУЭК» И ПУТИ ЕГО УЛУЧШЕНИЯ

Новиков А.О., Шестопалов И.Н., Лепешкин В.Г.
Донецкий национальный технический университет, Донецк

Работа посвящена анализу результатов обследования состояния поддерживаемых горных выработок на шахтах ГП «ДУЭК». Рассмотрено состояние различных видов выработок с учетом применяемых конструкций крепи. Описаны характерные виды деформаций крепи. Намечены возможные пути решения проблемы повышения длительной устойчивости выработок.

Угольная промышленность ДНР – одна из ведущих отраслей народного хозяйства, от устойчивого развития которой зависит экономическая безопасность страны. В условиях ограниченного финансирования отрасли, высокой степени износа шахтного фонда, усложняющихся горно-геологических условий разработки, все острее становятся вопросы повышения эффективности работы угольных шахт, снижения издержек на производство продукции [1].

На среднестатистической шахте поддерживается до 50км горных выработок, 40% из которых и более составляют подготовительные, половина из которых деформирована и нуждается в ремонте. В себестоимости добываемого угля до 50% затрат приходится на ремонт этих выработок.

Основным способом обеспечения нормального эксплуатационного состояния выработок на шахтах остается их периодический ремонт (перекрепление и подрывка почвы). Ремонт выработок обычно выполняют при отсутствии требуемых Правилами безопасности [2] зазоров между транспортными средствами и крепью, а также при нарушениях эксплуатационного режима, оговоренных в Правилах технической эксплуатации [3]. Протяжённость выработок, находящихся на шахтах в неудовлетворительном состоянии ежегодно увеличивается, причем ремонтируется не более 30-40% из них [4,5].

Проведение ремонта усложняет работу добычных участков, снижает общую безопасность горных работ, требует значительного количества рабочих-крепильщиков для их выполнения, повышает себестоимость и трудоемкость добычи угля. Практически все операции при капитальном ремонте выработок (установка усиливающей крепи, разборка затяжки, выпуск и погрузка породы, установка временной крепи, демонтаж и монтаж крепежных рам и т.п.) не механизированы.

В этой связи, проведение исследований, направленных на разработку новых, малозатратных, ресурсосберегающих инновационных технологий обеспечения длительной устойчивости выработок без проведения работ по их расширению до проектных размеров и замены крепи является актуальным.

С целью оценки состояния горных выработок на действующих шахтах ГП «ДУЭК» авторами статьи в 2018-2020 годах было проведено их обследование.

Обследование включало оценку как горно-технических (прочность вмещающих выработку пород, площадь поперечного сечения, вид крепи и ее состояние и т.д.) так и организационных факторов (вид и периодичность контроля за состоянием выработок, организация ремонтной службы, технология ведения ремонта, а также качество работ по креплению и ремонту (с помощью специально изготовленного и калиброванного щупа измерялись размеры пустот за крепью, оставшиеся после выполнения работ) и т.д.

Анализировались данные собранные в маркшейдерских и технических отделах шахт, а также результаты визуального обследования состояния выработок и выполненных в них замеров.

Обследованные шахты ГП «ДУЭК» характеризуются высокими затратами на ремонт выработок (от 25000 руб/м в год – шахта им. Челюскинцев), которые поддерживаются в следующем диапазоне горно-геологических условий: глубина заложения выработок 600-1300 м, прочность вмещающих пород 30-70 МПа, угол падения пород 12-18°.

По данным маркшейдерской службы ГП «ДУЭК», протяженность действующих выработок на обследованных шахтах за последние пять лет существенно не изменилась и составляет 135 км (в том числе, по шахте им. Челюскинцев - 28,2 км, шахте им Е.Т. Абакумова – 17,3 км, а по шахте им А.А. Скочинского – 89,5 км). В таблице 1 приведены данные о распределении выработок по их назначению (в % от общей протяженности).

Таблица 1

Данные о распределении выработок по их назначению по состоянию на 2018 год

Виды выработок	% от общей протяженности
Стволы	9
Выработки околоствольного двора	8
Квершлаги	16
Наклонные выработки	30
Штреки	37

В таблице 2 приведены данные об объемах применения различных видов крепи в этих выработках.

Таблица 2

Объемы применения различных видов крепи действующих выработок ГП «ДУЭК» по состоянию на начало 2020 года

Виды крепи	% от общей протяженности
Монолитный бетон	9
Сборный бетон	8
Металлическая крепь	16
Другие виды крепи	30

На рисунке 1 представлены данные о протяженности выработок, закрепленных различными видами крепи на шахтах ГП «ДУЭК», находящихся в неудовлетворительном состоянии, за последние 7 лет (в % от объема применения каждой из конструкций).

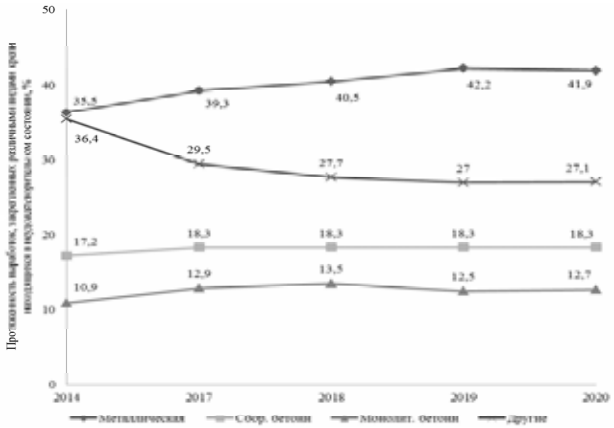


Рис. 1 Протяженность выработок, закрепленных различными видами крепи на шахтах ГП «ДУЭК», находящихся в неудовлетворительном состоянии

Как видно из представленных данных, протяженность выработок, закрепленных металлической, сборной бетонной и монолитной бетонной крепью, находящихся в неудовлетворительном состоянии, увеличилась, соответственно, на 5,5; 1,1 и 1,8% за период с 2014 по 2020 годы. В наихудшем состоянии находится металлическая арочная крепь, имеющая наибольший объем применения.

Приведенное обследование показывает, что 53,6 % протяженности поддерживаемых выработок на шахтах ГП «ДУЭК» составляют штреки и 26,7% - наклонные подготавливающие выработки. Затраты на их ремонт составляют соответственно 42 и 25 % от общих затрат на ремонт горных выработок по шахтам. Затраты на поддержание подготовительных выработок, закрепленных металлической арочной податливой крепью, в зависимости от площади поперечного сечения и степени деформации поперечного сечения к моменту ремонта изменяются от 70 до 130% от стоимости их крепления и в среднем по обследованным шахтам составляют около 50 тыс. руб/м и увеличиваются на 1-2% ежегодно [4].

На рисунке 2 представлены данные о протяженности деформированных участков крепи в выработках различного назначения (в % от их протяженности).

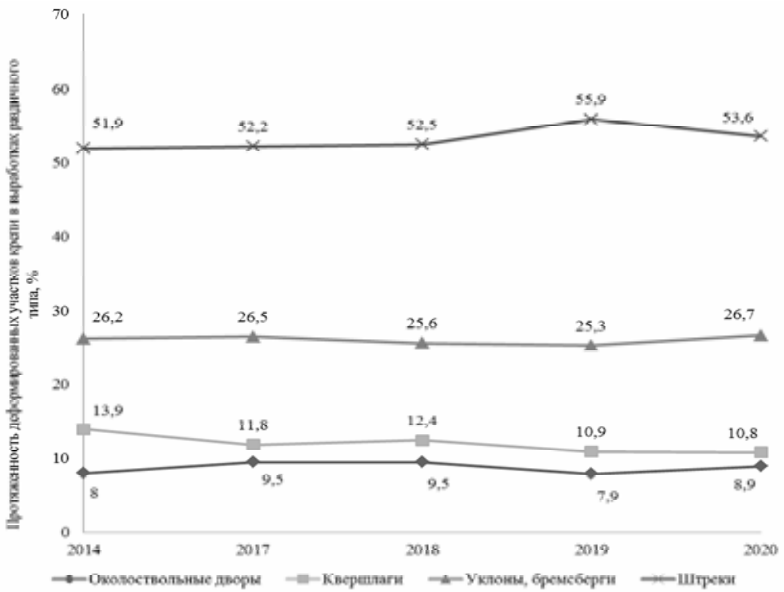


Рис. 2 Протяженность деформированных участков крепи в выработках различного назначения на шахтах ГП «ДУЭК»

Как видно из данных, представленных на рисунке 3, в наихудшем состоянии находятся штреки – 53,6 %, а также наклонные выработки (бремсберги, уклоны и ходки) – 26,7 %.

Далее проводился анализ наиболее характерных деформаций крепи в выработках шахт ГП «ДУЭК», находящихся в неудовлетвори-

тельном состоянии (в % от общей протяженности): кровли и боков, кровли, боков, почвы (табл. 3).

Как видно из данных, представленных в таблице 3, за последние 7 лет наблюдается устойчивый тренд на увеличение протяженности участков выработок, находящихся в неудовлетворительном состоянии, с деформациями «кровли и боков» и «боков». Преобладающими видами деформаций в выработках являются деформации крепи со стороны боков выработки – 52,6%, а также со стороны почвы выработки – 23,1 %. В этой связи, с целью улучшения состояния выработок необходимо применять конструкции крепи с повышенной боковой податливостью или мероприятия, снижающие боковые смещения, а также способы борьбы с пучением пород.

Таблица 3

Результаты анализа наиболее характерных деформаций крепи в выработках шахт ГП«ДУЭК»

Год	Характерные направления деформаций крепи со стороны:			
	Кровли+боков	Кровли	Боков	Почвы
2014	17,7	8,3	49,1	24,9
2017	18,0	1,3	55,4	25,4
2018	22,4	1,3	51,7	24,6
2019	23,7	2,7	51,0	22,7
2020	20,5	3,8	52,6	23,1

В ГП «ДУЭК» наиболее тяжелое положение с состоянием поддерживаемого фонда подготовительных и подготавливающих выработок сложилось на шахтах им. Челюскинцев и им. А.А. Скочинского. Так, по данным маркшейдерской службы к началу 2020 года на шахте им. Челюскинцев деформированы 44,9% уклонов и 29,8% штреков, а на шахте им. А.А. Скочинского – 67,8% штреков и 19,5% уклонов. Рассмотрим более подробно сведения о видах деформаций крепей в уклонах и штреках шахт им. Челюскинцев и им. А.А. Скочинского, находящихся в наихудшем состоянии (таблица 4).

Преобладание в подготавливающих наклонных выработках (уклонах) преобладающих деформаций крепи от смещений пород кровли и боков отчасти объясняется сложными горно-геологическими условиями поддержания (большая глубина и слабые вмещающие породы) и особенностями формирования вокруг выработок зон разрушенных пород, а также соизмеримыми величинами вертикальных и боковых смещений, характерными для такого расположения выработок, относительно вмещающих пород [4]. В горизонтальных же подготовитель-

ных выработках (штреках), подверженных непосредственному влиянию очистных работ, в боках залегают более слабые породы, чем в кровле и почве, поэтому преобладают боковые смещения пород над вертикальными, что проявляется в характерных деформациях боковых элементов крепи, разрывах хомутов в замках и выдавливании пород почвы.

Таблица 4

Протяженности деформированных участков уклонов и штреков на шахте им.Челюскинцев и шахте им. А.А. Скочинского, в % от общей протяженности штреков по годам

Характерные направления деформации крепи со стороны:	шахта им.Челюскинцев					шахта им.А.А.Скочинского				
	2016	2017	2018	2019	2020	2016	2017	2018	2019	2020
Протяженность деформированных участков уклонов, в % от общей протяженности уклонов по годам										
Кровли+боков	89,3	94,4	85,8	91,1	61,4	23,1	26,9	30,0	30,6	28,3
Кровли	10,7	5,6	14,2	4,2	33,1	6,4	5,6	6,1	2,1	1,3
Боков	0	0	0	4,7	5,5	70,5	67,5	63,9	67,3	70,4
Почвы	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Протяженность деформированных участков штреков в % от общей протяженности штреков по годам										
Кровли+боков	74,4	81,4	55,5	66,6	25,1	13,1	13,3	19,4	17,6	20,0
Кровли	5,9	17,9	7,3	17,6	17,3	2,7	0,8	0,7	0,6	1,6
Боков	19,7	0,7	37,2	15,8	57,6	56,4	60,1	54,2	57,0	52,7
Почвы	0	0	0	0	0	27,8	25,8	25,7	24,8	25,7

Обобщив данные анализа причин, вызвавших деформации выработок, в качестве основных можно выделить следующие:

- несоответствие технической характеристики крепей условиям их применения (40%);

- низкое качество производства работ по креплению и ремонту выработок (подтверждается в том числе, наличием пустот за крепью, зафиксированных авторами в ходе замеров щупом по периметру крепи) приводит к отсутствию контакта породного обнажения с крепью, что предопределяет характер развития нагрузки по периметру крепи. Кроме того, установленная таким образом в выработках крепь имеет несущую способность до 5 раз ниже расчетной, в результате чего быстро деформируется (до 30% случаев);

-повторные нарушения установившегося равновесного состояния породного массива, вызванные ведением горных работ (15%);

-непрекращающееся развитие смещений в пределах участков породного массива, вмещающего выработки (их участки), находящиеся под вышерасположенными целиками (15%).

Ведение ремонта в выработках затрудняет работу добычных участков и шахты в целом (так, при ремонте в уклонах шахты имени Челюскинцев ГП "ДУЭК" прекращается транспортировка полезного ископаемого к скиповому стволу), усложняет работу шахтного транспорта, требует выдавать дополнительный объем породы из шахты, вынуждает содержать на этих работах значительное количество рабочих ремонтников (до 15% подземных рабочих), удорожает себестоимость добываемого угля (за счет ремонта подготовительных выработок себестоимость добываемого угля увеличивается на 40 – 50%).

Анализ результатов обследования показал, что неудовлетворительное состояние выработок при их эксплуатации объясняется несовершенством организации и проведения контроля за состоянием выработок. Он выполняется часто формально и с большими промежутками во времени, что не позволяет своевременно выполнять локальные мероприятия по повышению устойчивости крепи, которые позволили бы при незначительных материальных и трудовых затратах продлить межремонтный период в выработках, не доводя до дорогостоящего и трудоемкого капитального ремонта, связанного с необходимостью расширять выработки до проектных размеров. Кроме того, организация на шахтах службы непрерывного контроля за состоянием поддерживаемых выработок, позволила бы не только принимать соответствующие оперативные решения по обеспечению их длительной устойчивости, но и с высокой достоверностью прогнозировать ожидаемое состояние.

Для улучшения состояния действующих горных выработок при существующих технологиях их поддержания необходимо существенно (в 2-3 раза) увеличить численность подземных рабочих-крепильщиков (специализированных участков по ремонту выработок), что не реально в настоящих условиях финансирования горнодобывающей отрасли.

С целью решения задачи обеспечения длительной устойчивости действующих на шахтах выработок, авторами статьи предлагаются следующие перспективные направления деятельности:

– совершенствование существующей технологии работ по ремонту выработок и повышение уровня ее механизации. Это позволит не только повысить безопасность выполнения технологических процессов, но и обеспечить повышение послеремонтной устойчивости выработок;

– для увеличения межремонтного периода поддерживаемых выработок необходимо разработать инновационные, ресурсосберегающие технологические решения (в том числе и дополнительные мероприятия по повышению устойчивости) своевременное применение которых в поддерживаемых выработках, позволит стабилизировать происходящие в них смещения контура на до предельных значениях;

– разработать малозатратные, ресурсосберегающие, инновационные технологии обеспечения длительной устойчивости в действующих выработках, нуждающихся в капитальном ремонте, позволяющие без проведения работ по расширению выработок до проектных размеров и замены крепи, достичь ожидаемого технического эффекта.

Библиографический список:

1. Бабиюк Г.В. Управление надежностью горных выработок: монография/ Г.В. Бабиюк. – Донецк: Світ книги, 2012.-420с.

2. Правила безопасности в угольных шахтах. Министерство угля и энергетики ДНР, Государственный Комитет горного и технического надзора ДНР. – Донецк, 2016. – 217 с.

3. Правила технічної експлуатації вугільних шахт. Мінвуглепром України. Київ. – 2006. – 353 с.

4. Кошелев К.В. Охрана и ремонт горных выработок: монография / К.В. Кошелев, Ю.А. Петренко, А.О. Новиков.- М., Недра, 1990.- 218с.

5. Петренко Ю.А. О состоянии поддерживаемых горных выработок по ГХК «Донуголь»./ Ю.А. Петренко, А.О. Новиков, А.В. Захаренко// Известия Донецкого горного института – 1998. - № 1, С. 12-15.

УДК622.331.002.5

ВЛИЯНИЕ ИЗМЕНЕНИЙ ГОРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ ОСВОЕНИЯ ТОРФЯНОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ НА КОНСТРУКЦИЮ ТОРФОДОБЫВАЮЩЕГО ОБОРУДОВАНИЯ

Яконовская Т.Б., Жигульская А.И.,Сергеева А.С.,Сувырин Е.А.
Тверской государственный технический университет, Тверь, Россия

В статьеанализируются горно-геологические условия разработки торфяных месторождений и их влияние на выбор направлений усовершенствования конструкций торфодобывающих машин и оборудования. Показано влияниегеологических показателей качества торфяного месторождения на вероятность поломок и изменение затрат на сервисное сопровожде-

ние технологических машин и оборудования. Авторы предлагают новые направления совершенствования конструкции машин и оборудования, занятых добычей торфа.

Особенностью современного развития торфодобывающей сферы горной промышленности является ухудшение горно-геологических условий освоения торфяных месторождений. Массовая и интенсивная добыча торфяных ресурсов осуществлялась на территории европейской части России. Торфяные месторождения именно этой части страны изучены на 90 % и практически в каждом регионе России добыча торфа до 1990-х г. велась активными темпами (рис. 1).

Рис. 1. Региональное размещение центров добычи торфа

Поэтому, в европейской части России, торфяные месторождения выработаны на 60%, в этой связи, центр торфодобычи, в настоящее время, смещается в азиатскую часть страны, где торфяники находятся в мерзлом состоянии [1-5].

Ухудшение горно-геологических условий освоения торфяных месторождений европейской части России связано так же со снижением глубины торфяных залежей и уменьшением объемов запасов торфа. Стоит отметить, что первыми разрабатываются месторождения находящиеся близко к рынкам сбыта торфопродукции, т. е. к крупным административным центрам. В этой связи, во многих регионах разрабатываются месторождения с худшими геологическими условиями (верховые, малообъемные, высоко пнистые и высоко зольные, высоко обводненные, со сложной пространственно-геометрической конфигурацией (рис. 2), с наличием большого количества суходолов внутри

горного отвода).Такие месторождения не имеют подъездных путей и промышленной инфраструктуры, а потому их освоение потребует больших капиталовложений [6-11].

Так, например, в Тверском регионеместорождения очень разнообразны по размерам площадей, типам, мощности и геологическому строению торфяников. Богатейшие балансовые запасы торфа расположены на территорииВышневолоцкогорайона (27%), при этом основные запасы торфа сосредоточены на залежах верхового типа, залегающих в низменностях на водоразделах. Особенности в строении рельефа поверхности и высокая степень дренированности территорий Ржевского и Краснохолмского районов характеризуют скудное распространениеторфяников. Такие залежи, в этих районах, бедны запасами торфа и имеютнебольшие размеры. Забалансовые запасы в основном (80%) сосредоточены на территорииМолоковского, Калининского и Западнодвинского районов [12-17].

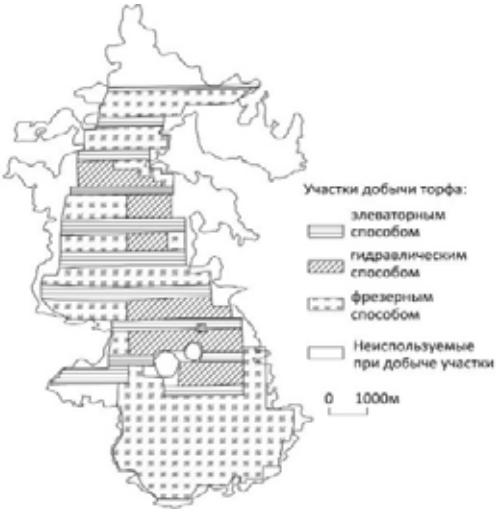


Рис. 2 Пример сложной пространственно-геометрической конфигурации торфяного месторождения

Для компенсирования плохих горно-геологических условий инвесторы (чаще всего частные предприниматели) предпочитают осваивать малые по площади (от 20 до 100 га) участки ранее разрабатываемых, но в настоящее время заброшенных торфяных массивов. Такие участки торфяного массива имеют небольшие запасы торфа и пригод-

ны для освоения маломасштабной добычи технологии которой описаны в источниках [2,3,5,7].

Рис. 3 Влияние пнистости на рост числа поломок торфяной техники

Процент пнистости свыше 2 % соответствует переходной и верховой торфяной залежи, при этом резко увеличивается число отказов торфяных машин и оборудования, а это означает, что требования к надежности торфодобывающей техники резко повышаются, если торфяное предприятие осваивает верховой или переходный торфяной массив.

Наличие большого количества внутренних суходолов и сложная пространственная форма границ горного отвода торфяного массива приводит к росту количества нестандартных технологических площадок, участков и карт. Это, в свою очередь, приводит к необходимости уменьшения габаритных размеров торфодобывающей техники и повышению ее маневренности.

За последние 5 лет наблюдается резкое ухудшение погодных условий сезоны добычи торфа в Тверской области (2015 – 2020 гг.) характеризуются большим количеством осадков, низкой температурой и порывистыми, сильными ветрами (сезоны влажные и холодные). Рост осадков приводит к повышению уровня грунтовых вод из-за чего выезд на поля торфодобычи для техники с традиционной ходовой частью (колесной, гусеничной) не возможен. Поэтому, в качестве направления совершенствоования конструкции торфяных машин целесообразно ис-

пользовать вездеходную базу. Кроме того, сработка торфяных участков обнажает минеральное дно, а с суходолов с потоками осадков на поля торфяного массива попадают минеральные частицы. Оба эти фактора вкупе с кислотностью торфа в залежи приводят к повышению зольности массива, что в свою очередь негативно влияет на ходовую часть торфяных машин и способствует ее быстрому коррозийному износу (рис. 3). Поэтому ходовая часть торфяных машин должна обладать стойким к истиранию покрытием.

Для освоения месторождений со сложными горно-геологическими условиями необходимо внести существенные изменения в конструкцию технологического оборудования и машин по добыче торфа и торфодревесных ресурсов, например:

- повышение многофункциональности и универсальности торфодобывающих машин [12, 13];
- применение мини-техники, легкой и маневренной [2,9,10];
- использование в конструкции ходовой части торфяных машин вездеходной (болотоход) базы для повышения проходимости техники [8,10,15,17];
- применение новых стойких к коррозии и истиранию покрытий деталей рабочих органов и ходовой части торфяной техники [2,3,9];

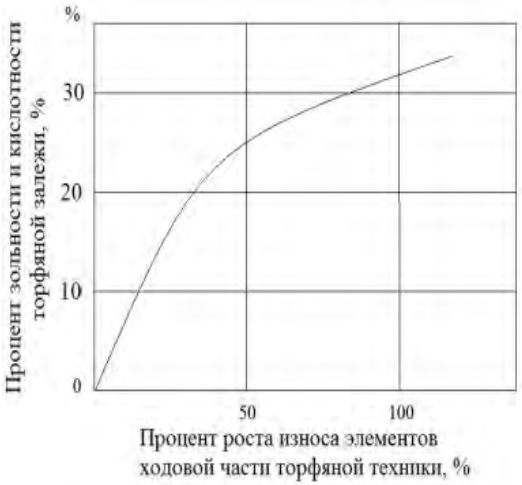


Рис. 4 Влияние роста агрессивности торфяной среды на износ торфяной техники

- применение информационных технологий в управлении торфодобывающей техникой (системы навигации, мониторинга и контроля эксплуатационных, режимных параметров) [16-19].

Библиографический список:

1. Яконовская, Т.Б. Экономическая классификация способов разработки торфяного месторождения: рентный подход / Т.Б. Яконовская, А.И. Жигульская, Б.Ф. Зюзин // ГИАБ.- 2014.-№7.- С. 318-323

2. Жигульская, А.И. Экономические и инженерные аспекты нового оборудования и технология комплексной безотходной добычи и переработки ресурсов торфяного месторождения / А.И. Жигульская, Т.Б. Яконовская. – М., 2013. – 160 с.: ил. – Деп. в «Горная книга» 30.01.2013, № 953/04-13

3. Жигульская, А.И.Комплексная механизация добычи и переработки торфо-древесных ресурсов торфяных месторождений / А.И. Жигульская, Т.Б. Яконовская. - М., 2013. – 21 с.: ил. – Деп. в «Горная книга» 30.01.2013, № 954/04-13

4. Новый подход к вопросу рационального использования торфяного сырья как компонента вскрышной породы при разработке россыпных месторождений / А.И. Жигульская, Т.Б. Яконовская, П.А. Яконовский и др. // Социально-экономические и экологические проблемы горной промышленности, строительства и энергетики: матер.конф., 06-07 ноября 2014 г., Тула. – Тула: Изд-во Тул. гос. ун., 2014. - С. 339-343.

5. Жигульская, А.И. Торфяное производство как элемент горнопромышленной системы / А.И. Жигульская, Т.Б. Яконовская, Е.О. Корнильев. – М., 2014. – 4 с.: ил. – Деп. в «Горная книга» 28.08.2014, № 1033/11-14

6. Оборудование и технологии для производства биотоплива на основе сырьевых ресурсов торфяных месторождений (биоэнергетический кластер): Учеб.пособ. / Б.Ф. Зюзин, Д.Д. Разаев, А.И. Жигульская, Т.Б. Яконовская. – Тверь:ТГТУ, 2014. - Ч. 1. - 168с.

7. Яконовская, Т.Б. Особенности оценки экономической эффективности технологий разработки торфяного месторождения / Т.Б. Яконовская, А.И. Жигульская, М.А. Жигульский. – М., 2014. – 3 с.: ил. – Деп. в «Горная книга» 18.02.2014, № 1013/06-14

8. Жигульская, А.И. Научные основы комплексной механизации безотходной круглогодичной технологии добычи и переработки ресурсов торфяных месторождений / А.И. Жигульская, Т.Б. Яконовска / монография - Тверь: ТГТУ, 2014. 193с.

9. Целовальников, А.П. Современные направления модернизации торфяных машин и оборудования / А.П. Целовальников, А.С. Мкртчян // Инновации на транспорте и в машиностроении: сб. тр. III межд. науч.-прак. конф., 14-15 апреля 2015 г., СПб. – СПб: Изд-во Санкт-Петер. гор.ун., 2015.- С. 67.

10. Модернизация комплексов машин для ресурсосберегающих технологий добычи торфодревесного сырья / А.И. Жигульская, О.В. Шамбер, Т.Б. Яконовская, А.С. Оганесян // Социально-экономические и экологические проблемы горной промышленности, строительства и энергетики: матер. 11-й межд. конф., 05-06 ноября 2015 г., Тула. – Тула: Изд-во Тул. гос. ун., 2015. – С. 96-98с.

11. Комплексное использование торфяных и древесных ресурсов / Б.Ф. Зюзин, А.И. Жигульская, Т.Б. Яконовская и др. // Проблемы рационального использования природных ресурсов и устойчивое развитие Полесья: сб. док.межд. науч. конф., 14-17 сентября 2016 г., Минск – Минск: Изд-во Беларускаянавука, 2016. - С. 152-156.

12. Mikhailov, A.Strip mining of peat deposit / A. Mikhailov, A. Zhigulskaya, T. Yakonovskaya // Proceeding of the 26th International Symposium. Edited by BehzadGhodrati, Uday Kumar, HåkanSchunnesson. - 2017. -С. 497-501.

13. Mikhailov, A.Excavating and loading equipment for peat mining / A.V. Mikhailov, A.I. Zhigulskaya, T.B. Yakonovskaya // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. [Electronicresource]. -2017.- С. 22-24.

14. Выбор машин для технологических схем выемки вскрыши торфяного месторождения / А.И. Жигульская, Т.Б. Яконовская, М.А. Жигульский и др. // Социально-экономические и экологические проблемы горной промышленности, строительства и энергетики: матер.конф., 02-03 ноября 2017 г., Тула – Тула: Изд-во Тул. гос. ун., 2017. - С. 181-186.

15. Жигульская, А.И. Новое оборудование и технологии комплексной безотходной добычи и переработки ресурсов торфяного месторождения: Учеб.пособ. / А.И. Жигульская, Т.Б. Яконовская. - Тверь: ТГТУ, 2016. – 160 с.

16. Коэффициент конструктивной сложности как способ оценки уровня инновационности конструкций горной техники / Жигульская А.И., Яконовская Т.Б., П.А. Яконовский, А.С. Оганесян // Технологическое оборудование для горной и нефтегазовой промышленности: сб. тр. XVII меж.науч.-техн. конф., 4-5 апреля 2019 г., Екатеринбург – Екатеринбург: Изд-во УГГУ, 2019. - С. 49-52.

17. Машины и оборудование для разработки торфяных месторождений, как класс горных машин для открытых горных работ / Б.Ф. Зюзин, А.И. Жигульская, Т.Б. Яконовская и др. // Технологическое оборудование для горной и нефтегазовой промышленности: сб. тр. XVIII межд. науч.-техн. конф., 02-03 апреля 2020 г., Екатеринбург – Екатеринбург: Изд-во УГГУ, 2020. - С. 36-39.

18. Mikhailov, A.V.Excavating and loading equipment for peat mining /A.V.Mikhailov, A.IZhigulskaya, T.B.Yakonovskaya//IOP Conference Series: Earth and Environmental Science (см. вкнигах), 2017.-Т.87.- № 2.

19. Mikhailov, A.An integrated approach to strip mining of peat/A.Mikhailov,O.Garmaev, A. Zhigulskaya // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science.International Conference on Innovations and Prospects of Development of Mining Machinery and Electrical Engineering, 2019.- С. 82-87.

⚒⚒⚒

УДК 622.331.002.5

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ КОСОУГОЛЬНОГО РЕЗАНИЯ ТОРФЯНОГО МОНОЛИТА ШТИФТОВОЙ ФРЕЗОЙ

Жуков Н.М., Яблонев А.Л.
Тверской государственный технический университет, Тверь, Россия

В статье рассматривается проблема повышения производительности устройства для обработки краёв торфяных полей. Представлена методика проведения эксперимента для определения рационального угла установки фрез. Обоснован угол установки рабочего органа, при котором не происходит закидывания сфрезерованным торфом осушительных каналов.

Фрезерный способ добычи торфа подразумевает послойно-поверхностную разработку торфяного поля с постепенной выработкой его центральной части и оставлением необрабатываемых полос, бро-

вок, вдоль картовых каналов. Удаление бровок необходимо не только для формирования качественного ровного рельефа торфяных полей, но и для беспрепятственного удаления поверхностных дождевых вод.

На всех этапах развития торфяной отрасли для обработки краёв торфяных карт использовались различные устройства, такие как элементарные волокуши, бровкорезы и профилировщики, обрабатывающие за один рабочий проход одну сторону канала [1].

Для повышения производительности этой операции была предложена конструкция двухстороннего профилировщика, обрабатывающего обе стороны канала за один рабочий проход устройства [2]. В конструкции данного устройства планируется установка сразу двух рабочих органов – фрез, расположенных под определённым углом относительно продольной оси устройства. Правильно выбранное положение установки фрез позволит решить проблему закидывания каналов осушительной сети сфрезерованной крошкой.

Для определения рационального положения установки рабочих органов на лабораторной установке выполнен ряд экспериментов по резанию монолита с фиксацией траектории вылета сфрезерованной торфяной массы.

Установка, состоящая из электродвигателя с фрезой, установленной на плите и перемещающейся вертикально по жёстко заделанной в пол колонне, позволяет выполнять косоугольное резание, благодаря выполненной модернизации, а именно, установки в тело колонны пластины с отверстием, в которое болтом крепится площадка со штурвалом, посредством которой выполняется поворот плиты вокруг колонны. Около фрезерной установки по рельсовому пути посредством лебёдки с тросом передвигается тележка с установленным коробом для монолита (рис. 1) [3].

Первоначально, из массы низинного торфа степенью разложения 25-30 % методом ручного отделения удалены все древесноволокнистые остатки. Из подготовленной торфомассы составлен монолит, впоследствии замороженный при температуре от -5 до -3˚С. Заморозка позволяет монолиту держать форму и не рассыпаться при взаимодействии с ним фрезы.

Фрезерование торфяного монолита выполнялось при скорости вращения фрезы 1000 об/мин и скорости поступательного движения тележки 0,381 м/с, в диапазоне углов поворота фрезы от 0˚ до 40˚ с шагом 5˚ при глубине фрезерования 8 мм.

За фрезерной установкой закреплён экран для мониторинга следов фрезерованной торфяной крошки из плотно матерчатого полотна, на котором в качестве условного края торфяной карты прикреплена

дощатая планка, совпадающая с торцовым краем фрезы. Для каждого из проведённых опытов на экране монтировался новый лист формата А1 с отмеченным краем канала.

Рис. 1. Установка для резания монолита

№ опыта	Угол поворота фрезы	Фотография экрана
1	0°	
2	5°	
3	10°	
4	15°	
5	20°	
6	25°	
7	30°	
8	35°	
9	40°	

Рис. 2. Экраны фиксации следов торфяной крошки

По результатам выполненных опытов получены листы со следами сфрезерованной торфомассы, благодаря чему наблюдается закономерность, что при расположении фрезы под углом более 20 градусов не происходит закидывания канала крошкой (рис. 2).

Однако, следует отметить, что при увеличении угла установки фрез больше 20°, наблюдается эффект резкого увеличения энергоемкости процесса, что объясняется увеличением сопротивления при косоугольном резании и уменьшением активной ширины фрезы, непосредственно задействованной в процессе резания.

Активная ширина фрезы в данном случае определяется как произведение общей длины фрезы на косинус угла её установки в плане.

Таким образом, с позиции отсутствия эффекта забрасывания фрезерной крошкой картовых каналов, можно считать, что рациональным углом установки фрез двухстороннего профилировщика относительно продольной оси устройства является угол 20°.

Библиографический список:

1. Жуков, Н.М. Высокопроизводительное средство для профилирования краев торфяных карт. [Текст] / Н.М.Жуков // Проблемы недропользования : сборник научных трудов / М-во образования и науки Российской Федерации, Федеральное гос. бюджетное образовательное учреждение высш. образования Санкт-Петербургский горный ун-т ; [редкол. : И. Б. Сергеев (пред.) и др.]. – Санкт-Петербург : Санкт-Петербургский горный ун-т, 2018. – С. 161-162 ; ISBN 978-5-94211-803-7 (Часть II)

2. Профилировщик краев торфяных карт [Текст] : пат. 180545 Рос. Федерация : МПК7 E02F 3/06 / Яблонев А.Л., Жуков Н.М., Гусева А.М.; заявитель и патентообладатель ТвГТУ. – 2018108763 ; заявл. 12.03.18 ; опубл. 18.06.18, Бюл. №26

3. Торфяные машины, их эксплуатация и ремонт. Лабораторный практикум [Текст] : учеб. пособие / А. Л. Яблонев ; Тверской государственный технический университет. - Тверь : ТвГТУ, 2019. - 111 с. : ил. ; 20 см. - Библиогр.: с. 109-110 (28 назв.). - 100 экз. - ISBN 978-5-7995-1006-0

УДК 622.257.1:622.273

АНАЛИЗ МЕРОПРИЯТИЙ ПО БОРЬБЕ С ТЕХНОГЕННЫМИ ПРОЯВЛЕНИЯМИ НА ГОРНОРУДНЫХ ПРЕДПРИЯТИЯХ

Шубин А.А.
Санкт-Петербургский горный университет, Россия

Рассматриваются вопросы инженерно-геологического изучения подземных пустот, полученных в результате активиза-

ции техногенных процессов. Даются общие закономерности развития пустот, определяющие их морфологию и зональность распространения. Рассматривается связь подземных пустот с факторами, определяющими условия устойчивости и эксплуатации сооружений. Излагается технологическая схема ликвидации подземных пустот применительно к требованиям горнотехнического строительства.

Человеческое общество использует природные ресурсы для удовлетворения своих потребностей прогрессирующими масштабами и темпами, оказывая тем самым негативное воздействие на окружающую среду. Негативные техногенные воздействия, которые охватили всю биосферу, особенно литосферу, проявляются в изменениях окружающей среды на всей планете и распространяются на космическое пространство.

По своим размерам и интенсивности эти воздействия в начале XX века стали сопоставимы с природными катаклизмами. Наибольшую тревогу вызывает сокращение *биоты* — основы существования всего живого на земле. Отмечено изменение климата, рост концентрации CO_2, уменьшение содержания кислорода в воздухе.

На предприятиях накапливаются отходы. Отечественные горные отрасли промышленности накопили в отвалах вскрышных и вмещающих пород, шламохранилищах, других техногенных образованиях не менее 5 млрд м^3 отходов. Их ежегодный прирост составляет около 1 млрд м^3, а использование техногенных ресурсов, по разным оценкам, не превышает 10 – 12 % от названного объема.

Непрерывно нарастающее вторжение в недра земли, связанное преимущественно с извлечением полезных ископаемых, а также освоением подземных пространств, вызывает адекватную, а часто более мощную, и главное, трудно или вообще непредсказуемую реакцию недр на эти воздействия.

Техногенные воздействия на геологическую среду носят сложный комплексный характер, охватывая все ее компоненты (породы, рельеф, почвы, поверхностные и подземные воды, приповерхностную атмосферу, современные геологические процессы). Они имеют наступательную, прогрессирующую тенденцию развития, что обусловлено строительством и вводом в эксплуатацию новых рудников и перерабатывающих предприятий, а также неуклонно возрастающим изменением самой среды.

Данные об оседаниях поверхности базируются на многолетних инструментальных наблюдениях, выполненных по опорным профилям [1]. По данным [2], при первичной подработке одного пласта месторождения скорость оседания поверхности над ним составляет 2 –

10 мм/год, а при повторной подработке она возрастает до 20 – 30 и даже 100 мм/год.

Сдвиги пород над выработками, раскрытие трещин, просадки и изменение гидрогеологических условий могут быть причиной катастрофических провальных явлений, а также *внезапных прорывов воды* из поверхностных водоемов в горные выработки. Эти прорывы, как правило, бывают обусловлены подработкой водоемов горными работами шахт, а также незаметными ранее трещинами и тектоническими нарушениями, соединяющими поверхностные водоемы с горными выработками шахт. Прорывы воды в горные выработки из трещиноватых и карстовых скальных водоносных пород вследствие значительных водопроводящих каналов (трещин и карстовых полостей) характеризуются часто большими притоками воды, доходящими до тысячи м^3/ч и более, и почти полным отсутствием или незначительным выносом размытых горных пород.

Наиболее опасны по своим последствиям прорывы в горные выработки песков плывунного характера и плывунов, которые происходят или на контакте их с плотными и крепкими породами (рис. 1, *а*), или при недостаточной мощности плотных пород (рис. 1, *б*).

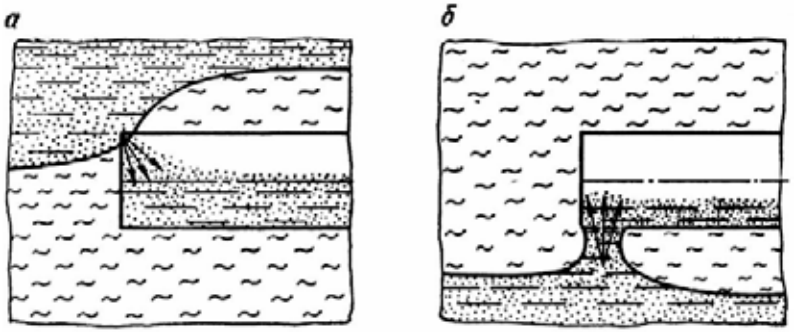


Рис. 1. Схемы прорывов плывуна в горные выработки:
а — на контакте с плотными водоупорными породами в кровле выработки;
б — через слой недостаточных по мощности водоупорных пород в почве выработки

Во всех случаях самыми опасными по своим последствиям являются прорывы воды в горные выработки, при которых происходит размывание и разрушение пород вокруг горных выработок, что почти всегда влечет за собой их деформацию и разрушение [3].

Техногенные воздействия на геологическую среду в ряде регионов носят прогрессирующий характер и включают ряд взаимосвязанных явлений.

Полный цикл исследований влияния должен включать учет интегрального воздействия промышленного комплекса на окружающую среду. В первую очередь необходимо выявить элементы геологической среды, подвергающиеся воздействию горнодобывающего предприятия и дать оценку их изменений. С этой целью составляются карты типологического районирования на поверхностную зону (до первого регионального водоупора) и на всю мощность зоны инженерного воздействия (глубину заложения горных выработок). Первый этап работ завершается составлением одной или нескольких прогнозных карт изменения инженерно-геологических и гидрогеологических условий в зоне воздействия горнодобывающих предприятий. Второй этап включает разработку на основе прогнозных карт конкретных рекомендаций для снижения отрицательного воздействия на среду горнодобывающих предприятий или промышленных комплексов.

Уплотнение скальных трещиноватых, и в том числе закарстованных, пород может выполняться многими, весьма разнообразными способами, к которым относятся: комплексный метод тампонажа [4], цементация, глинизация, битумизация, силикатизация, а также замораживание. Иногда эти способы комбинируются.

Для закладочных и тампонажных работ возможно использование суглинка, песка и гальки, накопленных в хвостохранилищах. Песчаные отходы легко поддаются гравитационному осушению, пылеватые отходы имеют явные тиксотропные свойства, а глиноподобные отходы остаются в текучем состоянии. Запасы только пылевых отходов оцениваются в 10 млн т. Таким образом, основным материалом для закладочных и тампонажных работ служат хвосты обогатительного производства.

Для придания текучих свойств закладочному материалу в него вводится рассол, и гидросмесь приобретает необходимые качества. Требования к гидросмесям, используемым для закладочных работ, сводятся к следующему:

– отсутствие токсичных и горючих компонентов, минимальное содержание растворимых в воде солей;

– простота приготовления и удовлетворительная транспортабельность смеси;

–высокую концентрацию твердого вещества и низкую степень усадки;

–минимальные сроки схватывания 1–2 суток, гидравлические потери в трубах должны быть низкие;

–достаточная несущая способность закладочного массива, исключающая опасные динамические проявления в выработках и опасные деформации на подработанных территориях;

– закладочный массив должен иметь длительную механическую и антикоррозионную устойчивость, не должен размываться рассолами.

Поэтому в качестве основных закладочных составов для консервации рудника рекомендуются:

1) закладочный материал – хвосты обогащения и рассолы;

2) тампонажный материал – хвосты обогащения, бентонит, каустический магнезит, цемент, рассолы.

Указанные закладочные материалы подаются в выработанное пространство через скважины, пробуренные с поверхности. Физический механизм течения концентрированных гидросмесей в трубах и выработанном пространстве будет определяться их реологическими свойствами. Известно, что грубодисперсные гидросмеси обладают высокой седиментацией, и их движение возможно только со скоростью выше критической. При этом скорость седиментации твердой фазы является функцией размера частиц гидросмеси:

$$v = \frac{gd}{18\mu}(\rho - \rho_{ж}),$$

где d — диаметр частиц; ρ и $\rho_ж$ — плотность материала и жидкой фазы; μ — вязкость жидкой фазы.

Схема движения гидросмеси и осаждения твердых частиц показана на рис. (рис. 2).

В первую фазу нагнетания гидросмеси на дне образуется конус из зернистого материала. Конус наращивается вверх до тех пор, пока скорость струи не станет критической. Затем наступает вторая фаза движения. Направление потока гидросмеси у вершины конуса изменяется от нисходящего к горизонтальному, происходит наращивание боковой поверхности конуса, тогда как вдоль кровли полости остается свободная щель. На выходе из щели скорость резко снижается, в результате, чего твердые частицы выпадают в осадок.

Сначала выпадают крупные частицы, они откладываются в верхней части откоса, затем все более мелкие частицы. Из-за этого распределение частиц в разрезе по крупности получается обратным: в верхней части частицы крупные, в нижней – мелкие, у подошвы – глинистые. В связи с различием угла внутреннего трения для осадка с разной крупностью частиц откос приобретает вогнутую форму – крутую в верхней части и пологую в нижней.

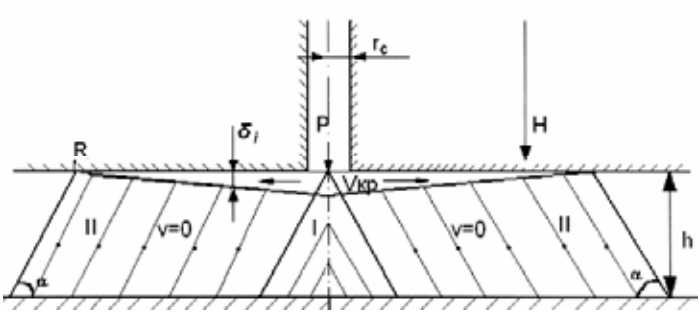


Рис. 2. Схема формирования закладочного массива из гидросмеси

По мере расширения конуса длина свободной щели возрастает, в результате чего увеличивается гидравлическое сопротивление, уменьшается расход гидросмеси. При некотором минимальном расходе происходит расслоение гидросмеси в стволе скважины, в результате чего образуется песчаная пробка, и поглощение гидросмеси полностью прекращается.

На основании изучения карстопроявлений, теоретического обоснования процесса развития карста, обоснования физического механизма течения высококонцентрированных гидросмесей и вязкопластичных растворов в различных условиях предложено ликвидацию карстовой опасности проводить только комбинированным способом, заключающимся в обоснованном синтезе гидрозакладки и тампонажа.

Сущность комбинированного способа закладки карстовых полостей заключается в следующем:

На первом этапе выполняются бурение сети разведочных скважин и инженерно-геологические исследования образцов горных пород.

На втором этапе осуществляются бурение и оборудование скважин для закладки карстовых полостей и тампонажа зон разуплотнения.

На третьем этапе выполняется приготовление и нагнетание гидросмесей для ликвидации пустот I и II групп.

Четвертый этап состоит в проведении тампонажа глиноцементными растворами пустот III группы и зон разуплотнения.

На пятом этапе осуществляется контроль качества выполненных работ.

Библиографический список:

1. Тетерин А. В. Обоснование параметров сдвижения земной поверхности при ее многократной подработке в условиях подземной разработки угольных пластов / Дис. … канд. техн. наук / Шахтинский институт ЮРГТУ. – Шахты, 2004. –170 с.

2. Шадрин А. Г., Аникин Н. Ф. Основные результаты наблюдений за оседанием поверхности на Верхнекамском месторождении калийных солей, расчетные схемы для этих условий // / Разработка соляных месторождений: Межвуз. темат. сб. науч. тр. Пермь, 1974.

3. Калмыков Е. П. Борьба с внезапными прорывами воды в горные выработки.– М.: Недра, 1973.– 240 с.

4. Комплексный метод тампонажа при строительстве шахт: Учеб. пособие /Э.Я. Кипко, П. Н. Должиков, Н. А. Дудля и др. – 2-е изд. перераб. и доп. – Днепропетровск: Национальный горный университет, 2004. – 415 с.

УДК 622.331.2:622.023

ТЕХНОЛОГИЯ РАЗРАБОТКИ МЕСТОРОЖДЕНИЯ С УЛУЧШЕНИЕМ ПАРАМЕТРОВ ТОРФЯНОГО РАССТИЛА

Барков Н.С., Отрезов А.А., Пухова О.В., Тимофеев А.Е.
Тверской государственный технический университет, г. Тверь, Россия

В статье представлены результаты исследования технологии разработки торфяного месторождения с улучшением параметров расстила. Нормализация расстила укрупненных частиц характеризовалась совокупностью действий, в результате которых расстил характеризовался параметрами (толщина, средний размер частиц, однородность по размерам, числом слоев). Это способствовало интенсификации процесса сушки укрупненных частиц, и как следствие повышение сборов торфа с единицы площади.

Технология добычи торфа на месторождении при открытой разработке зависит от природных условий. Применение рациональной технологии при разработке торфяных ресурсов конкретного торфяного месторождения приводит к повышению сборов торфа с единицы площади [1-3], что в конечном итоге приводит к увеличению прибыли предприятия.

Для исследования по повышению сборов торфа выбрана технология разработки торфяного месторождения с улучшением параметров расстила. Торф на протяжении многих лет добывается фрезерным способом [4-6], при котором торфяное сырье получается в виде фрезерной крошки, которая обладает недостатками:

1. содержание большого количества мелких пылевидных фракций;

2. неоднородный фракционный состав;

3. малая насыпная масса;

4. изменение качества при длительном хранении, например, саморазогревание.

Улучшение параметров расстила проводилось формированием его в виде искусственно сформированных частиц (укрупненных частиц) определенной формы и размеров: толщина расстила, средний размер частиц, однородность их по размерам, числом слоев, коэффициент вариации толщины расстила.

Укрупненные частицы, сформированные в вальцовом формователе, характеризовали величиной и однородностью по размерам, которые определяются величиной пазов формователя и степенью релаксации торфа.

Количество слоев сушки определялось по выражению

$N = h_{сл} / h_{част}$,

где $h_{сл}$ – толщина слоя; $h_{част}$ – размер частиц по высоте, может быть выбран оптимальным 1,2-1,5, так как скорость передвижения выдающего конвейера согласуется со скоростью формования может регулироваться в зависимости от конкретных условий.

Физико-механические свойства [7, 8] укрупненных частиц отличаются от свойств обычной фрезерной крошки в лучшую сторону:

1. отсутствие мелких пылевидных фракций;

2. однородный фракционный состав;

3. увеличенная насыпная масса;

4. неизмененное качество при длительном хранении.

Равномерность распределения сформованных укрупненных частиц по полю сушки, характеризовали коэффициентом вариации расстила, который позволил оценить качество сформированного расстила.

В таблице 1 приведены данные эксперимента по определению равномерности расстила укрупненных частиц.

Таблица 1

Влияние влажности и загрузни на равномерность частиц

Влажность формования, %	Загрузка, г	s	Равномерность расстила, a
80	751,2	133,6	0,178
79,4	718,3	92,6	0,129
77,1	677,1	94,5	0,139
75,3	682,7	108,9	0,160

74,1	648,9	160,0	0,247
73,9	760,4	96,2	0,127
71,8	354,7	45,0	0,127
70	576,0	124,0	0,214

Согласно данных таблицы 1 коэффициент равномерности расстила находится в пределах 0,127-0,214 при среднем значении 0,15, что в 3-4 раза меньше чем в существующих технологических схемах добычи фрезерной крошки. Равномерность расстила в данном случае обеспечивается конструктивными особенностями формующего аппарата, который является дозирующим устройством, так как количество сформованных частиц в единицу времени строго зависит от окружной скорости формующих элементов. Подбирая скорости вращения вальцов в соответствии с поступательной скоростью передвижения выдающего конвейера, можно обеспечить равномерное распределение частиц по площади и организованную укладку их в любое количество слоев.

Все это способствует интенсификации процесса сушки в технологии разработки торфяного месторождения с улучшением параметров расстила. Характер расстила, то есть его толщина, размер и количество сформованных частиц, расположение их на поле сушки, число слоев зависят от многих факторов, но, в первую очередь, от физико-механических свойств формуемой торфяной массы и скоростных параметров механизма.

Результирующим показателем качества формирования расстила может стать количество сформованных укрупненных частиц на определенной площади (рис. 1).

Согласно рис. 1 при влажности близкой к верхней [6] границы пластичности 84,5 % (рис. 1, кривая 1) количество сформованных и сохранивших свою форму частиц в расстиле зависит от скорости формования и до скорости 1,1 м/с составляет 100 %, а затем с увеличением скорости сокращается до 63 %. Уменьшение влажности формования близкой к нижней границе пластичности сокращает количество сформованных и сохранивших свою форму частиц в расстиле до 63 %. Объясняется это ухудшением условий эвакуации воздуха, вследствие образования дополнительных воздухопроводящих пор. Добавка сухой крошки до 30 % (рис. 1, кривые 3 и 4) отрицательно не сказывается на характере расстила.

Расположение укрупненных частиц в слое выгодно отличается от размещения частиц фрезерного торфа. Действию прямой солнечной радиации подвержены все укрупненные частицы (при расположении

их в один слой) или большая их часть (при числе слоев, большем единицы). Воздушный поток обтекает их со всех сторон. Как показали проведенные исследования, гранулометрический состав сформованных укрупненных частиц улучшается (рис. 2). Однородность гранулометрического состава частиц по размерам способствует интенсификации процесса сушки укрупненных частиц.

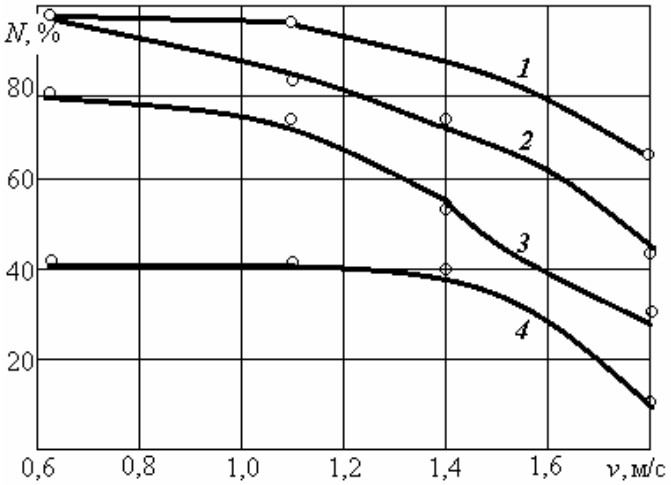


Рис. 1. Изменение количества частиц от скорости формования и влажности формуемой массы: 1 – 84,5; 2 – 74,1; 3 – 72,6; 4 – 69,7 %

Величина средневзвешенного диаметра укрупненных частиц после формования возрастает в 2-3 раза по сравнению с исходной фрезерной крошкой и повышается однородность частиц по размерам. В составе расстила отсутствуют мелкие и пылеватые фракции, а частицы оптимального размера более 10 мм составляют по весу 70-90 %. Улучшение гранулометрического состава укрупненных частиц объясняется конструктивными особенностями формующего аппарата, а также способностью торфа сохранять приданную в результате обжатия форму.

Результаты исследования по влиянию загрузки площади поля сушки и влажности формования и подстила на цикловой сбор торфа представлены в таблице 2.

Для расстила в один слой цикловой сбор колеблется от 27,4 до 37,6 т/га. Загрузка площади поля сушки (P_c) зависит только от влажности формуемой массы (W) и определяется по уравнению для верхового

торфа степенью разложения 35 %:

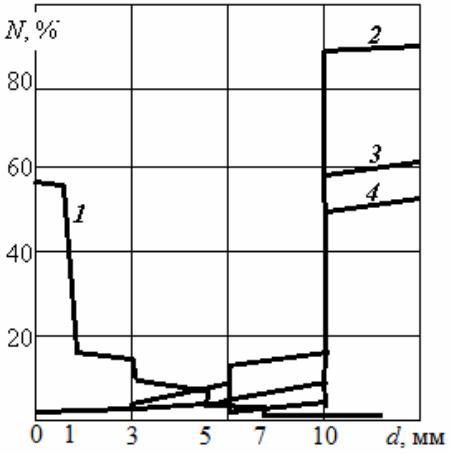


Рис. 2. Гранулометрический состав фрезерной крошки и укрупненных частиц

Таблица 2

Зависимость загрузки и влажности на цикловой сбор частиц

Влажность укрупненных частиц, %	Влажность подстила, %	Загрузка площади поля сушки, кг/м^2	Цикловой сбор, т/га
80,0	81,5	1,84	30,7
79,4	80,0	1,88	31,4
77,1	81,4	2,00	33,4
75,3	79,0	1,64	27,4
74,1	83,3	1,98	33,0
73,9	79,0	2,22	37,6
71,8	83,3	2,04	34,0
70	79,5	1,95	32,6

$P_c = 5{,}65 - 0{,}05\,w \pm 0{,}039$.

Колебание величины загрузки объясняется неравномерной загрузкой бункера формователя [8, 9], что устраняется при внедрении автоматического управления наполнения бункера формователя [10].

Таким образом, в результате исследования технологии разработки торфяного месторождения с улучшением параметров расстила

установлено, что создание расстила из сформованных укрупненных частиц повышает качественные показатели готовой продукции и более надежное формирование расстила. Добавка сухой крошки до 30 % отрицательно не сказывается на характере расстила. Увеличивается однородность по размерам и средневзвешенный диаметр частиц, влажность формования уменьшается до 67 %. Это способствует интенсификации процесса сушки укрупненных частиц, и как следствие повышению цикловых сборов торфа.

Библиографический список:

1. Мисников, О.С. О рациональном использовании энергетических и минеральных ресурсов торфяных месторождений [Текст] / О.С. Мисников, А.Е. Тимофеев // Горный журнал, – 2008. – № 11. – С. 59-63.

2. Гамаюнов, С.Н. Перспективные направления использования продукции на основе гранулированного торфа [Текст] / С.Н. Гамаюнов, О.С. Мисников, О.В. Пухова // Горный журнал, – 1999. – № 10. – С. 41-44.

3. Misnikov, O.S. Use of peat ingredients for production of fire-extinguishing powders *[Text] /O.S. Misnikov, O.V, Dmitriev, E.Yu. Chertkova // Eurasian Mining. Gornyi Zhurnal, – № 2 (24). – 2015. – P. 30-34.*

4. Панов, В.В., Мисников, О.С., Купорова, А.В. Проблемы и перспективы развития торфяного производства в Российской Федерации [Текст] / В.В. Панов, О.С. Мисников, А.В. Купорова // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2017. – № 5. – С.105-117.

5. Панов, В.В. Тенденции развития торфяной отрасли России [Текст] / В.В. Панов, О.С. Мисников // Горный журнал. – 2015. – № 7. – С.108-112.

6. Мисников О.С. Анализ технологий разработки торфяных месторождений в странах дального и ближнего Зарубежья [Текст] / О.С. Мисников, А.Е. Тимофеев, А.А. Михайлов // Горный информационно-аналитический бюллетень. М.: МГГУ, – 2011. – Т. 9. – С. 84-92.

7. Королев, И.О., Влияние технологических факторов на физико-механические свойства сырья в технологиях разработки торфяных месторождений [Текст] / И.О. Королев, И.О., О.В. Пухова, Е.Ю. Черткова // Горный информационно-аналитический бюллетень. М.: МГГУ, – 2012. – Т. 10. – С. 181-184.

8. Шахматов, К.Л. Реология композиционных материалов на основе торфа [Текст] /К.Л. Шахматов // Вестник Тверского государственного технического университета. – 2005. – № 7. – С. 10-13.

9. Патент на изобретение RUS 2379516 15.01.2008. Матрица формования [Текст] /Суворов, В.И., Соловьев, Н.Л., Шахматов, К.Л.

10. Лебедев, В.В. Методика тестирования программного обеспечения автоматического управления производства торфяных питательных брикетов [Текст] / В.В. Лебедев, О.В. Пухова // Все материалы. Энциклопедический справочник. – 2017. – № 9. – С. 58-63.

Сведения об авторах:

1. Барков Николай Сергеевич – студент специальности 21.05.04 Горное дело Тверского государственного технического университета varfes0001@mail.ru

2. Отрезов Антон Андреевич – студент специальности 21.05.04 Горное дело Тверского государственного технического университета, varfes0001@mail.ru

3. Пухова Ольга Владимировна – доцент, к. т. н., доцент кафедры «Горное дело, природообустройство и промышленная экология» Тверского государственного технического университета, owpuhova@mail.ru

4. Тимофеев Александр Евгеньевич – к. т. н., доцент кафедры «Горное дело, природообустройство и промышленная экология» Тверского государственного технического университета

УДК622.272.6

ГЕОТЕХНОЛОГИЯ СОЗДАНИЯИСКУССТВЕННОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ ТОРФОДРЕВЕСНОГО СЫРЬЯ

Яконовская Т.Б., Жигульская А.И.,Оганесян А.С.
Тверской государственный технический университет

Ввиду ухудшения горно-геологических условий освоения торфяных месторождений в регионах европейской части Росси и затяжного экономического кризиса развития торфяной отрасли,возникает необходимость в разработке принципиально нового, неотехнологического подхода к освоению торфяных месторождений. В рамках концепции рационального использования природных ресурсов местного значения авторами предлагается технология создания искусственного месторождения торфодревесного сырья.

В «Энергетической стратегии России на период до 2035 года» основной упор сделан в сторону эффективного использования традиционных и новых неуглеводородных источников энергии. При этом в качестве традиционных источников энергии рассматриваются: газ, нефть, уголь и возобновляемые местные энергетические ресурсы (торф, биомасса). Современные тенденции развития энергетики и экологической безопасности в России предусматривают рост значения возобновляемых источников энергии в обеспечении энергетических потребностей общества. Однако,основной проблемой в этой сфере является недостаточное развитие малой энергетики и низкая вовлеченность в энергобалансы местных источников энергии регионального и локального значения [1-4].Инновационная и научно-техническая политика в энергетической стратегии до 2035 г. предполагает использование технологии производства синтетического топлива из торфа и биомассы, а также расширение производства и использования новых видов топлива, получаемых из различных видов биомассы.

В региональных энергетических балансах местные энергоресурсы слабо представлены, так доля торфа в топливно-энергетическом ба-

лансе Тверской области с 2010 г.составляла 1,5 процентаи ежегодно снижается (в 2020 г. ТЭЦ региона прекратили использовать торф в качестве резервного топлива), доли прочих видов твердого топлива, включая различные отходы, и дрова для отопления находятся в диапазоне от 1 до 2 %.

По экологическим характеристикам торф и торфодревесные ресурсы торфяной залежи являются одними из наиболее важных и перспективных местных источников топлива. Но существующие технологии добычи этого местного ресурса давно устарели и не соответствуют современным экономическим реалиям [5-10]. Традиционно, при добыче торфа использовалась технология фрезерования торфяной залежи и создание расстила фрезерной крошки толщиной до 3 см. Однако, экономическая эффективность использования такого способа сильно зависит от качества подготовки торфяной технологической площадки, а именно от операции экскавации погребенной древесины. Полученную пнёвую древесину использовали для производства дров [11-15].

Авторы предлагают новый неогеотехнологический подход к освоению торфяного месторождения. Под термином «неогеотехнология» в торфяной отрасли авторы подразумевают принципиально новый, системный подход к проектированию торфодобывающих предприятий, основанный на выборе рационального(с точки зрения экономики, экологии, технологии) способа добычи и использования ресурсов торфяных месторождений и гибридных,селективных геотехнологий освоения торфяных залежей.Разработаннаягеотехнология глубокого фрезерования торфозалежи вместе с погребенными горизонтами древесных ресурсов позволяет сократить количество подготовительных и добычных операций. Таким образом, получается искусственно созданное «смешанное»месторождение торфодревесного сырья (табл. 1) [16-20].В случае, если для производства продукции необходимо только торфяное сырье, то с помощью сепаратора можно отделить торф от древесной составляющей.

Следует различать, смешанное искусственное месторождение от смешанного типа торфяной залежи. Последний трактуется так: «залежь в нижней части сложенная низинными или переходными торфами или их совокупностью (чаще всего погребенный горизонт древесины представлен березой и ольхой), а сверху – верховыми торфами толщина слоя которых, составляет более 0,5 м, но не превышает половины общей глубины торфяного массива».

Как можно заметить, торфодобывающая отрасль как самостоятельная сфера добычи торфяного ресурса постепенно интегрируется с горнодобывающей и мелиоративной отраслями не только по виду ис-

пользуемой техники, но и по направлениям использования торфодревесного сырья. А значит, интеграция здесь возможна как по продуктовому, так и по технологическому принципу. В этом случае торфяная отрасль рассматривается как элемент горнопромышленной системы на стадии подготовки месторождений к освоению и на стадии рекультивации выработанных месторождений [21,22].

Таблица 1.

Неогеотехнологии создания искусственного месторождения торфодревесного сырья (разработано авторами)

№	Название новойгеотехнологии	Марки основного добывающего оборудования
1	Горизонтальное, послойное глубокое фрезерование (от 25 до 70 см)	почвенная фреза AgriWorld FTCD-35;универсальная лесная фреза STARSOIL; Multiforstуниверсальная фреза (ротоватор); МПГ-42 (с модификациями)
2	Вертикальное	
	Скважинное (до 70 см)	Вертикальная шнек-фреза, дисковая фреза ДФМ-ГПИ-1, ДФМ-ГПИ-1А (до 1,5 м); МТП-39
	Гидроскважинное (с подачей воды на всю глубину массива)	Вертикальнаяшнек-фреза с подачей воды из канала осушительной сети
	Траншейное (на всю глубину массива)	Траншейный роторный экскаватор ЭТР-134
3	Селективная (гибридная)	
	Традиционное фрезерование (до 3 см) + горизонтальное глубокое (сплошное) фрезерование	Слои торфа (без погребенной древесины) фрезеруются БФТ – Слои погребенной древесины (торфодревесное сырье) фрезеруются на всю глубину с использованием машин технологии №1
	Скважинная + традиционное фрезерование (до 3 см)	По форме готовой продукции: скважинная - кусковой торф (с использованием машин технологии №1); традиционное фрезерование с получением расстила торфяной крошки до 3 см при глубине залежи 1 м – машины БФТ-9 и ее модификации

В энергетической стратегии России до 2035 г. в разделе о региональной энергетике и экологической безопасности в качестве одной

из главных целей указано эффективное, рациональное и полное использование региональных возобновляемых ресурсов. А для большинства регионов ЦФО именно запасы торфа являются дешевым и экологически чистым источником энергоресурсов. Вовлечение торфяных и торфодревесных ресурсов в энергобаланс регионов позволит существенно снизить расходы населения по услугам ЖКХ в сфере теплоснабжения и повысить энергетическую безопасность регионов и их независимость от привозного и дорогого топлива.

Библиографический список:

1.Распоряжение Правительства РФ от 9 июня 2020 г. №1523-р Об Энергетической стратегии РФ на период до 2035г. - [Электронный ресурс]. - https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/74148810/ (дата обращения 01.11.2020 г.)

2. Анализ инвестиционно-инновационной активности в торфяной отрасли / Т.Б. Яконовская, А.И. Жигульская, М.А. Жигульский // Современное состояние экономических систем: экономика и управление. Сб. науч. тр. межд. науч.конф. / под общ.ред. Д.В. Розова, Г.Г. Скворцовой. 2018. С. 148-153.

3. Вопросы инвестиционной привлекательности торфяной отрасли / Т.Б. Яконовская, А.И. Жигульская, Б.Ф. Зюзин // В сборнике: Современное состояние экономических систем: экономика и управление. Сб. науч. тр. межд. науч.конф. / под общ.ред. Д.В. Розова, Г.Г. Скворцовой. 2018. С. 139-142.

4. Яконовская, Т.Б. Экономическая классификация способов разработки торфяного месторождения: рентный подход / Т.Б. Яконовская, А.И. Жигульская, Б.Ф. Зюзин // ГИАБ.- 2014.-№7.- С. 318-323

5. Жигульская, А.И. Экономические и инженерные аспекты нового оборудования и технология комплексной безотходной добычи и переработки ресурсов торфяного месторождения / А.И. Жигульская, Т.Б. Яконовская. – М., 2013. – 160 с.: ил. – Деп. в «Горная книга» 30.01.2013, № 953/04-13

6. Жигульская, А.И. Биоэнергетическое комплексное использование торфа в мобильной технологии полного цикла для нужд ЖКХ и АПК / А.И. Жигульская, Т.Б. Яконовская, А.С. Оганесян // Инновации и перспективы развития горного машиностроения и электромеханики: IPDME-2017: сб. науч. тр. межд. науч.-техн. конф., 23-24 марта 2017 г., Спб.- СПб.: Изд-во Санкт-Петер. гор.ун., 2017. – с. 38-42

7. Анализ эксплуатационных свойств торфяных машин и оборудования с целью выявления перспективных направлений их модернизации / А.И Жигульская, Т.Б. Яконовская, Ю.В. Соболь Ю.В. и др. // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). 2015. - №1. - С. 66-70.

8. Жигульская, А.И.Комплексная механизация добычи и переработки торфо-древесных ресурсов торфяных месторождений / А.И. Жигульская, Т.Б. Яконовская. - М., 2013. – 21 с.: ил. – Деп. в «Горная книга» 30.01.2013, № 954/04-13

9. Новый подход к вопросу рационального использования торфяного сырья как компонента вскрышной породы при разработке россыпных месторождений / А.И. Жигульская, Т.Б. Яконовская, П.А. Яконовский и др. // Социально-экономические и экологические проблемы горной промышленности, строительства и энергетики: матер.конф., 06-07 ноября 2014 г., Тула. – Тула: Изд-во Тул. гос. ун., 2014. - С. 339-343.

10. Жигульская, А.И. Торфяное производство как элемент горнопромышленной системы / А.И. Жигульская, Т.Б. Яконовская, Е.О. Корнильев. – М., 2014. – 4 с.: ил. – Деп. в «Горная книга» 28.08.2014, № 1033/11-14

11. Оборудование и технологии для производства биотоплива на основе сырьевых ресурсов торфяных месторождений (биоэнергетический кластер): Учеб.пособ. / Б.Ф. Зюзин, Д.Д. Разаев, А.И. Жигульская, Т.Б. Яконовская. – Тверь:ТГТУ, 2014. - Ч. 1. - 168с.

12. Яконовская, Т.Б. Особенности оценки экономической эффективности технологий разработки торфяного месторождения / Т.Б. Яконовская, А.И. Жигульская, М.А. Жигульский. – М., 2014. – 3 с.: ил. – Деп. в «Горная книга» 18.02.2014, № 1013/06-14

13. Жигульская, А.И. Научные основы комплексной механизации безотходной круглогодичной технологии добычи и переработки ресурсов торфяных месторождений / А.И. Жигульская, Т.Б. Яконовска / монография - Тверь: ТГТУ, 2014. 193с.

14. Целовальников, А.П. Современные направления модернизации торфяных машин и оборудования / А.П. Целовальников, А.С. Мкртчян // Инновации на транспорте и в машиностроении: сб. тр. III межд. науч.-прак. конф., 14-15 апреля 2015 г., СПб. – СПб: Изд-во Санкт-Петер. гор.ун., 2015.- С. 67.

15. Модернизация комплексов машин для ресурсосберегающих технологий добычи торфодревесного сырья / А.И. Жигульская, О.В. Шамбер, Т.Б. Яконовская, А.С. Оганесян // Социально-экономические и экологические проблемы горной промышленности, строительства и энергетики: матер. 11-й межд. конф., 05-06 ноября 2015 г., Тула. – Тула: Изд-во Тул. гос. ун., 2015. – С. 96-98с.

16. Комплексное использование торфяных и древесных ресурсов / Б.Ф. Зюзин, А.И. Жигульская, Т.Б. Яконовская и др. // Проблемы рационального использования природных ресурсов и устойчивое развитие Полесья: сб. док.межд. науч. конф., 14-17 сентября 2016 г., Минск – Минск: Изд-во Беларускаянавука, 2016. - С. 152-156.

17. Mikhailov, A.Strip mining of peat deposit / A. Mikhailov, A. Zhigulskaya, T. Yakonovskaya // Proceeding of the 26th International Symposium. Edited by BehzadGhodrati, Uday Kumar, HåkanSchunnesson. - 2017. -С. 497-501.

18. Mikhailov, A.Excavating and loading equipment for peat mining / A.V. Mikhailov, A.I. Zhigulskaya, T.B. Yakonovskaya // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. [Electronicresource]. -2017.-С. 22-24.

19. Жигульская, А.И. Новое оборудование и технологии комплексной безотходной добычи и переработки ресурсов торфяного месторождения: Учеб.пособ. / А.И. Жигульская, Т.Б. Яконовская. - Тверь: ТГТУ, 2016. – 160 с.

20. Машины и оборудование для разработки торфяных месторождений, как класс горных машин для открытых горных работ / Б.Ф. Зюзин, А.И. Жигульская, Т.Б. Яконовская и др. // Технологическое оборудование для горной и нефтегазовой промышленности: сб. тр. XVIII межд. науч.-техн. конф., 02-03 апреля 2020 г., Екатеринбург – Екатеринбург: Изд-во УГГУ, 2020. - С. 36-39.

21. Mikhailov, A.V. Excavating and loading equipment for peat mining / A.V. Mikhailov, A.I Zhigulskaya, T.B. Yakonovskaya // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science (см. вкнигах), 2017. - Т.87.- № 2.

22. Mikhailov, A.An integrated approach to strip mining of peat / A.Mikhailov, O. Garmaev, A. Zhigulskaya // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. International Conference on Innovations and Prospects of Development of Mining Machinery and Electrical Engineering, 2019. - С. 82-87.

УДК 622.935

ОЦЕНКА СТЕПЕНИ ДРОБЛЕНИЯ ГОРНЫХ ПОРОД НА ГРАНИТНОМ КАРЬЕРЕ

Оника С.Г., Дереповская Е.Р., Кишко АА., Здор Д.В, Зотов А.А.

Белорусский национальный технический университет, г. Минск, Республика Беларусь

Приведены результаты измерений размеров кусков породы, образующихся при взрывах в карьере природного камня. Изучено распределение кусков породы по фракциям. Представлен программный модуль распределения данных измерений размеров кусков по классам.

Определение степени дробления горных пород взрывом необходимо для определения оптимальных параметров взрывных работ, обеспечивающих важные производственные задачи: минимизация выхода негабарита, снижение затрат на буровзрывные работы, определении дальности разлета кусков породы.

Объектом исследований явился гранитный карьер «Микашевичи», который в настоящее время признан самым крупным карьером природного камня в Европе.

По состоянию на начало.2019 года карьер «Микашевичи» достиг глубины 150 м. С применением взрывных работ разрабатывается 10 добычных уступов высотой преимущественно 12 метров. На отдельных участках рабочей зоны карьера, на горизонтах +94 м и +82 м (северная и северо-восточная часть) из-за неровности кровли полезного ископаемого высота уступа колеблется от 7 до 20 м.

Выход негабарита по данным практики колеблется от 2,0 до 5,0 %., составляет в среднем по карьеру – 3 %. Ширина развала скальных горных пород после взрыва в зависимости от количества рядов пробуренных скважин составляет 36 – 42 м, при высоте развала не более 15 м.

Вся толща скальных пород в контуре разработки относится к X-XI категории по СНиП (коэффициент крепости по шкале проф. М.М. Протодьяконова f = 15-20), однако встречаются и более крепкие.

По буримости породы относятся к XVIII – XX категории (труднобуримые), определенной по методике Центрального бюро промышленных нормативов по по труду (ЦБНТ), а по взрываемости к III – IV категории по Единой шкале взрываемости горных пород (трудновзрываемые и весьма трудновзрываемые).

Буровзрывные работы в карьере производятся с целью подготовки горных пород к выемке и последующего обеспечения дробильно-сортировачных заводов горной массой. Максимально допустимый размер кусков взорванной горной массы по условию экскавации и размещения в приемное отверстие дробилок составляет 1200 мм.

Скважины бурятся станками СБШ – 250 МНА-32 и дизельной буровой установкой Sandvik DI550 диаметром 250 мм, 220 мм, 165 мм и 152 мм.

Из-за большого водопритока водоносного горизонта кристаллических пород и трещиноватости пород большинство скважин обводнено. Высота водяного столба в скважинах изменяется от 3 до 15 метров.

Для определения количественной характеристики результатов дробления в данной работе использовали фотолинейный метод.

Для получения фотопланограмм производили фотографирование поверхности взорванной горной массы в границах так называемой контрольной рамки. Предварительно на фотографируемый участок накладывали контрольную рамку с размерами сторон 200*200 см. Для облегчения подсчета гранулометрического состава в пределах контрольной рамки, стороны ее размечены на отрезки по 20 см. Участок для фотографирования выбирался с таким расчетом, чтобы кусковатость, находящейся на данном участке взорванной горной массы, была как можно более характерной для больших площадей развала породы (рис. 1).

Регистрация гранулометрического состава выполнена для блоков, расположенных на горизонтах +106 м; гор +82 м; гор. +70 м; гор+58 м и гор-20м, обуренных скважинами диаметром 250мм; 215 мм., а также165 и 152 мм. Удельный расход взрывчатого вещества по блокам преимущественно составлял 1 кг/м^3. Блоки отличались низким коэффициентом заполнения скважин взрывчатым веществом, составляющим преимущественно 0,5, что было вызвано соображениями гарантированного обеспечения 500 – метровой опасной зоны по разлету осколков.

Принято условное разделение кусков горной массы по крупности на отдельные фракции с шагом в 200 мм в пределах от 0 до 1200 мм. Куски свыше 1200 мм отнесены в соответствии с типовым проектом к негабаритной фракции.

На фотопланограммы в пределах контрольной рамки наносили ряд параллельных линий (индикатрис), количество которых определяли в зависимости от крупности кусков горной массы. При подсчете определяли размер кусков пересекаемых индикатрисой и вычисляли суммарную длину отрезков пересекаемых каждой фракцией. При

суммарной длине отрезков каждой из фракций в пределах всех индикатрис равно L_1 , то процентное содержание ее равно:

$$g = \frac{L_1}{L} * 100, \ \%,$$

где L – суммарная длина всех задействованных индикатрис.

Рис. 1. - Фотопланограмма взорванной горной массы (Блок 56 гор +70 м, взрыв 09.07. 2019 г.)

Для облегчения измерений фотопланограммы данные измерений экспортировались в среду AutoCAD. В общей сложности обработаны 34 фотопланограммы.

Результаты измерений кусков всех фракций с делением по фракциям и без такого деления загружались в Excel для последующей обработки с целью подсчета выхода фракций и организации массива для его статистической обработки, обоснования закона распределения и выявления наиболее вероятных размеров осколков породы.

Измерение размеров кусков, образующихся при взрыве, позволили сформировать массивы данных. Большой объем информации предопределяет группирование данных и их представление в виде гистограмм, являющихся эмпирическими распределениями, на основе которых подбираются теоретические распределения.

Для вычисления длины интервала формирующее эмпирическое распределение кусков по классам нами использовалась формула Стерджесса:

$$h = \frac{x_{\max} - x_{\min}}{1 + 3{,}32 \lg N},$$

где x_{max} – минимальное значение элемента массива;

x_{min} – минимальное значение элемента массива;

N – число элементов массива.

Число интервалов определено с помощью функции INT (x), дающей наибольшее целое число не превышающее *x*.

Программный модуль, реализующий распределение данных по классам, написанный на языке Бейсик приведен ниже.

```
5 REM ПРОГРАММА СЧИТЫВАНИЯ ЗНАЧЕНИЙ ИЗ ФАЙЛА В
МАССИВ И ПОИСКА MIN--MAX
10 INPUT "ВВЕДИТЕ ИМЯ ФАЙЛА ";N$
15 OPEN N$ FOR INPUT AS #1
20 N=0
25 WHILE NOT EOF(1)
30 INPUT #1,S
35 N=N+1
40 WEND
45 CLOSE #1
50 OPEN N$ FOR INPUT AS #1
55 DIM X(N)
60 FOR I=0 TO N-1
65 INPUT #1,S
70 IF I=0 THEN BAZAMIN=S :BAZAMAX=S
75 IF BAZAMIN>S THEN MIN=I :BAZAMIN=S
80 IF BAZAMAX<S THEN MAX=I :BAZAMAX=S
85 X(I)=S
90 NEXT I
95 PRINT " МИНИМАЛЬНОЕ ЗНАЧЕНИЕ ";X(MIN)
100 PRINT " МАКСИМАЛЬНОЕ ЗНАЧЕНИЕ ";X(MAX)
110 PRINT " КОЛИЧЕСТВО ЭЛЕМЕНТОВ N=";N
120 REM ОПРЕДЕЛЕНИЕ ДЛИНЫ И ЧИСЛА ИНТЕРВАЛОВ
130 PRINT "ДЛИНА ИН-ЛА ПО СТРЕДЖЕРСУ:";:Z2=(X(MAX)-
    X(MIN))/(1+3.3*.43*LOG(N))
140 PRINT Z2
150 NC=INT((X(MAX)-X(MIN))/Z2+1)
160 PRINT "ЧИСЛО ИНТЕРВАЛОВ NC=";NC
170 REM РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ДАННЫХ ПО КЛАССАМ
180 PRINT "НИЖНЯЯ ГРАНИЦА КЛАССОВ=";:L=X(MIN)-
.0001:PRINT
```

```
"L="L
190 PRINT "ВЕРХНЯЯ ГРАНИЦА КЛАССОВ=";:H=L+Z2*NC:PRINT
"H="H
200 FOR I=0 TO N-1
210 Y=INT((X(I)-L)/Z2)
220 F(Y)=F(Y)+1
230 NEXT I
240 PRINT "_____________________________________________________ "
250 PRINT "  | ГРАНИЦЫ ИНТЕРВАЛА |  | ЧАСТОТА |  | ЦЕНТР | "
260 PRINT : K=L
270 FOR J=0 TO NC-1
280 WG(J)=K+Z2
290 PRINT ;K;" - "; WG(J); TAB(30);F(J); TAB(40);L+Z2*(J+.5):
K=K+Z2
290 NEXT J
300 STOP
Ok
```

Результаты работы программного модуля для файла с результатами измерения гранулометрического состава:

```
МИНИМАЛЬНОЕ ЗНАЧЕНИЕ  .01
 МАКСИМАЛЬНОЕ ЗНАЧЕНИЕ  1.4
 КОЛИЧЕСТВО ЭЛЕМЕНТОВ N= 252
ДЛИНА ИН-Л   А ПО СТРЕДЖЕРСУ: .1571285
ЧИСЛО ИНТЕРВАЛОВ NC= 9
НИЖНЯЯ ГРАНИЦА КЛАССОВ=L= .0099
ВЕРХНЯЯ ГРАНИЦА КЛАССОВ=H= 1.424057

  | ГРАНИЦЫ ИНТЕРВАЛА |  | ЧАСТОТА |  | ЦЕНТР |

 .0099  -  .1670286          196      8.846428E-02
 .1670286  -  .3241571       34       .2455928
 .3241571  -  .4812857       7        .4027214
 .4812857  -  .6384141       6        .5598499
 .6384141  -  .7955427       5        .7169785
 .7955427  -  .9526713       2        .8741069
 .9526713  -  1.1098         0        1.031235
 1.1098  -  1.266928         1        1.188364
 1.266928  -  1.42405        1        1.345493
Break in 495
```

Ok

По результатам анализа гранулометрического состава в среде Excel построена гистограмма эмпирического распределения (рис. 2).

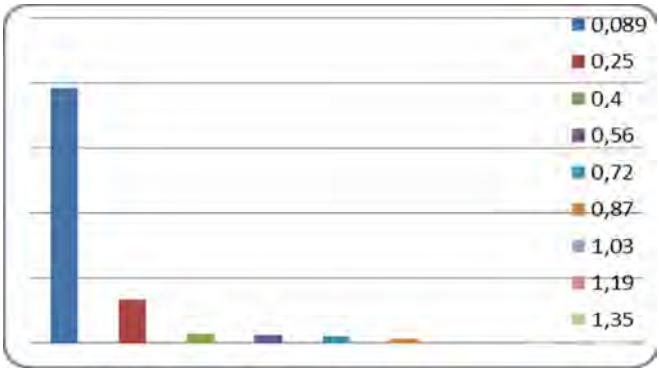


Рис.2. - Гистограмма эмпирического распределения кусков взорванной горной массы

Знание распределения кусков породы по фракциям при взрывах необходимо для решения многих прикладных задач и, в частности, для управления степенью дробления горной породы. В нашем случае, обоснование типа распределения связано с выявлением кусков, которые с наибольшей вероятностью образуются при взрыве и соответственно создающих потенциальную опасность разлета.

УДК 66.092.094.25.097; 66.092-977

КАТАЛИТИЧЕСКАЯ ПЕРЕРАБОТКА ТОРФА ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ ЖИДКОГО УГЛЕВОДОРОДНОГО ТОПЛИВА

Степачёва А.А., Дожделев А.М.

Тверской государственный технический университет, г. Тверь, Россия

Проведена оценка влияния температуры пиролиза торфа на выход фракции жидких продуктов. Для повышения качества жидких продуктов пиролиза торфа проведена их каталитиче-

ская модификация с использованием сверхкритических технологий. Исследовано влияние растворителя на процесс модификации. На основании полученных данных разработана принципиальная технологическая схема получения жидкого углеводородного топлива из торфа верхового типа.

В условиях увеличения спроса на жидкое моторное топливо и сокращения ископаемых источников энергии использование возобновляемого или частично возобновляемого сырья, к которому относится торф, вызывает интерес ученых и инженеров. Одним из перспективных методов переработки торфа с целью получения жидкого топлива является его пиролиз [1]. В настоящее время наиболее изученным и технологически разработанным является процесс высокотемпературного пиролиза торфа, который проводится при температуре 800-1000 °С. Данная технология направлена, в основном, на получение газообразных продуктов, состав которых представлен оксидами углерода, водородом и небольшим количеством легких углеводородов.

Помимо горючего газа, процесс пиролиза торфа позволяет получать твердый углеродный остаток и жидкие продукты, представленные торфяными смолами и надсмольной водой. Жидкие продукты пиролиза (или так называемая био-нефть) содержат большое количество фенольных соединений, восков, парафинов, жирных кислот, спиртов, масел [2]. Торфяные смолы, выход которых может достигать 70%, образуются в температурном диапазоне 180-350 ºС. При повышенных температурах часто наблюдается деструкция смол и снижение их выхода [3]. Поэтому с целью увеличения выхода жидкой фракции продуктов пиролиза необходимо тщательное изучение и подбор условий пиролиза торфа.

Производство жидкого топлива и химикатов, а также выработка тепла и энергии являются основными направлениями использования био-нефти, получаемой в результате пиролиза. Основными преимуществами, связанными с использованием био-нефти в качестве жидкого топлива, являются углероднейтральность, низкое содержание серы, простота транспортировки и хранения [2, 4].

Однако, поскольку био-нефть представлена, в основном, кислородсодержащими соединениями, образующимися при деполимеризации лигнина, высокое содержание кислорода и высокая кислотность приводят к таким недостаткам, как низкая стабильность при хранении, низкая теплотворная способность, высокая вязкость и низкая смазывающая способность. Из-за этого био-нефть нуждается в модернизации за счет снижения концентрации кислородных соединений [4, 5].

Модернизация био-нефти может быть осуществлена гидродеоксигенированием/гидрированием в присутствии катализаторов на основе переходных и благородных металлов. Гидродеоксигенирование считается наиболее оптимальным способом модернизации био-нефти [6-9]. В связи с этим, изучение процесса деоксигенирования соединений био-нефти, подбор условий и разработка новых катализаторов является одной из наиболее актуальных задач.

В данной работе было проведено экспериментальное изучение процесса низкотемпературного пиролиза торфа с целью получения высокого выхода жидких продуктов и их последующей модификации с целью повышения качества жидкого топлива.

Для экспериментального определения состава и выхода продуктов пиролиза был взят торф сфагновый магелланикум Оршинского месторождения (Тверская область). Магелланикум-торф – торф верхового типа, характеризуется низкой степенью разложения (15 ± 9 %), низкой зольностью (2,1 ± 1 %), высокой естественной влажностью (90-92 %), высокой кислотностью (3,1 ± 0,3).

Состав торфа оказывает значительное влияние на выход и состав продуктов пиролиза, поэтому предварительно была проведена оценка группового состава используемого сырья. Определение группового состава органического вещества торфа проводилось согласно методикам, представленным в [10]. Полученные результаты определений представлены в таблице 1.

Таблица 1.

Групповой состав органической части торфа

	Битумы	Редуцирующие вещества	Легкогидролизуемые и водорастворимые вещества	Гуминовые кислоты	Фульвовые кислоты	Лигнин	Целлюлоза
Содержание, %	3,4	3,47	43,1	12,9	18,6	8,5	11,7

Для экспериментального исследования процесса пиролиза торфа использовалась лабораторная установка, состоящая из стального реактора стационарного типа, электрической печи, пробоотборника

для отбора газообразных продуктов, каплеуловителя для сбора нелетучих жидких продуктов.

Исследование процесса пиролиза торфа проводилось в интервале температур 350-500°С. Скорость подачи газа-носителя (воздух) варьировалась в интервале от 0.6 до 0.9 л/мин. Масса навески торфа составляла 2 г. В качестве катализаторов процесса пиролиза использовались магнитные частицы феррита кобальта (CoFe2O4). Массовое содержание катализатора в составе пробы 2 масс. %. Для увеличения выхода жидкой фракции торф, смешанный с катализатором, подвергался нагреванию до рабочей температуры. Предварительный процесс бертинирования позволяет перевести большую часть кислорода в соединения жидкой фракции, снижая выход кокса.

Было проведено исследование влияния температуры пиролиза торфа на выход и состав жидкой фракции. Результаты исследований представлены на рисунках 1 и 2. Хорошо видно, что увеличение температуры приводит к увеличению выхода жидкой фракции продуктов пиролиза, максимум которой (65 масс. %) приходится на 450 °С. Состав жидкой фракции представлен, в основном кислородсодержащими соединениями (фенолами и карбоновыми кислотами), содержание которых незначительно снижается с ростом температуры. Высокое содержание кислородсодержащих соединений в жидких продуктах пиролиза обусловлено высоким содержанием полисахаридов и гуминовых кислот, а также лигнина (см. Таблицу 1).

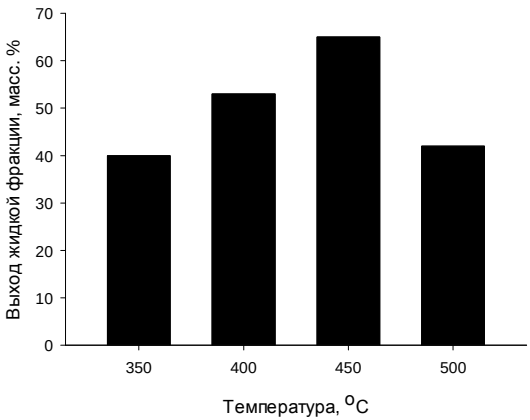


Рис. 1. Влияние температуры на выход жидкой фракции пиролиза

С целью снижения содержания кислородсодержащих соединений и полиароматических веществ был проведен процесс их каталити-

ческой модификации с использованием сверхкритических растворителей. Процесс модификации проводился в стальном шестиячеечном реакторе высокого давления. В качестве катализатора использовался никель, нанесенный на полимерный носитель – сверхсшитый полистирол – гидротермальным методом [11]. В качестве растворителей использовались сверхкритический метанол, гексан, пропанол-2. Данные растворители в сверхкритических условиях способны служить донорами атомарного водорода, что поволяет проводить процесс модификации (деоксигенирования) в инертной среде. Процесс модификации проводился при следующих условиях: температура 270 °С, давление азота 3 МПа, общее давление после нагрева составляло 9-11 МПа в зависимости от выбранного растворителя. Результаты модификации жидких продуктов пиролиза представлены на рисунке 3.

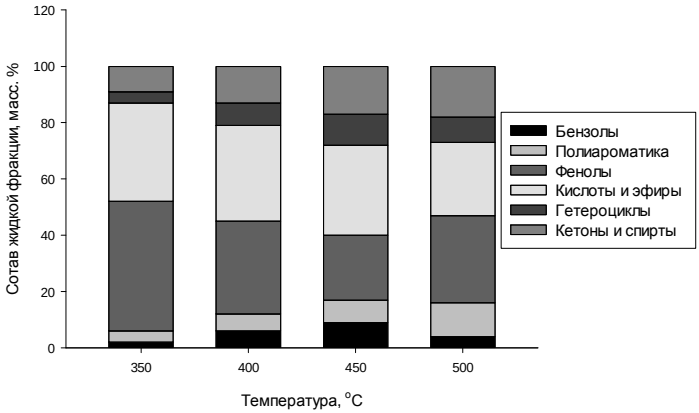


Рис. 2. Влияние температуры на состав жидких продуктов пиролиза

Наибольшая степень извлечения кислорода (97%) наблюдается при использовании в качестве растворителя пропанола-2, при этом был получен максимальный выход моноароматических и алифатических углеводородов. Гексан позволяет удалить 77% кислорода, а метанол – 88%. Таким образом, наиболее оптимальным растворителем для проведения процесса модификации был выбран сверхкритический пропанол-2.

На основании полученных экспериментальных данных была разработана принципиальная технологическая схема получения жидкого углеводородного топлива из торфа верхового типа, представленная на рисунке 4.

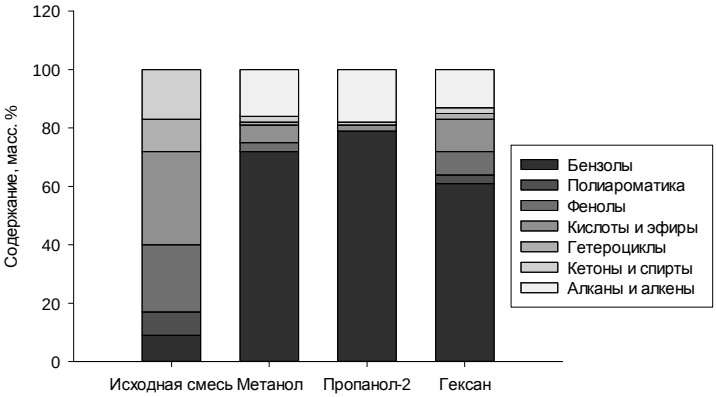


Рис. 3. Состав продуктов модификации жидкой фракции пиролиза торфа

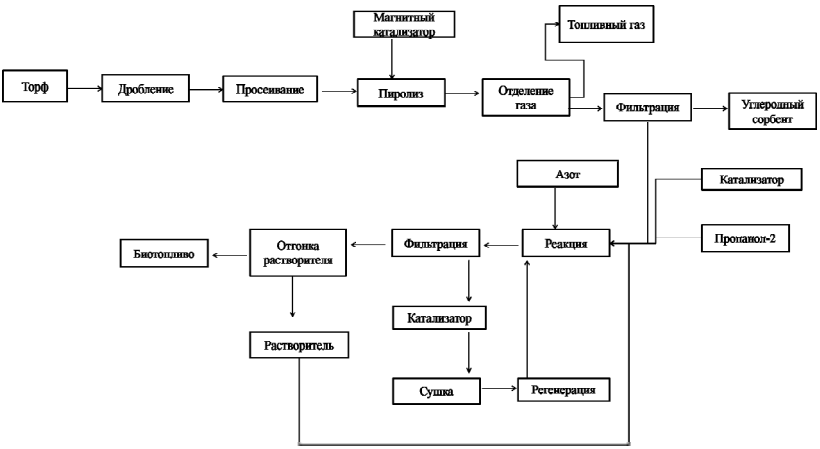


Рис. 4. Принципиальная схема переработки торфа в жидкое углеводородное топливо

Торф поступает на роторно-дисковый измельчитель, где происходит измельчение до размера частиц 0,25-3 мм, после чего подается на сито, где происходит фракции частиц с размером более 10 мм. Сырье с сита поступает в трубчатый реактор пиролиза, куда поступает магнитный катализатор. Процесс пиролиза протекает при 450 ºС в те-

чение 90 минут. Реакционная масса из реактора поступает в сепаратор для отделения газа. Оставшаяся после отделения газа суспензия поступает на нутч-фильтр для разделения твердой и жидкой фазы. После нутч-фильтра твердый остаток поступает в сушилку и затем разделяется с помощью магнита. Отделенный жидкий продукт пиролиза поступает в реактор смешения, в который подаются катализатор модификации, и растворитель – пропанол-2. В реактор подается азот под давлением 3 МПа. Процесс модификации проводится при температуре 270 ºС в течение 180 минут. Реакционная смесь после сброса давления подается на нутч-фильтр, где происходит процесс отделения катализатора, который затем отправляется в сушилку и подается в трубчатый реактор на регенерацию. Регенерированный катализатор повторно используется в модификации. Жидкая фракция поступает в перегоночный аппарат для отделения растворителя, который повторно используется в реакции модификации. Отделенный продукт отправляется на реализацию

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского Фонда Фундаментальных Исследований (грант 20-38-70052).

Библиографический список:

1. Liu, C. Catalytic fast pyrolysis of lignocellulosic biomass / C. Liu, H. Wang, A.M. Karim, J. Sun, Y. Wang // Chemical Society Reviews. – 2014. - № 43 – T. 22. – C. 7594–7623.

2. Zhang, Q. Review of biomass pyrolysis oil properties and upgrading research / Q. Zhang, J. Chang, T. Wang, Y. Xu // Energy Conversion and Management. – 2007. - № 48. – T. 1. – C. 87–92.

3. Fuchsman, C.H. Peat: Industrial Chemistry and Technology // Academic press. - New York, 1980. – 192 c.

4. Ko, C.H. Upgrading of biofuel by the catalytic deoxygenation of biomass / C.H. Ko, S.H. Park, J.K. Jeon, D.J. Suh, K.E. Jeong, Y.K. Park // Korean Journal of Chemical Engineering. - 2012. - № 29. – T. 12. - C. 1657–1665.

5. Abnisa, F. Recovery of liquid fuel from the aqueous phase of pyrolysis oil using catalytic conversion / F. Abnisa, W.M.A. Wan Daud, A. Arami-Niya, B.S. Ali, J.N. Sahu // Energy and Fuels. - 2014. - № 28 – T. 5. - C. 3074–3085.

6. Gollakota, A.R.K. A review on the upgrading techniques of pyrolysis oil / A.R.K. Gollakota, M. Reddy, M.D. Subramanyam, N. Kishore // Renewable and Sustainable Energy Reviews. – 2016. - № 58. – C. 1543–1568.

7. Mortensen, P.M. A review of catalytic upgrading of bio-oil to engine fuels / P.M. Mortensen, J.D. Grunwaldt, P.A. Jensen, K.G. Knudsen, A.D. Jensen // Applied Catalysis A: General. – 2011. - № 407 – T. 1–2. – C. 1–19.

8. Gracà, I. Bio-oils upgrading for second generation biofuels / I. Gracà, J.M. Lopes, H.S. Cerqueira, M.F. Ribeiro // Industrial Engineering and Chemistry Research. – 2013. - № 52 – T. 1. – C. 275–287.

9. Xiu, S., Shahbazi, A. Bio-oil production and upgrading research: a review // Renewable and Sustainable Energy Reviews. – 2012. - № 16 – T. 7. – C. 4406–4414.

10. Базин, Е.Т. Технический анализ торфа / Е.Т. Базин, В.Д. Копенкин, В.И. Косов, С.С. Корчунов, В.М. Петрович // Недра - Москва, 1992. – 431 с.

11. Stepacheva, A.A. Ni catalyst synthesized by hydrothermal deposition on the polymeric matrix in the supercritical deoxygenation of fatty acids / A.A. Stepacheva, M.E. Markova, A.V. Bykov, A.I. Sidorov, M.G. Sulman, V.G. Matveeva, E.M. Sulman // Reaction Kinetics, Mechanisms and Catalysis. – 2018. – Т. 125. – С. 213–226.

УДК 622.23.05:622.7

АНАЛИЗ ПОВРЕЖДАЮЩИХ ВОЗДЕЙСТВИЙ НА РЕЖУЩИХ ЭЛЕМЕНТАХ РАБОЧЕГО ОРГАНА ТОРФЯНОГО ФРЕЗЕРУЮЩЕГО АГРЕГАТА

Фомин К.В., Крылов К.С., Харламов В.Е., Морозихин Н.Н.
Тверской государственный технический университет, г.Тверь, Россия

При эксплуатации на ножи рабочих органов фрезерного типа действуют нагрузки высокой интенсивности, которые носят периодический, случайный характер, так же они подвергаются абразивному воздействию. Это вызывает отказы, связанные с износом, накоплением повреждений усталостного характера, внезапным разрушением, или совместным действием этих факторов. Представлены модели повреждающих воздействий на режущих элементах фрезы учетом ее конструкции, кинематических параметров, режимов и условий работы.

В процессе эксплуатации на режущие элементы рабочих органов торфяных машин действуют значительные нагрузки, которые носят периодический, случайный характер [1-4]. При этом, наличие древесных включений в залежи оказывает существенное влияние на надежность торфяных фрезерующих агрегатов [1]. Во время выполнения технологической операции возможны как постепенные отказы, связанные с накоплением усталостных повреждений и износом ножей, так и внезапные поломки ножа, вызванные превышением допускаемой нагрузки [5, 6].

В настоящее время расчет режущих элементов торфяных фрезерующих агрегатов на прочность производится при помощи статических методов расчетов по величине максимальной нагрузки с учетом коэффициента запаса. Опыт применения показал их неэффективность, так как они не учитывают особенности формирования нагрузок на фрезе. Решение этой актуальной задачи зависит от точности исходной

информации относительно силовых повреждающих факторов, используемой при прочностном расчете.

Учитывая опыт анализа процессов износа и прочностных расчетов резцов на рабочих органах фрезерного типа в горных отраслях промышленности к основным повреждающим воздействиям можно отнести изгибающие и сжимающие силы [5, 6].

При взаимодействии режущего элемента с торфом необходимо учитывать следующие нагрузки (рис. 1): P_{tT} – сила, создающая изгибающий момент, равная по величине окружной силе; P_{zT} – сила, создающая изгибающий момент, равная осевой, вектор которой параллелен оси вращения; P_{rT} является как изгибающей, так и сжимающей силой, равной по величине радиальной.

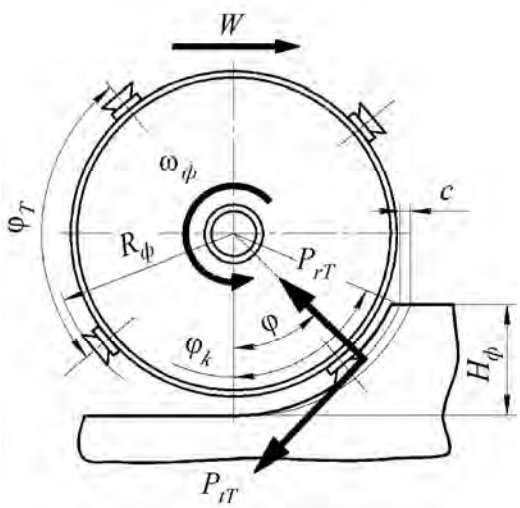


Рис.1. Схема взаимодействия режущего элемента с торфом

Повреждающие воздействия (рис. 2) представляют собой импульсы со случайными параметрами [1, 4]:

$$P_{tT}(t) = \frac{1}{R_{ф}} \sum_{n=-\infty}^{\infty} M_T(t - t_n; P_{Tn});$$

$$P_{zT}(t) = \frac{k_{HT}}{R_{ф}} \sum_{n=-\infty}^{\infty} M_T(t - t_n; P_{Tn});$$

$$P_{rT}\left(t\right)=\frac{c_T}{R_\phi}\sum_{n=-\infty}^{\infty} M_T\left(t-t_n;P_{Tn}\right),$$

где R_ϕ – радиус фрезы; k_{HT}, – соотношение между силами $P_{tT}\left(t\right)$ и $P_{zT}\left(t\right)$; c_T, – соотношения между силами $P_{tT}\left(t\right)$ и $P_{rT}\left(t\right)$ [7]; $M_T\left(t;P_{Tn}\right)$ – момент сопротивления на ноже в пределах угла контакта с залежью [3, 4]; t_n – время, прошедшее от начальной точки отсчета до возникновения *n*-го импульса (импульсы повторяются через один оборот фрезы); P_{Tn} – случайные параметры, определяющие величину момента сопротивления.

Случайные параметры импульсов и их вероятностные характеристики определяются изменчивостью физико-механических характеристик торфа и глубины фрезерования по ходу движения агрегата и в направлении перпендикулярном ему, а так же переменным характером угловой скорости рабочего органа. Это вызывает случайный характер изменению длительности $t=\varphi_k/\omega_\phi$ и периода повторности импульсов $T=2\pi/\omega_\phi$, где ω_ϕ – средняя угловая скорость фрезы в течение одного оборота.

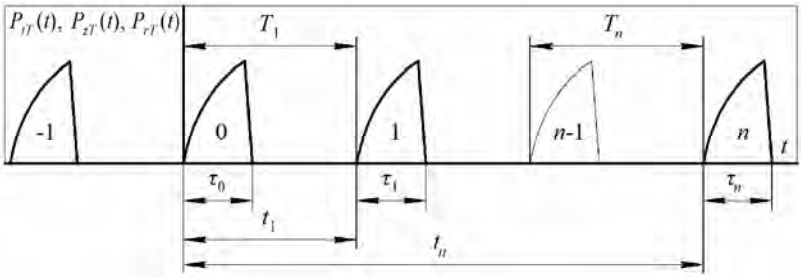


Рис.2. Модель повреждающих воздействий на ноже при фрезеровании торфа

Момент сопротивления на ноже в пределах угла контакта с залежью равен (рис. 2):

$$M_T\left(t;P_{Tn}\right)=R_\phi S\left(\omega_\phi t\right)\left[t\frac{C}{d^{0,4}}+\frac{\gamma_T V_p^2}{2\times10^3}\right] \quad \text{при} \quad \varphi \le \varphi_k;$$

$$M_T\left(t;P_{Tn}\right)=0 \quad \text{при} \quad \varphi > \varphi_k,$$

где φ – угол поворота фрезы; $S(\omega_{ф} t)$ – изменение площади стружки (в сечении перпендикулярном траектории движения ножа) в зависимости от угла поворота фрезы; τ – предельное напряжение сдвига торфа [7]; C – коэффициент, определяемый типом режущего элемента [7]; δ – средняя толщина стружки [7]; γ_T – плотность торфа; V_p – скорость резания; φ_k – угол контакта ножа с залежью [7].

При фрезеровании древесных включений (рис.3) возникают следующие повреждающие факторы: окружная P_{td}, осевая P_{zd} и радиальная P_{rd} силы, создающие изгибающие моменты. Эти нагрузки имеют импульсный характер (рис. 4).

Величина сил зависит от физико-механических свойств древесины, формы, размеров и глубины залегания включений [1].

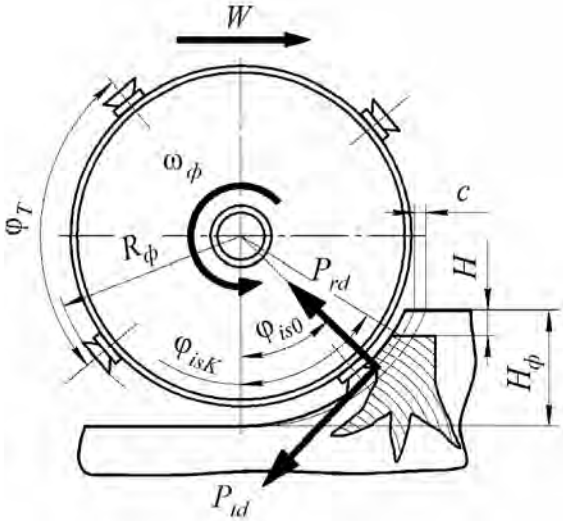


Рис.3. Схема взаимодействия ножа с древесным включением

Для сил, действующих на нож, можно записать (рис. 4):

$$P_{td}(t) = \frac{1}{R_{ф}} \sum_{i=1}^{I} \sum_{n=-\infty}^{\infty} \sum_{s=1}^{S} M_{is}(t - t_{ins}; P_{ins});$$

$$P_{zd}(t) = \frac{k_{Hd}}{R_{ф}} \sum_{i=1}^{I} \sum_{n=-\infty}^{\infty} \sum_{s=1}^{S} M_{is}(t - t_{ins}; P_{ins});$$

$$P_{rd}(t)=\frac{c_d}{R_{\phi}}\sum_{i=1}^{I}\sum_{n=-\infty}^{\infty}\sum_{s=1}^{S}M_{is}\left(t-t_{ins};P_{ins}\right),$$

где k_{Hd} – соотношение между силами $P_{td}(t)$ и $P_{zd}(t)$ при резании древесного включения; c_d – соотношение между силами $P_{td}(t)$ и $P_{rd}(t)$; I – число форм включений; S – число актов взаимодействия ножа с включением; P_{ins}, $M_{is}(t)$, t_{ins} – соответственно, параметры импульсов, момент сопротивления и время между началом отсчета и s-м импульсом, при фрезеровании n-го включения i-й формы.

При взаимодействии с древесным включением импульсы нагрузки на резце повторяются через один оборот фрезы.

Число актов взаимодействия S случайно и зависит от размеров d, формы и глубины залегания древесного включения H. Параметры импульсов нагружения P_{ins} зависят от прочностных свойств древесины, ее породы и направления резания.

Функция $M_{is}(t)$ зависит от угла поворота фрезы:

$$M_{is}(t)=0 \quad \text{при} \quad 0\le\varphi\le\varphi_{is0}(d;H);$$

$$M_{is}(t)=R_{\phi}S_{is}\left(\omega_{is}t;d;H\right)\left(k_d+\frac{\gamma_d V_p^2}{2\times10^3}\sin\omega_{is}t\right);$$

$$M_{is}(t)=0 \quad \text{при} \quad \varphi_{isK}(d;H)\le\varphi\le\varphi_k,$$

где $S_{is}\left(\omega_{is}t;d;H\right)$ – переменная площадь среза при s-м акте резания древесного включения i-ой формы, размерами d и глубиной залегания H; k_d, γ_d – соответственно, коэффициент резания и плотность древесины [7]; V_p – скорость резания; $\varphi_{is0}(d;H)$ – угол от начала взаимодействия ножа с залежью до момента резания пня при s-м акте (рис.3); $\varphi_{isK}(d;H)$ – угол выхода резца из контакта с включением (рис.3); ω_{is} – средняя угловая скорость фрезы в пределах длительности s-го акта взаимодействия.

Суммарные значения усилий, характеризующие повреждающие воздействия на ноже:

$$P_t(t)=P_{tT}(t)+P_{td}(t);$$

$$P_z(t)=P_{zT}(t)+P_{zd}(t);$$

$$P_r(t)=P_{rT}(t)+P_{rd}(t).$$

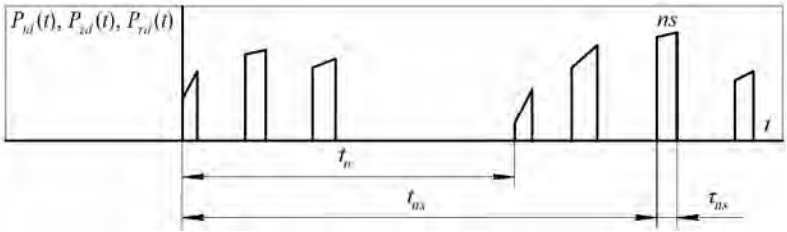


Рис.4. Модель повреждающих воздействий на ноже при фрезеровании древесных включений

Предложенные модели повреждающих силовых воздействий на резцах фрезы при выполнении технологической операции с учетом ее конструкции, кинематических параметров, режимов и условий работы позволяют разработать методики их расчета на прочность с использованием подходов, разработанных в [5, 6].

Библиографический список:

Самсонов Л.Н., Фомин К. В. Элементы статистической динамики торфяных фрезерующих агрегатов. –Тверь: Тверской государственный технический университет, 2005. – 168 с.

Самсонов Л.Н., Фомин К.В. Определение вероятностных характеристик момента нагружения на рабочем органе торфяного фрезерующего агрегата//Известия высших учебных заведений. Горный журнал. – 2003. –№3. –С. 106-112.

Фомин К.В. Методика оценки спектральной плотности момента сопротивления на рабочем органе торфяного фрезерующего агрегата //Записки Горного института. –2020. –Т. 241. –С. 58-67. DOI: 10.31897/ PMI.2020.1.58

Фомин, К.В., Рахутин М.Г. Моделирование повреждающих воздействий на режущих элементах рабочего органа фрезерующего агрегата при взаимодействии с торфом//Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2019. –№ S39. –С. 36-46.

Позин Е.З., Меламед В. З., Тон В. В. Разрушение углей выемочными машинами. –М.: Недра, 1984. –288 с.

Позин Е. З. Методика расчета резцов на прочность и долговечность. – М. : ИГД им. А. А. Скочинского, 1986. –61 с.

Самсонов Л.Н. Фрезерование торфяной залежи. –М.: Недра, 1985. –211 с.

УДК 622.23.05:622.7

РАСЧЕТ ВЕРОЯТНОСТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ПОВРЕЖДАЮЩИХ ВОЗДЕЙСТВИЙ НА РЕЗЦАХ РАБОЧЕГО ОРГАНА ТОРФЯНОГО ФРЕЗЕРУЮЩЕГО АГРЕГАТА

Фомин К.В., Крылов К.С., Харламов В.Е., Морозихин Н.Н.
Тверской государственный технический университет, г.Тверь, Россия

Представлены зависимости, дающие возможность на стадии проектирования определять вероятностные характеристики повреждающих воздействий на режущих элементах с учетом конструкции фрезы, ее режимов и условий работы. Предложенный подход позволяет на основании вероятностных методов производить расчет ножей на прочность и долговечность, применяя как аналитические подходы, так и метод конечных элементов с использованием специализированного программного обеспечения.

Состояние ножей на рабочих органах во многом определяет эффективность процесса фрезерования [1, 2]. При эксплуатации возможны их отказы, связанные с износом, накоплением повреждений усталостного характера, внезапным разрушением, или совместным действием этих факторов [1, 5].

В процессе эксплуатации на режущие элементы действуют значительные нагрузки, которые носят периодический, случайный характер [4]. При этом наличие древесных включений в залежи оказывает существенное влияние на надежность торфяных фрезерующих агрегатов [2, 3].

Учитывая опыт анализа процессов износа и прочностных расчетов резцов на рабочих органах фрезерного типа в горных отраслях промышленности к основным повреждающим воздействиям можно отнести изгибающие и сжимающие силы [5, 6].

При выполнении технологической операции на режущем элементе фрезы при взаимодействии с торфом возникают окружная $P_{tT}(t)$ и осевая $P_{zT}(t)$ силы, создающие изгибающий момент и радиальная сила $P_{rT}(t)$, являющаяся, как изгибающей, так и сжимающей. Так же необходимо знать силы, действующие при фрезеровании древесных включений: окружную $P_{td}(t)$, осевую $P_{zd}(t)$ и радиальную $P_{rd}(t)$.

Силовые факторы, определяющие повреждающие воздействия на режущем элементе являются случайными функциями, поэтому для их анализа необходимо применение аппарата теории вероятности [2, 7].

Учитывая, что нагрузки формируются в виде импульсов со случайными параметрами [2, 4] для расчета их спектральных плотностей может быть использовано выражение [7]:

$$S(\omega) = \lim_{N \to \infty} \frac{2}{(2N+1)T} m_1 \left\{ \left| Z^{(k)}(j\omega) \right|^2 \right\} - 2\pi m^2 \delta(\omega), \qquad (1)$$

где N – число импульсов; T – период повторности импульсов; $m_1\{\ \}$ – знак усреднения; $Z^k(j\omega)$ – спектр реализации случайной функции; m– среднее значение функции; $\delta(\omega)$ – дельта-функция [7].

Дисперсия случайного процесса [7]:

$$D = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} S(\omega)\, d\omega.$$

На основании (1) могут быть получены выражения для расчета спектральных плотностей силовых факторов, характеризующих повреждающие воздействия на режущем элементе рабочего органа при фрезеровании торфа:

$$S_{tT}(\omega) = \frac{1}{R_\phi^2} \bar{F}_{MT}(\omega) - 2\pi m_{tT}^2 \delta(\omega);$$

$$S_{zT}(\omega) = \frac{k_{HT}^2}{R_\phi^2} \bar{F}_{MT}(\omega) - 2\pi m_{zT}^2 \delta(\omega);$$

$$S_{rT}(\omega) = \frac{c_T^2}{R_\phi^2} \bar{F}_{MT}(\omega) - 2\pi m_{rT}^2 \delta(\omega),$$

где R_ϕ – радиус фрезы; k_{HT} – соотношения между $P_{tT}(t)$ и $P_{zT}(t)$ при взаимодействии с торфом; c_T – соотношения между $P_{tT}(t)$ и $P_{rT}(t)$ [1]; $\bar{F}_{MT}(\omega)$ – энергетический спектр момента на фрезе при взаимодействии с торфом; m_{tT}, m_{zT}, m_{rT} – соответственно, средние значения сил $P_{tT}(t)$, $P_{zT}(t)$, $P_{rT}(t)$.

$\bar{F}_{MT}(\omega)$ может быть определен на основании подходов, представленных в [2, 3, 8]:

$$\bar{F}_M(\omega)=\frac{2}{T}\left[\frac{1}{2}\sum_{q=1}^{Q}\Psi_{1Mq}(\omega)D_q-\frac{1}{2}\sum_{q=1}^{Q}\Psi_{2Mq}(\omega)D_q+2\sum_{q<s}\sum_{p=1}^{\infty}\Psi_{2Mqsp}(\omega)K_{qsp}+\right.$$

$$\left.+\sum_{r=-\infty}^{\infty}\left(F_{M1}(r;m_q)+\frac{1}{2}\sum_{q=1}^{Q}\left[\frac{\partial^2F_{M2}(r;P)}{\partial P_q^2}\right]_m D_q\frac{\partial\omega}{\partial r^2}W\left(\frac{\omega}{r}\right)\right)\right],$$

где

$$\Psi_{1Mq}(\omega)=\int_{-\infty}^{\infty}\left[\frac{\partial^2F_{M1}(\omega;\omega_\phi;P)}{\partial P_q^2}\right]_m W(\omega_\phi)d\omega_\phi\,; \qquad (2)$$

$$\Psi_{2Mq}(\omega)=\int_{-\infty}^{\infty}\left[\frac{\partial^2F_{M2}(\omega;\omega_\phi;P)}{\partial P_q^2}\right]_m W(\omega_\phi)d\omega_\phi\,; \qquad (3)$$

$$\Psi_{2Mqsp}(\omega)=\int_{-\infty}^{\infty}\left[\frac{\partial^2F_{M2}(\omega;\omega_\phi;P)}{\partial P_q\partial P_s}\right]_m \cos\left(\frac{\omega}{\omega_\phi}2\pi p\right)W(\omega_\phi)d\omega_\phi\,, \qquad (4)$$

где T – период повторности импульсов на ноже $T=2\pi/\omega_\phi$; ω_ϕ – средняя угловая скорость в течение одного оборот фрезы; Q – число параметров; D_q, K_{qsp} – соответственно, дисперсии и коэффициенты корреляции и взаимной корреляции параметров; $W(\omega_\phi)$ – плотность распределения угловой скорости фрезы.

В (2-4) введены обозначения

$$F_{M1}(\omega;\omega_\phi;P)=\left|S_{MT}(j\omega;\omega_\phi;P)\right|^2,$$

$$F_{M2}(\omega;\omega_\phi;P)=S_{MT}(j\omega;\omega_\phi;P_q)S^*_{MT}(j\omega;\omega_\phi;P_s).$$

где знаком * отмечена комплексно-сопряженная величина;

$$S_{MT}(j\omega;\omega_\phi;P)=\int_0^{j_k/\omega_\phi}M_T(\omega_\phi t;P)\exp(-j\omega t)\,dt\,,$$

где $M_T(t;P)$ – момент сопротивления в пределах угла контакта резца с залежью; P – случайные параметры импульса.

Случайными параметрами являются: предельное напряжение сдвига торфа τ, его плотность γ_T, глубина фрезерования H_ϕ, которая определяет угол контакта ножа с залежью, угловая скорость вращения фрезы.

Процесс взаимодействия с древесными включениями отличается большим разнообразием и определяется расположением их по от-

ношению к рабочему органу, физико-механическими свойствами древесины, конструкцией фрезы, режимами работы агрегата и многими другими факторами.

Число актов взаимодействия с одиночным древесным включением случайно и зависит от размеров *d*, формы и глубины залегания древесного включения *H*. При этом период повторности импульсов равен $2\pi/\omega_{ф}$.

Использование (1) позволяет получить так же выражения для расчета спектральных плотностей повреждающих факторов на режущих элементах при фрезеровании древесных включений:

$$S_{td}(\omega)=\frac{1}{R_{ф}^{2}}S_{Md}(\omega);\ S_{zd}(\omega)=\frac{k_{Hd}^{2}}{R_{ф}^{2}}S_{Md}(\omega);\ S_{rd}(\omega)=\frac{\varsigma_{d}^{2}}{R_{ф}^{2}}S_{Md}(\omega),$$

где; k_{Hd} – соотношения между $P_{td}(t)$ и $P_{zd}(t)$ силами при фрезеровании древесных включений; ς_{d} – соотношение между $P_{td}(t)$ и $P_{rd}(t)$ [1].

Для функции $S_{Md}(\omega)$, используя подходы, предложенные в [2, 3, 8], учитывая экспоненциальный закон распределения расстояний между древесными включениями [2] получим:

$$S_{Md}(\omega)=2\lambda\sum_{i=1}^{I}P_{i}\int_{0}^{\infty}\int_{0}^{\infty}W(H_{i})W(d_{i})\sum_{\delta=0}^{\infty}P(\varsigma_{idH}=\delta)\times$$

$$\times\sum_{s_{idH}=1}^{\delta}\sum_{z_{idH}=1}^{\delta}S_{Md}(\omega;\tau_{is0dH};\tau_{isKdH})S_{Md}^{*}(\omega;\tau_{iz0dH};\tau_{izKdH})\times$$

$$\times\exp\left[-j\omega(t_{isdH}-t_{izdH})\right]dH_{i}dd_{i},\quad \text{при}\quad \omega\neq 0,$$

где λ – среднее число включений фрезеруемых в единицу времени [2, 3]; P_i – вероятность фрезерования пня *i*-й формы; *I* – количество форм древесных включений [2, 3]; $W(H_i)$, $W(d_i)$ – законы распределения глубин залегания включений *i*-ой формы и их размеров; $P(\varsigma_{idH}=\delta)$ – вероятность возникновения δ импульсов при резании древесного включения размером *d*, глубиной залегания *H* при *i*-х условиях взаимодействия, δ = 0, 1, 2…; $t_{isdH}=(s-1)2\pi/\omega_{is}(d;H)$ – время между началом фрезерования включения *i*-й формы размером *d*, глубиной залегания *H* и *s*-м актом взаимодействия ножа;

$$S_{Md}(\omega;\tau_{is0dH};\tau_{isKdH})=\int_{\tau_{is0dH}}^{\tau_{isKdH}}M_{is}(t;P_{is})\exp(-j\omega t)dt,$$

где P_{is}, $M_{is}(t)$ – соответственно, параметры *s*-го импульса и момент сопротивления, при взаимодействии с включением *i*-й формы;

$$\tau_{is0dH} = \varphi_{is0}(d;H)/\omega_{is}(d;H);$$

$$\tau_{isKdH} = \varphi_{isK}(d;H)/\omega_{is}(d;H),$$

$\varphi_{is0}(d;H)$ – угол от начала взаимодействия ножа с залежью до момента резания пня при *s*-м акте; $\varphi_{isK}(d;H)$ – угол выхода резца из контакта с включением; $\omega_{is}(d;H)$ – средняя угловая скорость фрезы в пределах длительности *s*-го акта взаимодействия.

При $\omega = 0$ значение $S_{Md}(\omega)$ равно:

$$S_{Md}(\omega) = 2\pi m_1^2\{M_d(t)\}\delta(\omega),$$

где $m_1\{M_d(t)\}$ – математическое ожидание момента на фрезе при фрезеровании древесного включения.

Спектральные плотности повреждающих воздействий с учетом взаимодействия фрезы с торфом и древесными включениями равны:

$$S_t(\omega) = S_{tT}(\omega) + S_{td}(\omega);$$

$$S_z(\omega) = S_{zT}(\omega) + S_{zd}(\omega);$$

$$S_r(\omega) = S_{rT}(\omega) + S_{rd}(\omega).$$

В статье представлены зависимости для расчета вероятностных характеристик повреждающих воздействий на режущих элементах рабочего органа. Они учитывают случайные характеристики условий эксплуатации фрезы, ее конструкцию и режимы работы. Дисперсии и спектральные плотности сил действующих на резец являются исходной информацией при расчете их на прочность и долговечность [5-6].

Библиографический список:

Самсонов Л.Н. Фрезерование торфяной залежи. – М.: Недра, 1985. –211 с.

Самсонов Л.Н., Фомин К. В. Элементы статистической динамики торфяных фрезерующих агрегатов. – Тверь: Тверской государственный технический университет, 2005. – 168 с.

Самсонов Л.Н., Фомин К.В. Определение вероятностных характеристик момента нагружения на рабочем органе торфяного фрезерующего агрегата//Известия высших учебных заведений. Горный журнал. –2003. –№3. – С. 106-112.

Фомин К.В. Методика оценки спектральной плотности момента сопротивления на рабочем органе торфяного фрезерующего агрегата // Записки Горного института. – 2020. – Т. 241. –С. 58-67. DOI: 10.31897/ PMI.2020.1.58

Позин, Е.З., Меламед В. З., Тон В. В. Разрушение углей выемочными машинами. М.: Недра, 1984. 288 с.

Позин, Е. З. Методика расчета резцов на прочность и долговечность. – М.: ИГД, 1986. –61 с.

11.Левин Б. Р. Теоретические основы статистической радиотехники. М.: Радио и связь, 1989. 656 с.

Фомин, К.В., Рахутин М.Г. Моделирование повреждающих воздействий на режущих элементах рабочего органа фрезерующего агрегата при взаимодействии с торфом//Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2019. –№ S39. –С. 36-46.

УДК 553.97.004+552.577

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ ГЕОХИМИЧЕСКОЙ ПОДВИЖНОСТИ МИКРОЭЛЕМЕНТОВ В ТОРФЯНЫХ ЗАЛЕЖАХ

Мокроусова И.В., Лаптева С.Б.
Тверской государственный технический университет, г.Тверь, Россия

В работе количественно оценивается подвижность микроэлементов (меди, цинка и марганца) с геохимических позиций, что позволяет применить эти данные для объяснения процессов аккумуляции и миграции минеральных веществ в торфяных залежах

Для оценки подвижности микроэлементов в торфяных залежах изучались торфяные месторождения верхового и низинного типов Тверской области [1-3]. Определение содержания микроэлементов проводилось по методу Г.Я. Ринькиса [4].

Микроэлементы медь, цинк и марганец характеризуются различной миграционной способностью в ландшафте, коэффициенты их водной миграции соответственно равны $К_{Cu}$ = 0, n, $К_{Zn}$ = n, $К_{Mn}$=0, n-0, 0 n (табл.1) [5].

Медь является подвижной и малоподвижной в окислительной среде и при pH<4,5, марганец и цинк входят в группу легкоподвижных мигрантов. Наиболее благоприятные условия для миграции цинка в природных водах создаются при pH<5,5, марганца – при pH<6. Марганец легко мигрирует в восстановительной обстановке.

Таблица 1

Содержание микроэлементов в поверхностной воде торфяного месторождения и коэффициенты их водной миграции (K_x)

Тип торфяного месторождения	Время и место отбора	pH	Cu, г/л	K_{Cu}	Zn, г/л	K_{Zn}	Mn, г/л	K_{Mn}
Низинный	май, окраина	5,5	19.4	1.6	191.5	7.2	13.1	0.06
	центральная зона	6,0	3.0	1.6	7.7	0.6	53.3	0.2
Верховой	ноябрь, окраина	4,5	19.4	2.5	42.7	3.6	51.4	0.5

Анализ миграционной способности микроэлементов в различных типах торфяных залежей (табл 2, 3) позволяет сказать, что торфяные залежи верхового типа, в целом, обладая низкими показателями pH, представляют благоприятную среду для миграции меди, цинка и марганца, что подтверждается также относительно высокими количествами их водорастворимых форм в воде торфяного месторождения верхового типа по сравнению с водой торфяного месторождения низинного типа.

Значительное содержание подвижных форм цинка (до 60-90%) и марганца (до 90-100% от общего количества) в торфах с высокой степенью разложения (сосновом, сосново-пушицевом) свидетельствует о непрочном закреплении этих элементов органической частью торфа в условиях кислой реакции среды и их высокой геохимической подвижности. Подвижные цинк и марганец в торфяной залежи верхового типа представлены, в основном, обменными формами. Намечается тенденция уменьшения геохимической подвижности меди с увеличением степени разложения торфа, что обусловлено образованием соединений хемосорбционного характера.

Сравнение содержаний микроэлементов в современных растениях-торфообразователях и торфах, образованных из них, позволяет ориентировочно представить относительную картину процессов аккумуляции и выноса элементов при преобразовании торфообразователей в торфяной пласт, а следовательно оценить их относительную подвижность в торфяных залежах (табл. 4).

Из приведенных данных видно, что в процессе торфообразования растения возвращают цинк и марганец, причем в более значительных количествах – марганец. Этому способствует тот факт, что при разложении растений марганец быстро теряет связи с органическим веществом их тканей [6], а его соединения с гумусом непрочны [7].

Таблица 2

Изменение содержания подвижных форм микроэлементов по глубине низинных торфяных залежей (т/м Глухое)

Н, м	Строение залежи	R, %	A, %	pH в вытяжке 1n KCl	Подвижные формы в вытяжке 1 n KCl, % от валового содержания		
					Cu	Zn	Mn
Окраина							
0,10	Древесно-осоковый	45	18,6	6,1	39	81	100
0,25	Древесно-осоковый	45	17,3	6,0	30	100	100
0,50	Древесный	50	14,7	5,9	38	57	73
0,75	Древесный	60	14,9	6,0	23	60	76
1,00	Древесно-осоковый	50	16,2	6,1	30	56	100
1,25	Древесный (с примесью кварцевого песка)	-	54,9	6,3	46	80	19
Центральная зона							
0,10	Древесно-осоковый	45	19,5	6,2	58	100	100
0,25	Древесно-осоковый	45	13,9	5,9	44	95	87
0,50	Древесно-тростниковый	50	13,4	5,8	33	81	96
0,75	Тростниковый	50	14,1	5,9	30	90	83
1,00	Древесно-тростниковый	50	12,5	5,9	21	99	80
1,25	Древесно-тростниковый	45	10,6	6,1	18	87	94
1,50	Древесно-тростниковый	55	9,8	6,0	16	55	98
1,75	Древесный	60	11,1	6,2	24	62	87
2,00	Древесно-тростниковый	55	10,4	6,2	14	27	97
2,25	Древесно-тростниковый	50	12,1	6,2	12	76	93
2,50	Древесный	60	14,1	6,2	31	27	20
2,70	Древесный с примесью кварцевого песка	-	65,4	6,4	56	80	20

В процессе торфообразования происходит накопление меди в торфах высокой степени разложения в отличие от цинка и марганца, что подтверждает известное положение о прочной связи меди с органическим веществом торфа [8]. Отсюда следует, что в торфяных залежах верхового типа цинк и марганец геохимически более подвижны по сравнению с медью и активно участвуют в малом биологическом круговороте веществ.

Таблица 3

Изменение содержания подвижных форм микроэлементов по глубине магелланикум-залежи (т/м Локотенское)

H, м	Строение залежи	pH в вытяжке 1n KCl	R, %	A, %	Подвижные формы в вытяжке 1 n KCl, % от валового содержания		
					Cu	Zn	Mn
Центральная зона							
0,25	Магелланикум	3,4	5	4,3	91	42	39
0,50	Магелланикум	3,4	10	2,4	80	47	40
0,75	Пушицево-сфагновый	3,4	30	4,3	76	50	99
1,00	Сосново-сфагновый	3,5	45	2,0	35	62	99
1,25	Сосново-пушицевый	3,5	50	2,3	29	62	100
1,50	Комплексный	3,5	30	2,0	22	44	99
1,75	Комплексный	3,5	25	2,1	42	98	95
2,00	Комплексный	3,6	30	2,0	65	98	66
2,25	Осоково-сфагновый переход.	5,1	20	3,7	62	76	97
2,50	Осоково-сфагновый переход.	5,2	25	4,7	28	92	86
2,75	Осоково-сфагновый переход.	5,3	35	30,5	66	54	98
3,00	Осоково-сфагновый переход.	5,3	-	54,2	62	96	50
Склоновая зона							
0,10	Магелланикум	3,5	10	3,7	80	50	42
0,25	Сосново-сфагновый	3,5	45	4,8	57	92	92
0,50	Сосновый	3,5	55	2,8	43	92	92
0,75	Сосновый	3,5	55	3,2	42	86	91
1,00	Пушицево-сфагновый	3,6	50	2,9	81	86	91
1,25	Пушицево-сфагновый	3,8	45	2,7	83	90	85
1,50	Гипновый переходный	4,2	35	4,8	0	40	68
1,75	Гипновый переходный	4,3	40	15,6	0	45	72

Относительная подвижность микроэлементов в торфяной залежи низинного типа изменяется по смене стратиграфических слоев по глубине, что определяется величиной обменной емкости органической и минеральной составляющей торфа в условиях слабокислой реакции среды.

В среднем относительная подвижность меди в торфяной залежи составляет 30%, в верхних горизонтах до 40-60%, более половины цинка от общего содержания находится в подвижном состоянии, а в верхних горизонтах – до 80-100%. Увеличение степени разложения и величины pH торфа способствует боле прочному закреплению этих

элементов с органической частью торфа, что отражается на уменьшении их относительной подвижности в этих горизонтах.

Таблица 4

Содержание микроэлементов в современных растениях-торфообразователях и торфах (т/м Локотенское)

Объекты изучения	H, м	R, %	Cu	Zn	Mn
			мг/кг абс. сух. вещества		
Sph. magellanicum	-	-	5,0	38,7	151
Магелланикум-торф	0,10	5	3,3	28,4	43
Магелланикум-торф	0,25	5	3,4	21,9	36
Магелланикум-торф	0,50	10	3,5	6,3	13,9
Pinus silvestris (хвоя, ветви, корни)	-	-	1,8; 1,5; 1,5*	35; 14; 10,8*	576; 80; 50*
Сосновый торф	0,50	55	5,3	7,9	10,9
Сосновый торф	0,75	55	2,6	5,7	7,2

Примечание: * - приводятся данные соответственно для хвои, ветвей и корней

Марганец является более подвижным элементом по сравнению с цинком и медью: более 70% его от общего количества связанно обменно. Исключением являются зазоленные придонные горизонты торфяной залежи, где подвижность марганца мала (20%). Наибольшей геохимической подвижностью марганца (до 80-100%) характеризуются верхние горизонты торфяной залежи (0,25 м).

В низинной торфяной залежи марганец так же, как и в верховой, является более подвижным мигрантом по сравнению с медью и цинком. Если внутри торфяных залежей марганец является очень подвижным мигрантом, чему способствует восстановительная обстановка и кислая реакция среды, то в поверхностных условиях подвижность этого элемента резко уменьшается (табл. 1). Содержание водорастворимых форм марганца в поверхностной воде торфяного месторождения невысокое по сравнению с содержанием аналогичных форм меди и цинка. Свободный доступ кислорода и активное биологическое поглощение живым веществом резко снижают миграцию марганца в поверхностных водах торфяных залежей. Коэффициент водной миграции невысок и составляет 0,06-0,5.

Анализ полученных данных позволяет сделать следующе заключение – миграция элементов марганца, цинка и меди в торфяных залежах имеет свои особенности по сравнению с их миграцией в других объектах биосферы. Миграционная способность их различна в

разных типах торфяных залежей и изменяется по глубине и площади торфяных месторождений. В целом, в верховых торфяных залежах по интенсивности водной миграции изученные элементы более подвижны, чем в низинных.

Изменение подвижности микроэлементов по глубине и площади торфяных месторождений обусловлено стратиграфическими особенностями торфяных залежей, различной емкостью поглощения слагающих видов торфа, связанной со степенью разложения, зольностью, характером и прочностью связи элемента с органической составляющей торфа при определенных щелочно-кислотных и окислительно-восстановительных условиях среды. В стратиграфических горизонтах торфяных залежей, представленных видами торфа высокой степени разложения, подвижные формы цинка и марганца закрепляются обменно; медь в данном случае имеет необратимый характер поглощения.

Низкая геохимическая подвижность элементов в поверхностных водах исследованных торфяных залежей обусловлена жизнедеятельностью микроорганизмов и растительного покрова торфяных месторождений, вследствие чего эти элементы активно участвуют в биогенной миграции.

Библиографический список:

1. Приемская, С.Е. Исследование содержания и распределения валовых и подвижных форм микроэлементов (Cu, Zn, Mn, Co и Mo) в торфяных залежах Калининской области: Автореферат дис. на соискание ученой степени кандидата геолого-минералогических наук (04.137) / С.Е. Приемская. Калининский политехн. Ин-т. – Калинин, 1970. – 23 с.

2. Ларгин, И.Ф. К вопросу об аккумуляции и геохимической подвижности микроэлементов в торфяных залежах Калининской области. /И.Ф. Ларгин, С.Е. Приемская // Тезисы докладов VI Всесоюзного совещания по микроэлементам, Т. 1. Л.: Наука, 1970. – 98 с.

3. Мокроусова, И.В. Некоторые результаты исследования геохимической подвижности макроэлементов в торфяных залежах /И.В. Мокроусова, С. Б. Лаптева // Труды Инсторфа: научный журнал. №17 (70). Тверь: ТвГТУ, 2018, с.3-7.

4. Ринькис, Г.Я. Методы ускоренного колориметрического определения микроэлементов в биологических объектах. Рига: Изд-во Акад. наук Латвийской ССР, 1963. – 123 с.

5. Перельман, А.И. Геохимия ландшафта: учебник / А.И. Перельман, Н.С. Касимов - М: МГУ, 1999. – 610 с.

6. Власюк П.А. Микроэлементы в окружающей среде. Киев: Наукова Думка, 1980. – 247 с.

7. Пейве, Я.В. Руководство по применению микроудобрений М.: Сельхозиздат, 1963. – 224 с.

8. Виноградов, А.П. Геохимия редких и рассеянных химических элементов в почвах. М.: Изд-во Акад. наук СССР, 1957. – 237 с.

⚒⚒⚒

УДК 622.331.001.1(571.56-17)

О ВОЗМОЖНОСТИ ДОБЫЧИ ТОРФА ЗА ПОЛЯРНЫМ КРУГОМ

Беляков В.А., Купорова А.В.
Тверской государственный технический университет, г.Тверь, Россия

Обоснована возможность добычи резного торфа в условиях вечной мерзлоты. Экспериментально обоснована продолжительность сушки торфа. Даны рекомендации по организации опытно-промышленной добычи резного торфа. Рассмотрена возможная сырьевая база для получения формованного твердого топлива на основе торфа в условиях вечной мерзлоты. Предложен способ обезвоживания торфяной пульпы и технология получения кускового торфа.

По прогнозам отечественных и зарубежных экспертов, роль различных видов биотоплива, и прежде всего торфа, будет возрастать. Уже сейчас в отдельных районах нашей страны торф, используемый на более высоком технологическом уровне по сравнению с предыдущими десятилетиями, является рентабельным местным топливом, способным конкурировать в экономическом плане с лучшими марками привозного угля, мазутом, а в некоторых случаях и с природным газом.

Сжигание местных видов топлив вместо более качественных дальнепривозных углей также рентабельно в связи с меньшими расходами на транспортировку и перегрузку, если плечо доставки не превышает 80…100 км для фрезерного и 100…150 км для кускового торфа.

В последние 15 лет обозначилась тенденция к использованию торфа в качестве местного топлива в тех районах, где раньше его добыча не производилась или торф добывался в незначительных количествах в качестве эксперимента. Речь идет в основном о районах Крайнего Севера, расположенных в зоне вечной мерзлоты, а также на Камчатке и на Сахалине. Потребность в торфяном топливе возникла по многим причинам. За полярным кругом основным видом топлива для населения являются дрова и привозной каменный уголь. Значительная часть территории Крайнего Севера расположена в зонах тундры и лесотундры, характерными чертами которых являются полное отсутствие древесной растительности или наличие ее в ограниченных размерах (преимущественно по долинам рек).

Опытные работы, проведенные в Ненецком национальном округе и на Камчатке [1, 2], показали, что и в этих условиях добыча торфа

возможна, если учитывать особенности климата и приспосабливаться к нему. Экспериментальные данные, полученные в разное время, и предварительные расчеты показывают, что себестоимость торфяного топлива получается ниже стоимости привозного угля и дров, как для Ненецкого национального округа, так и для северных районов Якутии.

Использованием торфа вместо привозного дорогостоящего угля заинтересовалось правительство Республики Саха (Якутия) и предложило использовать для котельных Верхоянского района (северо-восток Республики за полярным кругом) торфяное топливо, которое, по предварительным расчетам, должно быть примерно вдвое дешевле привозного угля. Была поставлена задача оценить торфяные месторождения вблизи районного центра п. Батагай на предмет экономической целесообразности добычи и возможности использования торфа в котельных поселка.

В качестве сырьевой базы по производству топливного торфа для п. Батагай были выбраны два месторождения торфа [3]:

- участок, примыкающий к озеру Токолоон и имеющий площадь около 100 га с мощностью слоя торфа 0,2…0,5 м, под которым находится вечная мерзлота. На месторождении «Токолоон» только половина озера имеет залежь, соответствующую промышленным запасам. При толщине слоя воды 1,7 м мощность торфяной залежи составляет до 1…1,5 м. Причем промышленная залежь занимает площадь около 10 га. Верхняя часть торфяной залежи на приозерной (береговой) части до 0,5 м пронизана корнями современных луговых растений и позволяет добывать топливный торф резным способом;

- месторождение, находящееся под озером Хотогор, не промерзающее в зимний период и имеющее запасы около 800 000 т воздушно-сухого торфа.

Рассматривались два варианта производства торфяной продукции для использования в качестве топлива для котельных: резной способ на мелкозалежном участке и получение мелкокусковой формованной продукции из озерного торфа.

Поскольку заготовка резного торфа может быть организована на небольших месторождениях (даже с площадью в 1 га) с малой глубиной залежи и не требует специальной техники, то такой способ является наиболее подходящим для проведения маломасштабной добычи на прибрежной территории озера Токолоон.

Для добычи резного торфа был выделен экспериментальный участок, примыкающий непосредственно к озеру с относительно ровной поверхностью и повышением по направлению от берега озера. На данном участке отсутствует древесная растительность, и произрастают

луговые травы. Толщина слоя торфа под травяным покровом составляет от 0,15 до 0,5 м. Торф относится к низинному типу с достаточно высокой степенью разложения. Его зольность варьирует в диапазоне 14…21 %, а рабочая теплота сгорания составляет 9,72 МДж/кг.

Под слоем торфа находится либо вечная мерзлота, либо глинистая масса небольшой толщины, а далее мерзлота. Естественная влажность торфа (w_e) в момент отбора проб находилась в пределах от 80 % в нижней части слоя у береговой линии до 47 % на более высоких отметках. В таких случаях отсутствует необходимость предварительного осушения участка. Ввиду небольшой толщины слоя торфа добывать его можно в небольших объемах только вручную послойным способом один раз за сезон. Для снижения зависимости от метеорологических условий сезона досушку торфа целесообразно производить под навесом.

При 80 %-ной влажности торфа, извлеченного из залежи в наиболее низкой части участка, его плотность составляет около 1000 кг/м^3. По мере удаления от береговой линии и повышения рельефа поверхности значения влажности уменьшаются до 70…75 %, что, соответственно, приводит и к уменьшению плотности. В образцах торфа, взятого из залежи с более высокими отметками поверхности, плотность составила 580 кг/м^3.

Для анализа процесса сушки кирпичей резного торфа были вырезаны прямоугольные образцы: из прибрежной зоны с начальной влажностью ($w_{нач}$) ~ 80 %; из средней части площадки с начальной влажностью ~ 77 % и из крайней левой («бугристой») части начальной влажностью ~ 47 %.

Вырезанные из залежи кирпичи торфа любой влажности хорошо сохраняют свою форму из-за большого количества корней травы, поэтому их можно укладывать в транспортные средства для доставки на поле сушки. Сушка проводилась в условиях радиационно-конвективного режима на влагоизолирующей подложке. При выпадении осадков образцы убирались под навес, где температура была равна температуре окружающего воздуха.

В течение наблюдаемого периода (130 часов) испарение влаги происходило почти с постоянной скоростью, за исключением периода, когда сушка проходила под крышей при относительно низкой температуре. За 5 суток из каждого влажного кирпича торфа было удалено от 1,85 до 1,96 кг влаги, т. е. практически половина от удаляемой массы воды. За этот же период «сухой» образец потерял 0,6 кг влаги, то есть по мере уменьшения влажности скорость сушки уменьшается, что соответствует современным представлениям в области полевой сушки

торфа [4]. Можно предположить, что при благоприятных условиях сушки (при температуре воздуха 20…30°С и наличии ветра при отсутствии осадков) можно получить готовую продукцию через 15…20 дней сушки на поле.

Однако такие бездождные промежутки встречаются достаточно редко, а резной торф, даже высушенный, обладает большой влагопоглощаемостью [5]. Поэтому при угрозе выпадения осадков подсушенный торф необходимо помещать под навес, что и было сделано при заготовке опытной партии продукции.

Для предварительной просушки кирпичи торфа укладывались на поле в простейшие фигуры сушки (т. н. «шалашик»). Укладка в фигуры обеспечивает возможность испарения влаги практически со всей (за исключением одной торцевой части) поверхности торфяных кусков.

В результате проведенных опытно-промышленных испытаний были разработаны рекомендации по организации добычи резного торфа в прибрежной полосе озера Токолоон. Суть их заключается в следующем. После выемки торфа из залежи отдельные куски необходимо установить в вертикальное или приближенное к нему положение с опорой на подстилающую поверхность. После подсушки кусков в течение приблизительно двух недель (при выпадении осадков – больше) переложить подсохшие куски в пирамиды по 15 слоёв под навес. Расстояние между пирамидами должно составлять не менее 25 см (что соответствует длине куска). В нижние слои необходимо укладывать куски с влажностью менее 40 %, с постепенным складированием более влажных кусков наверх пирамиды (рис. 1). Для контроля влажности перед укладкой под навес следует выборочно взвесить несколько кусков, отметить их и уложить вместе с остальными на сушку. После потери половины веса отмеченных кусков всю партию кусков можно укладывать в штабель.

Примерное время сушки торфа в пирамидах под навесом перед укладкой в плотный штабель составит 30 суток.

При условии, что весь объем добытого торфа можно расположить под навесом в пирамидах, то его переукладка в плотный штабель нецелесообразна.

При сушке и хранении резного торфа следует особенно тщательно следить за тем, чтобы атмосферные осадки не попадали на высушенные куски под навесом, вовремя закрывая боковые стенки навеса тентом. Для улучшения проветривания в периоды без дождей необходимо открывать боковые стенки навеса.

Проветривание штабелей торфа под навесом посредством открытия и закрытия тента необходимо проводить до конца сентября.

Таким образом, в работе традиционный резной способ добычи топливного торфа был адаптирован под метеорологические и горно-геологические условия района расположения озера Токолоон. Реализация полученных результатов позволяет сократить зависимость небольших труднодоступных северных поселков от дальнепривозных топливных ресурсов.

Рис. 1. Сушка торфяных кирпичей под навесом

По второму варианту рассматривалось получение мелкокускового торфа из озерного торфа. Торф озерного образования имеет темно-бурый или черный цвет с мелкозернистой структурой и высокой степенью разложения. Зольность его, как правило, выше 10 %. В озерах он круглый год находится в талом состоянии, при высыхании слипается в плотный комок, особенно если в нем имеется значительная примесь сапропеля и мелкодисперсной фракции самого торфа.

Для производства формованного мелкокускового торфа из запасов, расположенных в придонном слое озера Хотогор, предлагается технология, аналогичная добыче сапропеля [6]. В целом технология получения формованного твердого топлива на основе торфа состоит из намыва торфяной пульпы с помощью земснаряда и ее сгущения, затем торфомасса влажностью 75…80% транспортируется к месту формования и стилки, где формуется и расстилается для сушки с помощью прицепной стилочной машины. В качестве земснаряда предлагается использовать понтонный одноковшовый экскаватор, имеющий в качестве рабочего органа землесосный насос (рис. 2).

Для обезвоживания торфяной пульпы рассматривали несколько схем с использованием отстойников, барабанных фильтров, центрифуг и др. Наиболее приемлемой оказалась схема с использованием контейнеров (геотуб), сшитых из тканого материала – геотекстиля (рис. 3).

Торфяная масса разрыхляется, засасывается землесосным насосом и по пульпопроводу перекачивается на берег, где обезвоживается в геотубах до формовочной влажности 80…85%.

Рис.2 Экскаватор на понтоне Свампкинг с землесосом

Создающееся внутри контейнера давление выталкивает свободную влагу наружу, а геотекстиль благодаря особой структуре удерживает шламовые частицы малого размера внутри. Геотубы выпускаются различных размеров по ширине и длине. По данным, полученным при добыче сапропелей, продолжительность обезвоживания пульпы в геотубе до влажности 80% составляет 20 дней. Принимая эти значения для озерного торфа, достаточно будет двух циклов обезвоживания на одной площадке для заданного объема добычи торфа в 10 тыс.т. Расчеты показали, что при однослойной укладке геотуб достаточна площадь 5 га, что почти в 10 раз меньше, чем площадь отстойников. Кроме того, геотекстиль, после использования его для обезвоживания, можно использовать в дорожном строительстве в качестве подложки под дорожное полотно.

После обезвоживания геотубы разрезаются и торфомасса загружается одноковшовым экскаватором или фронтальным погрузчиком (рис. 4) в стилочную машину, которая осуществляет перемешивание торфа, его формование в куски цилиндрической формы и стилку либо лентами либо внаброс.

Стилка предусматривается на выделяемых для этого участках, достаточных по площади и относительно ровных, без кустарниковой растительности. Если таких участков нет возле озера, то дополнитель-

но предусматривается транспортировка торфомассы к месту стилки самосвалами или тракторными прицепами. Далее процесс идет по классической технологии, предусматривающей ворочку, валкование и уборку высушенного торфа под навес.

Рис. 3 Геотубы в рабочем состоянии

Рис. 4 Извлечение обезвоженного торфа

Добывать и высушивать резной торф до кондиционной влажности в условиях северной Якутии возможно, но ввиду отсутствия достаточно мощных слоев залежи, нецелесообразно как с технической, так и экологической точки зрения. Как вариант, если позволяют геологические условия, можно осушить озеро с толстым слоем придонного торфа и там производить добычу торфа резным способом.

Гидромеханизированный способ добычи торфа принято считать наиболее эффективным при подводной разработке месторождения. При этом нет необходимости в спуске воды из озера и можно вести

добычу при любой глубине залегания. При этом одновременно решается экологическая задача по очистке озера от органических и органо-минеральных отложений.

Объединение в одну технологическую цепочку добычи, транспорта, обогащения и складирования торфа, возможность полной выработки достаточно глубоких месторождений делают этот способ в большинстве случаев незаменимым. К тому же он полностью механизирован, минимально трудоемок и экономически выгоден.

Библиографический список:

1. Евсеев В.Н., Кужман Г.И., Соколов А.А. Добыча торфяного топлива на Крайнем Севере. М. – Л.: Госэнергоиздат, 1960. 45 с.

2. Бокитько Н.М. Добыча и сушка торфа в климатических условиях Камчатки // Материалы к тематическому отчету Камчатской научно-исследовательской торфяной станции за 1938 – 40 годы. 1940. 41 с.

3. Отчет о работах Табалахской торфяной партии за 1954 г. // Янское районное геолого-разведочное управление ГУС ДС МЦМ СССР. Батагай, 1954 г.

4. Антонов, В.Я. Технология полевой сушки торфа / В.Я. Антонов, Л.М. Малков, Н.И. Гамаюнов. – М.: Недра, 1981. – 239 с.

5. Лиштван, И.И. Физико-химические основы технологии торфяного производства / И.И. Лиштван, А.А. Терентьев, Е.Т. Базин, А.А. Головач. Мн.: Наука и техника, 1983. – 232 с.

6. Мисников О.С., Беляков В.А. Технология и комплексная механизация открытых горных работ: добыча кускового торфа и сапропеля. Тверь: ТвГТУ, 2016. 160 с.

УДК 622.413

АЛГОРИТМ И РЕШАЕМЫЕ ЗАДАЧИ С ПОМОЩЬЮ КОМПЬЮТЕРНОЙ ТЕХНОЛОГИИ РАСЧЕТОВ ТЕМПЕРАТУРНЫХ УСЛОВИЙ В ГЛУБОКИХ ШАХТАХ

Мартынов А.А.,
Донецкий экспертно-технический центр
Плотникова Ю.А., Майбенко Н.И.,
Макеевский научно-исследовательский институт по безопасности работ в горной промышленности

Представлена последовательность действий при выполнении расчетов температурных условий в сети выработок глубоких шахт при использовании широко апробированной на практике специальной компьютерной технологии. Приведен

перечень основных задач, которые могут быть оперативно решены с помощью данной компьютерной технологии.

Из-за формирования тяжелых температурных условий в выработках глубоких шахт Донбасса, глубина многих их которых превышает 1000 м, а на некоторых – подготовительные и очистные работы уже ведутся на горизонтах 1300-1400 м, проблема поддержания в горных выработках нормального микроклимата стоит весьма остро [1].

На основании теоретических и экспериментальных исследований, выполненных целым рядом научных школ Украины и РФ за последние более чем 40 лет, созданы научные основы тепловых расчетов глубоких шахт. разработаны нормативные методики для проектных организаций и специалистов, занимающихся вопросами прогноза и регулирования теплового режима горных выработок.

В качестве основных нормативных документов на протяжении нескольких последних десятилетий являются «Единая методика прогнозирования температурных условий в угольных шахтах» [2] и «Методика прогнозирования температурных условий в выработках вентиляционных горизонтов глубоких шахт» [3]. Приведенные в [2,3] зависимости для расчета температуры воздуха представлены в разработанном МакНИИ стандарте «Прогнозирование и нормализация тепловых условий в угольных шахтах» [4].

Длительный опыт практического применения методик [2,3] показал, что выполнение расчетов достаточно трудоемко и требует от инженерно-технического персонала специальных знаний.

В связи с этим, для прогнозирования температурных условий в горных выработках была разработана на основании методик [2,3] специальная компьютерная технология (программное обеспечение) [5], которая в последующем была существенно усовершенствована [6].

Современное программное обеспечение расчетов параметров микроклимата в глубоких шахтах [6] - это разработка, или вернее, результат работы, с учетом более полувековой научно-практической деятельности многих научных школ и коллективов, в одном из которых (МакНИИ) автор и соавторы данной статьи проработали многие годы.

Данная компьютерная технология [6] апробирована на более 30 глубоких шахтах. На ее применение в глубоких шахтах получено разрешение горного надзора.

Целью статьи является ознакомление руководителей и инженерно-технического персонала глубоких шахт, других специалистов с алгоритмом и функциональными возможностями программного обеспечения тепловых расчетов горных выработок в решении вопросов борьбы с высокими температурами рудничной атмосферы.

Запуск программы производится файлом Uch07. На стартовом окне представлена краткая информация о программе: название, список основных нормативных документов, на которых основаны расчеты, имена авторов программы.

После нажатия на кнопку «пуск» отображается панель выбора варианта системы разработки и схемы проветривания выработок участка, относительно которого производится расчет (рис.1)

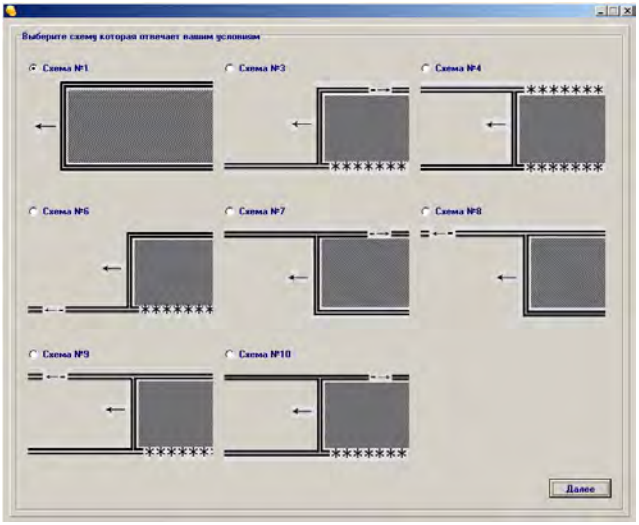


Рис. 1. Панель выбора варианта системы разработки и схемы проветривания выемочного участка

При выполнении тепловых расчетов с использованием программного обеспечения [6] исходные данные выбираются и устанавливаются на основе проектно-технической документации шахты, характеристик и параметров общешахтных выработок и выработок конкретных выемочных участков.

Все вводимые данные проверяются при вводе. Если введенное значение не отвечает требованиям, рядом с полем ввода отображается значок «!», сигнализирующий о некорректности этого значения, одновременно блокируется кнопка расчета.

При расчетах рабочая панель на мониторе условно делится на две части: окно ввода исходных данных; окно вывода результатов.

В окне вывода результатов отображается принципиальная схема выработок выемочного участка, на которой по мере выполнения рас-

четов указываются температуры воздуха в характерных точках и, по завершению расчетов, необходимая для нормализации холодильная мощность воздухоохладителей.

Исходными данными для выемочного участка являются: температура и относительная влажность воздуха на входе участка. Для нового участка относительная влажность принимается по данным замеров на участке, сходном по условиям разработки с подготавливаемым; тип пород в кровле и почве пласта; способ управления кровлей; устойчивость пород кровли; способ охраны вентиляционной выработки; мощность пласта (рис.2).

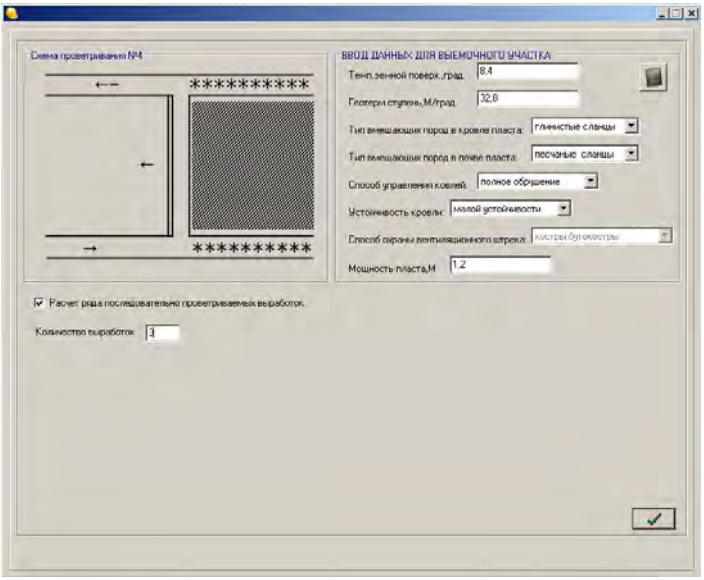


Рис.2. Панель ввода данных для выемочного участка

После ввода данных для выемочного участка производится последовательно тепловой расчет сети выработок и лавы.

Если требуется провести расчет для ряда последовательно проветриваемых выработок до выемочного участка, то необходимо предварительно на панели указать число таких выработок.

Далее необходимо ввести исходные данные для каждой выработки из цепочки и получить для нее результат. После ввода исходных данных выполняется последовательно тепловой расчет каждой выработки. Результаты отображаются на панели ввода исходных данных по

выработкам, например, как показано при вводе исходных данных для 1-й выработки (рис.3).

Окончательный результат расчета отображается в виде таблицы со значениями температуры и относительной влажности воздуха в начале и конце каждой из выработок.

Панель ввода исходных данных для теплового расчета участковой воздухоподающей выработки, например, для варианта столбовой системы разработки (рис.1) представлена на рис.4.

Для теплового расчета выработки необходимы следующие исходные данные: длина и поперечное сечение выработки; тип крепи; относительная влажность воздуха в начале и конце выработки; глубина расположения выработки; время проветривания выработки; мощности трансформатора, маслостанции, насосов, лебедок и других источников тепловыделений, находящихся в выработке. Для каждого источника необходимо указать суммарную мощность его электродвигателей и коэффициент загрузки их работы по времени. Для каждого типа конвейеров необходимо ввести суммарную мощность двигателей, производительность, суммарную длину и ширину конвейера. При наличии в выработке водоотливной канавки необходимо ввести ее ширину и указать тип канавки (открытая, закрытая).

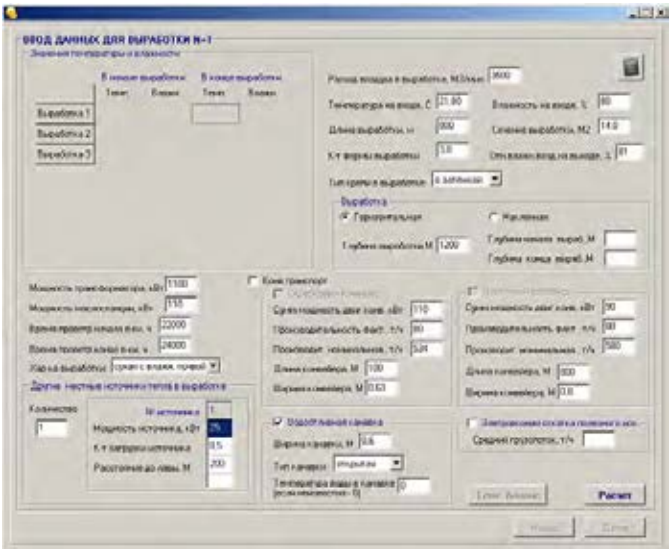


Рис.3. Панель ввода исходных данных для 1-й выработки

При тепловом расчете лавы необходимы исходные данные: тип крепи; способ выемки угля (комбайном, стругом); ширина лавы; сечение лавы в свету; длина лавы; глубина расположения начала и конца лавы; нагрузка на лаву; суммарная мощность двигателей конвейера; производительность конвейера (фактическая и номинальная); мощность двигателей комбайна (струга); производительность комбайна (струга) фактическая и номинальная; относительная влажность воздуха в начале и конце лавы.

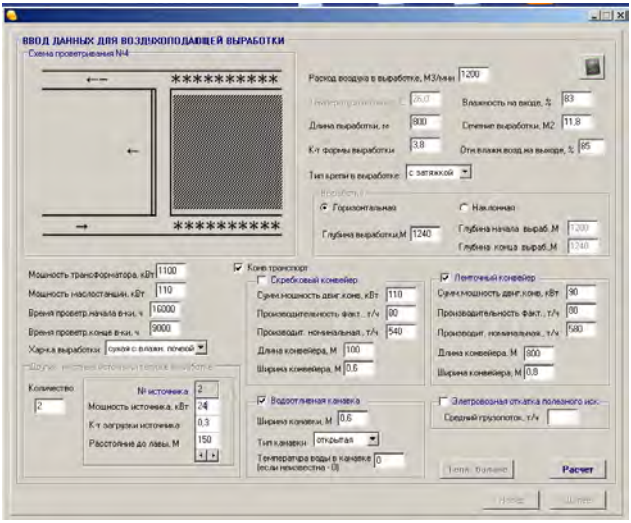


Рис.4. Панель ввода данных для теплового расчета участковой воздухоподающей выработки выемочного участка

Форма представления результатов теплового расчета воздухоподающей участковой выработки и ввода исходных данных по лаве представлена на рис.5.

Для наглядности, на рис. 6 приведены завершающие результаты изложенного выше алгоритма теплового расчета при применении на выемочном участке искусственного охлаждения воздуха.

Представленный алгоритм компьютерной технологии отображает последовательность действий при выполнении ниже приведенных тепловых расчетов выработок глубоких шахт, по результатам которых могут быть решены многие важные задачи:

1. Произвести прогнозный расчет изменения температуры воздуха в отдельно взятой конкретной горной выработке.

2. Выполнить прогнозный расчет изменения температуры воздуха в выработках конкретного выемочного участка, как при естественном режиме формирования климатических условий, так и при предполагаемом применении в участковом воздухоподающем штреке искусственного охлаждения воздуха.

3. Выполнить прогнозный расчет изменения температуры воздуха в сети горных выработок шахты, включая выработки выбранного выемочного участка.

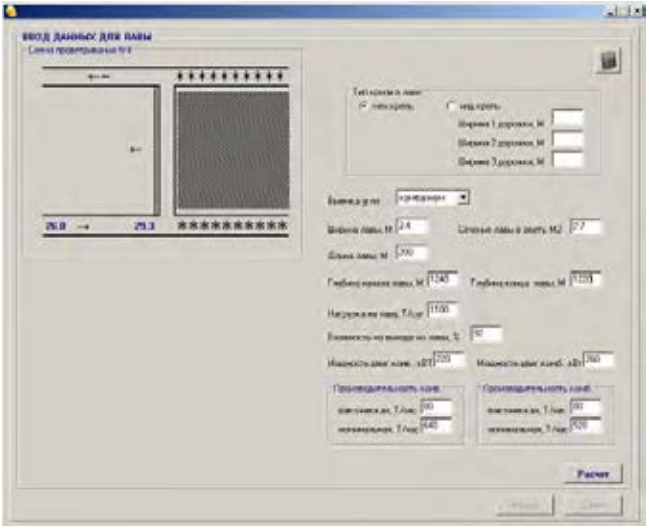


Рис. 5. Панель ввода данных для лавы

4. Определить холодопотребность лавы.

5. Рассчитать необходимую холодильную мощность оборудования для нормализации теплового режима в выработках в соответствии с требованиями правил безопасности и санитарных норм.

6. Рассчитать тепловой баланс любой горной выработки по источникам тепловыделений (горный массив, транспортируемое ископаемое, машины и механизмы с электроприводом, шахтная вода, теплопритоки из выработанного пространства лавы и пр.).

7. Определить температуру притока воздуха из выработанного пространства лавы при наличии утечек воздуха, рассчитать величины поступления тепла из выработанного пространства в лаву и в участковый вентиляционный штрек.

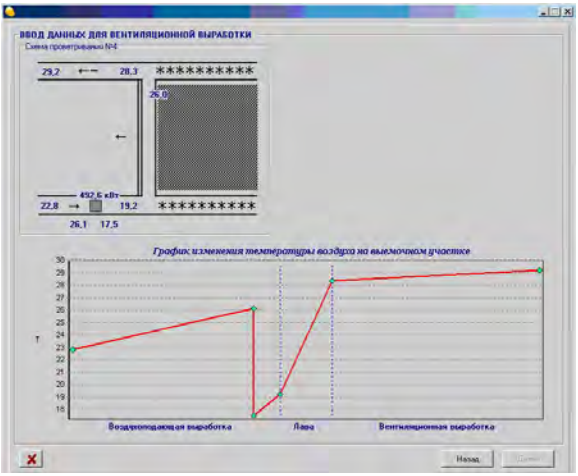


Рис.6. Панель визуального и графического отображения результатов теплового расчета сети выработок шахты

При выполнении многовариантных тепловых расчетов с определением в каждом случае указанных выше расчетных величин проектировщиками, специалистами шахт могут быть оперативно и обоснованно разработаны для конкретной глубокой шахты целесообразные меры (комплекс мер) по нормализации (улучшению) тепловых условий в горных выработках. В перечень таких мер применительно к конкретной шахте (конкретному выемочному участку, лаве) входят следующие: определение оптимальных с учетом теплового фактора горнотехнических решений и параметров разработки пласта: системы разработки; способа управления горным давлением; схемы проветривания выемочного участка и лавы; способа и средств охраны участковых выработок; расхода воздуха на выемочном участке; механизации очистных работ; длины выемочного поля, лавы; нагрузки на очистной забой и др.

Представленная компьютерная технология позволяет разработать практические действия шахт по эффективному применению искусственного охлаждения воздуха на выемочных участках. При этом, определить параметры охлажденного воздуха, необходимую холодильную мощность средств охлаждения и оптимальный вариант размещения воздухоохладителей в участковых штреках.

Из специальных мер компьютерная технология позволяет для конкретных условий произвести оценки с точки зрения формирования параметров микроклимата, связанных с:

- сокращением (изменением) пути подачи свежего воздуха к конкретному выемочному участку;
- осушением участковых воздухоподающих выработок;
- уменьшением (локализацией) выноса тепла утечками воздуха из зоны выработанного пространства конкретной лавы;
- теплоизоляцией стенок горного массива в участковой воздухоподающей выработке и с другими мероприятиями.

Библиографический список:

1. Мартынов А.А., Малеев Н.В., Яковенко А.К. Тепловой режим глубоких угольных шахт. Монография /под редакцией А.А. Мартынова/. - Донецк: изд-во «Ноулидж». - 2014. - 443 с.

2. Единая методика прогнозирования температурных условий в угольных шахтах / Под ред. В.А. Кузина, Н.Н. Хохотвы. – Макеевка-Донбасс: МакНИИ, 1979. - 189 с.

3. Методика прогнозирования температурных условий в выработках вентиляционных горизонтов глубоких шахт. Макеевка-Донбасс: МакНИИ, 1984. – 61 с.

4. СОУ–Н 10.1.00174088.027:2011 «Прогнозирование и нормализация тепловых условий в угольных шахтах». - 2011. - 188 с.

5. Бобров А.И., Мартынов А.А., Тулуб С.Б. Компьютерная технология выбора рациональных по тепловому фактору технологических решений разработки пологих пластов глубоких шахт //Горная промышленность на пороге XXI века: Доклады 16 Всемирного Горного Конгресса. София, Болгария, 1994. Т.4, - С.119-124.

6. Морев А.М., Мартынов А.А., Малеев Н.В., Яковенко А.К. Программное обеспечение расчета температуры воздуха в выработках выемочных участков глубоких шахт. – М.: Безопасность труда в промышленности. - 2012, №1. – С. 51-56.

УДК: 504:622.331:631.45:631.417.2

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ТОРФОМИНЕРАЛЬНЫХ МЕЛИОРАНТОВ В РЕКУЛЬТИВАЦИОННЫХ РАБОТАХ И ДЛЯ УЛУЧШЕНИЯ ПЛОДОРОДИЯ ПОЧВ

Мисников О.С., Гамаюнов С.Н., Левинский В.В., Русакова А.А.
Тверской государственный технический университет, г. Тверь, Россия

В статье проанализированы экологические проблемы, связанные с техногенным загрязнением земель при добыче полезных ископаемых, крупномасштабным строительным производством, и развитием процессов опустынивания. В сельскохозяйственном производстве плодородие почв и общая продуктивность пашни зависит от качества и количества внесения минеральных и органических удобрений. В последние три-

дцать лет отмечается устойчивая тенденция к снижению содержания почвенного гумуса. Рассмотрена возможность использования гумусового торфяного мелиоранта для рекультивации техногенно-нарушенных земель и повышения плодородия почв. Производство и применение органических удобрений и мелиорантов на основе торфа в различных отраслях народного хозяйства является стимулом устойчивого функционирования торфяного бизнеса и значимым фактором социально-экономического развития регионов РФ.

Актуальность решения проблем защиты окружающей среды вызвана тем, что в настоящее время в результате добычи и переработки природных ресурсов в промышленных масштабах наблюдаются серьезные техногенные загрязнения на значительной территории РФ. Необходимость проведения рекультивационных работ в местах разработки месторождений полезных ископаемых вызвана тем, что большая часть земель подвергается техногенному нарушению с образованием песчаных субстратов, техногенных насыпей, отвалов дорог, склонов карьеров, оврагов, эродированных и загрязненных почв. Причем их самостоятельная (нативная) биологическая рекультивация в природной среде без использования искусственных приемов может продолжаться достаточно долго без сколь-нибудь значимых положительных результатов. Таким образом, для эффективного решения этих проблем необходимо проведение сбалансированных крупномасштабных работ по рекультивации техногенных песчаных субстратов.

Кроме этого, в мире очень остро проявляются процессы, связанные с опустыниванием земель и, являющиеся следствием их, потери водного питания, продовольственной безопасности, видового разнообразия, а также другие проблемы глобального характера. В связи с этим особое значение приобретают исследования по разработке новых технологий рекультивации техногенных песчаных субстратов без нанесения плодородного слоя земли, так как его запасы ограничены и их транспортировка связана со значительными материальными затратами.

В середине прошлого века в нашей стране была поставлена задача резкого повышения урожайности в сельскохозяйственном производстве. Основная ставка была сделана на химизацию, предусматривающую применение в растениеводстве минеральных удобрений. Однако повсеместное использование различных видов химических веществ играет и свою негативную роль.

В настоящее время известно, что чрезмерное увлечение применением исключительно минеральных удобрений на определенном этапе повышает урожайность, но в средне- и долгосрочной перспективе

снижает уровень плодородия почвы, ухудшает ее структуру и приводит к общей деградации [1, 2].

Для Тверской области установлено, что объемы использования удобрений планомерно возрастали до 1986-1992 гг. В этот период на каждый гектар пашни ежегодно вносили по 120…151 кг действующего вещества (д. в.) минеральных и 5…7 т органических удобрений. Средняя урожайность зерновых культур за этот период достигла 15,4 ц/га, в том числе по озимой пшенице – 22 ц/га, ячменю – 20,8 ц/га, ржи – 17,7 ц/га (против 7 ц/га в 1960-е годы). Валовый сбор зерна в среднем за год был на уровне 890…910 тыс. тонн [3, 4]. Известно, что урожайность и качество сельскохозяйственных культур находятся в прямой зависимости от плодородия почвы, которое определяется, главным образом, содержанием в ней гумуса [5]. Об этом свидетельствуют практика и результаты многолетних исследований отечественных и зарубежных ученых [6-9].

Начиная с 1992 года, работы по повышению плодородия земель на территории нашей страны начали сокращаться катастрофическими темпами, а к 1996-1998 гг. они были практически свернуты. В Тверской области площадь известкования кислых почв за последние 20 лет уменьшилась более чем в пятьдесят раз и составила к 2003 году всего 0,5 тыс. га, а с 2007 г. работы были полностью прекращены [10]. Внесение минеральных удобрений сократилось в 20 раз, до 6,5 кг/га посевной площади, а органических – в 15 раз (0,4 т/га). Урожайность зерновых составила 8,4 ц/га посевной площади, а валовый сбор – 120 тыс. т, что в шесть раз меньше уровня 1990-х годов.

О критическом состоянии обеспеченности элементами питания свидетельствует расчет их баланса, который на протяжении последних 10 лет постоянно уменьшался. В настоящее время он составляет 35,3 кг/га: в том числе азота – 20,8 кг/га, фосфора – 2 кг/га, калия – 12,5 кг/га [4]. В связи с отрицательным балансом элементов питания формирование урожая сельскохозяйственных культур происходит, в основном, за счет почвенного плодородия. При этом наблюдается постоянное истощение почвы.

Теоретически и экспериментально установлено, что с увеличением количества гумуса активизируется рост культур, повышается их урожайность и качество. Например, существует высокая корреляционная связь между содержанием гумуса в почве и содержанием клейковины в зерне [11]. При увеличении гумуса в почве от 2,5 до 7 %, количество клейковины в зерне возрастает примерно в два раза. Только для компенсации выноса гумуса вместе с урожаем необходимо ежегодно вносить не менее 13 тонн органических удобрений на 1 га почвы. Од-

нако текущая ситуация такова, что в большинстве областей Центрального района Нечерноземной зоны насыщенность 1 га пашни органическими удобрениями, не превышает 1…2 т/га, при необходимых, как минимум 5…6 т/га [12].

У экспертного сообщества нет сомнения в том, что производство и применение торфяных удобрений создает предпосылки для улучшения качественных характеристик и количественных показателей урожаев сельскохозяйственных культур [13]. Удобрения на основе торфа (наиболее распространенного источника органического вещества) являются самым эффективным средством восстановления свойств почвы, улучшающих ее плодородие. Благодаря питательным веществам создаются благоприятные условия для нормального роста и развития растений. Исследованиями, проводимыми в течение многолетнего периода, доказано [10], что при использовании органических удобрений на основе торфа наблюдается увеличение урожайности сельскохозяйственных культур от 37 до 73 % (в среднем – до 50 %).

Технологии приготовления и использования органических удобрений одновременно решают ряд задач по улучшению экологической обстановки. Во-первых, это утилизация отходов животноводческих ферм и оздоровление санитарного состояния близлежащих территорий и крупных сельхозпредприятий. Во-вторых, это уменьшение потерь газообразных соединений азота, получение б***о***льшей части органоминеральных удобрений без использования достаточно энергоемкой стадии предварительной подготовки сырья и полуфабрикатов [13]. В-третьих, использование органоминеральных удобрений многократно сокращает дозы их внесения в сравнении с традиционными органическими удобрениями (различные виды компостов). Это является основанием для существенного сокращения расходов, как минимум, при равном (в ряде случаев б***о***льшем) эффекте влияния на урожайность.

Воздействие минеральных удобрений направлено на коррекцию показателей эффективного плодородия почв. Для химических мелиорантов характерно воздействие на почвенный поглощающий комплекс. В органических удобрениях органическое вещество является основой для образования гумуса, но концентрация элементов питания в них, как правило, на порядок меньше.

Для ускорения восстановления активности земель необходимы органические (или органоминеральные) удобрения, обогащенные гуминовыми кислотами с физиологически активными группами и свободными азотсодержащими компонентами [3, 10].

Периодичность внесения органоминеральных удобрений за счет эффекта пролонгации их действия значительно ниже, чем минераль-

ных – один раз в 3…5 лет. Кроме того, их можно вносить в почву за один проход специальной техники вместе с органическими и минеральные удобрения, микроэлементами, а также и с другими необходимыми растениям компонентами (например, стимуляторами роста).

Использование солей гуминовых кислот торфа – гуматов (обычно: калия, натрия, аммония) [5, 10, 13] – эффективно на всех типах почв и для всех видов растений. При этом необходимо учитывать следующие нюансы: однолетние растения лучше реагируют на обработку гуматами в начале своего развития и в период образования органов репродукции; для уменьшения последствий травмирования корневой системы сеянцев и саженцев, их нужно обрабатывать после пересадки. Такой же подход применяется к овощным и декоративным рассадным культурам. В принципе гуматы рекомендуется использовать на всех стадиях развития растения, начиная с замачивания семян. Дальнейшая обработка гуматами ведется в период вегетации. При этом расход гумата во многом определяется природой растения. При культивировании зерновых (пшеница, рожь, овес, ячмень и др.), необходимо внесение 2…5 кг/га; технических культур (хлопок, лен и др.) – 4…6 кг/га [14].

В Тверском государственном техническом университете созданы научные основы технологии повышения агрономической и биологической ценности торфяного сырья [12, 13] с производством на его основе мелиорантов почв. Мелиорант почвы это не удобрение в традиционном понимании. Он представляет собой комплексный (органическая матрица + элементы питания + гуматы + микроэлементы), натуральный и экологически чистый продукт. Мелиорант не количественно (например, как удобрения, которые увеличивают концентрацию питательных элементов), а качественно улучшает агрофизические, агрохимические, микробиологические, биохимические, физико-химические свойства почвы. Мелиорант в виде гранул [15] обладает сравнительно высокой насыпной плотностью – 450…550 кг/м^3, позволяющей осуществлять экономически выгодные перевозки на большие расстояния. Размер (диаметр) гранул составляет 4…6 мм (возможно изменение в зависимости от условий применения); водоудерживающая способность в среднем от 3 до 6 килограмм воды на килограмм сухого вещества; содержание гуминовых веществ от 20 до 40 %, кислотность pH = 3,5…6,5.

По своим агрохимическим характеристикам торфяной мелиорант превосходит широко известные виды органических удобрений [12]. При смешивании с местной почвой в определённых пропорциях, он воспроизводит и обеспечивает функции чернозёма, стимулирует

быструю приживаемость, рост и развитие любых растений.

Разработанная структурная схема изготовления мелиорантов отличается гибкостью технологического процесса. Она позволяет оперативно изменять состав и количество вносимых ингредиентов в зависимости от требований потребителя, учитывать вид почвы и ее исходное состояние [16]. Созданная с помощью мелиоранта почв экосистема является самодостаточной и саморазвивающейся. При строгом соблюдении и выполнении технологии его применения процесс развития экосистемы приводит к полному воссозданию некогда утерянного естественного плодородия почвы.

Внесение современных гумусовых мелиорантов на основе торфа позволяет активно противодействовать опустыниванию земель. Это особенно актуально для территорий, на которых имеются песчаные и каменистые пустыни (Африка, Ближний Восток, Монголия, Китай и др.). Кроме этого, мелиоранты имеют значительный потенциал применения по восстановлению техногенно-нарушенных земель.

Его сравнительно легко можно вносить ручным способом, а также с помощью разбрасывателей органических удобрений и другой техники. Для создания плодородного слоя необходимо равномерно один раз в пять лет разбросать гранул мелиоранта на поверхности и запахать их в почву с помощью лопаты или культиватора. После этого производится обильный полив органо-песчаной смеси водой (рисунок). Для достижения быстрого эффекта на сравнительно небольших площадях рекомендуется предварительно замачивать гранулы в воде и смешивать песок с влажными гранулами. Образовавшийся при этом раствор гуматов целесообразно использовать для полива смеси. Далее в слое будет происходить выход водного раствора гуматов и смачивание им минеральных частиц. При испарении воды на поверхности почвы будет образовываться защитный слой из сухих гуматов, который выполняет несколько функций. Во-первых – он является структурообразующим слоем, который скрепляет песчаные частицы, снижая тем самым потери от ветровой эрозии. Во-вторых, он снижает интенсивность испарения с поверхности плодородного слоя. И, в третьих он является стимулятором роста растений. Оставшиеся в почвенном слое частицы мелиоранта будут постепенно разрушаться, и формировать органическую основу для образования гумуса. Кроме этого, они обеспечивают пролонгированный выход элементов питания и благоприятный водно-воздушный режим в корнеобитаемом слое. Все последующие агротехнические мероприятия проводятся с использованием правил для возделывания выращиваемой культуры.

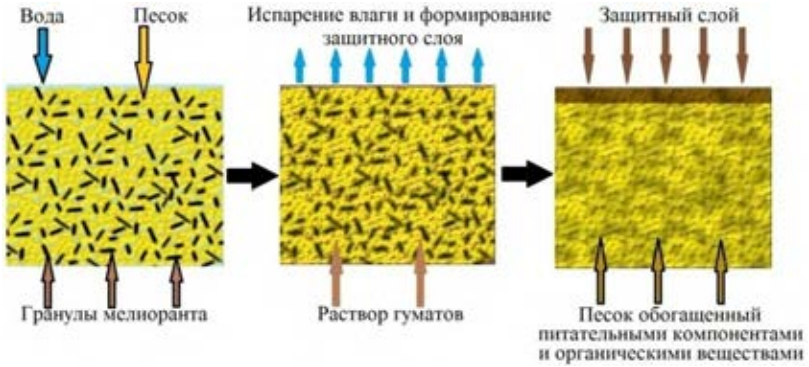


Рисунок. Схема принципа использования торфяного гумусового мелиоранта

Экспериментально установлено, что применение гумусового мелиоранта обеспечивает существенную прибавку урожайности картофеля от 57 до 72 % [12]. Побочных отрицательных эффектов от используемого гранулированного мелиоранта у растений не наблюдалось. Причем, минеральные удобрения в исследуемых дозах значительно уступали по эффективности мелиоранту.

Применение торфяного мелиоранта позволяет избегать негативных эффектов, возникающих при недостатке влаги в песчаной почве. Экономия воды может достигать 50 %, что позволит увеличивать интервалы между поливами как минимум вдвое. Благодаря большой водопоглотительной способности [16-18], мелиорант не позволяет поливной воде уходить в почву и уменьшает испарение с ее поверхности. В тоже время содержание в нем большого количества органических и минеральных веществ позволяет сократить количество поливов до одного раза в неделю. В некоторых случаях это позволяет сократить потребление воды в 5-10 раз.

Таким образом, восполнение недостающих объемов органических удобрений необходимо осуществлять за счет внесения в почву удобрений на основе торфа. Применение торфяных гумусовых мелиорантов позволит значительно сократить потребность в поливной воде, а в ряде случаев, полностью отказаться (или существенно уменьшить) от применения традиционных химических, минеральных и органических удобрений. Различные виды деградированных земель под влиянием компонентов мелиоранта будут самостоятельно превращаться в плодородную почву, пригодную не только для посадки и произраста-

ния различных видов растений (различные виды рекультивационных работ), но и для последующего их сельскохозяйственного применения.

Библиографический список:

1. Гогмачадзе, Г.Д. Агроэкологический мониторинг почв и земельных ресурсов Российской Федерации / Г.Д. Гогмачадзе. – М.: Издательство Московского университета, 2010. – 592 с.

2. Белоголовцев, В.П. Теория минерального питания: краткий курс лекций для аспирантов направления подготовки 36.01.06 «Сельское хозяйство» / В.П. Белоголовцев, Е.А. Нарушева // ФГБОУ ВПО «Саратовский ГАУ». – Саратов, 2014. – 121 с.

3. Кузнецов, П.Н. Эффективность отдельных технологических приемов при возделывании овса посевного в условиях Верхневолжья / П.Н. Кузнецов, А.В. Диченский, Л.М. Соловьева // Известия МААО. – 2017. – № 34. – С. 96–100.

4. Фирсов, С.А. Оптимизация агроэкологического состояния дерново-подзолистых почв Тверской области на основе регионального мониторинга: автореф. дис. ... д-ра биол. наук: 03.02.08 / С.А. Фирсов // Моск. с.-х. акад. им. К.А. Тимирязева. – Москва, 2011. – 47 с.

5. Лыков, А.М. Гумус и плодородие почвы / А.М. Лыков. – М.: Московский рабочий, 1985. – 192 с.

6. Панасин, В.И. Гумус и плодородие почв Калининградской области: монография / В.И. Панасин, Д.А. Рымаренко. – Калининград: Изд-во КГУ, 2004. – 220 с.

7. Кидин, В.В. Органические удобрения: учебное пособие / В.В. Кидин. – М.: Издательство РГАУ-МСХА, 2012. – 166 с.

8. Brondi A.M. Quantification of Humic and Fulvic Acids, Macro- and MicroNutrients and C/N Ratio in Organic Fertilizers / A.M. Brondi, J.S.P. Daniel, V.X.M.D. Castro, A.C. Bertoli, J.S. Garcia, M.G. Trevisan // Communications in Soil Science and Plant Analysis. – 2016. – 47. – 22. – P. 2506-2513.

9. Baldantoni, D. Nutrient and toxic element soil concentrations during repeated mineral and compost fertilization treatments in a Mediterranean agricultural soil / D. Baldantoni, L. Morra, G. Saviello, A. Alfani / Environmental Science and Pollution Research. – 2016. – 23. – 24. – P. 25169-25179

10. Барановский, И.Н. Торф в плодородии дерново-подзолистых почв Нечерноземной зоны: монография / И.Н. Барановский. – Тверь: Изд-во ТГСХА «АГРОСФЕРА», 2009. – 222 с.

11. Азаров, К.А. Эффективность удобрений под зерновые культуры с учетом геоморфологии агроландшафта и уровня содержания гумуса в почве: дис. … канд. биол. наук: 06.01.04 / К.А. Азаров // Саратовский государственный университет им. Вавилова. – Саратов, 2014. – 181 с.

12. Гамаюнов, С.Н. Обоснование использования ресурсов торфяных месторождений Тверского региона для производства органических удобрений / С.Н. Гамаюнов, О.С. Мисников, А.В. Диченский // Болота и биосфера / Материалы X Всероссийской с международным участием научной школы. Тверь: Наукоемкое производство, 2018. С. 22-30.

13. Гамаюнов, С.Н. Торф и агробизнес: учебное пособие / С.Н. Гамаюнов. Изд. 2-е, перераб. и доп. – Тверь: ТГТУ, 2011. – 120 с.

14. Лиштван, И.И. Гуминовые вещества торфа: физико-химические свойства и перспективы применения / И.И. Лиштван, А.М. Абрамец, Ю.Г. Янута, Г.С. Монич, Н.С. Першай, В.Н. Алейникова // Природопользование: сб. науч. тр. – Минск: Государственное научное учреждение "Институт природопользования Национальной академии наук Беларуси", 2012. – Вып. 22. – С. 92–95.

15. Мисников, О.С. Торфяной гранулированный мелиорант почв для рекультивации и озеленения территорий / О.С. Мисников, А.Е. Тимофеев, С.Н. Гамаюнов // Инновацио-

онные аспекты добычи, переработки и применения торфа / Мат. Межд. конф. Томск: ТПУ, 2011. С. 83-85.

16. Мисников, О.С. Современные средства для технологий повышения плодородия почв / О.С. Мисников, А.Е. Тимофеев, С.Н. Гамаюнов // Вестник Тверского государственного университета. – 2011. – № 7. Вып. 9 (Экономика и управление). – С. 87–93.

17. Фаринюк, Ю.Т. Технологический менеджмент кормового луговодства: монография / Ю.Т. Фаринюк, А.В. Диченский, С.Н. Гамаюнов. – Тверь: Изд-во ТГСХА «АГРОСФЕРА», 2008. – 208 с.

18. Пухова, О.В. Влияние механической переработки на водно-физические свойства сырья и продукции / О.В. Пухова, И.О. Королев // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2011. – № 5. – С. 164-169.

УДК 622.331(09)

СТАНОВЛЕНИЕ ТОРФЯНОЙ ОТРАСЛИ (К 100-ЛЕТИЮ ПЛАНА ГОЭЛРО)

Копенкина Л.В.

Тверской государственный технический университет, г.Тверь, Россия

В статье представлен этап становления торфяной отрасли после принятия плана ГОЭЛРО, сыгравшего ключевую роль в развитии электрификации страны и в связи с этим повышением значимости торфа как топлива для электростанций. Это способствовало созданию торфяной промышленности в стране, развитию механизации добычи и переработки торфяного сырья, научных исследований и образования в области торфяного дела.

Становление торфяной отрасли было связано с осуществлением плана электрификации России Государственной Комиссии по электрификации России (ГОЭЛРО), доклад о котором был сделан на VIII съезде Советов 22 декабря 1920 года. Председателем Комиссии был инженер-энергетик Глеб Максимилианович Кржижановский (1872-1959).

26 декабря 1919 года состоялась встреча В.И. Ленина с Г.М. Кржижановским, на которой обсуждались проблема использования торфа для электростанций, значимость первой станции на торфе «Электропередача» [1]. В тот же день Ленин пишет письмо Кржижановскому с просьбой написать статью о запасах торфа, торфяных ма-

шинах [2]. Выходит статья Кржижановского «Торф и кризис топлива» в газете «Правда» 10 января 1920 года.

В историческом письме к Г.М. Кржижановскому от 23 января 1920 года с заданием разработать план электрификации страны Ленин отмечает необходимость предусмотреть в плане строительство электростанций на местном топливе, среди которого на первом месте называет торф [3].

Во введении к плану ГОЭЛРО есть раздел Б. «Электрификация и топливоснабжение» (составлен Г.М. Кржижановским), в котором описывается торф, его природные залежи, торфодобыча [4].

План ГОЭЛРО предусматривал полную реконструкцию топливного баланса страны за счет широкого вовлечения в него местного топлива, в частности торфа. По этому плану доля торфа среди других ресурсов составляла 10,8%, плановая мощность электростанций 190 МВт. По заданию плана ГОЭЛРО был намечен рост добычи торфа с 1,4 млн. т (1920) до 16,4 млн. т, к 1935 г. – 18,5 млн. т [4].

По плану ГОЭЛРО предполагалось строительство электростанций на торфе в I-ую очередь: Шатурская, Иваново-Вознесенская, Ярославская, Нижегородская, Уткина Заводь, Брянская (на торфе и подмосковном угле), Кулебакская (на торфе и от доменных и коксовальных печей газах); во II-ую очередь: Тверская, Берендеевская, Владимирская, Рязанская (на торфе и подмосковном угле).

Вблизи Москвы возле города Богородска уже была построена (1912–1914) первая в России районная электростанция на торфе ГРЭС «Электропередача» (позднее ГРЭС имени Классона) мощностью 15 МВт. Начальником строительства станции был инженер-энергетик Александр Васильевич Винтер (1878-1958). В проектировании и строительстве этой станции участвовал Г.М. Кржижановский.

План ГОЭЛРО не намечал дальнейшего расширения этой станции. Но благоприятные условия торфодобычи и применение гидравлического способа добычи торфа дали возможность расширить эту станцию и к 1930 году довести ее мощность до 46 тыс. кВт.

По образцу «Электропередачи» в суровую зиму 1919 г. началось строительство первой электростанции по плану ГОЭЛРО – Шатурской. На строительство Шатурской ГРЭС были направлены инженеры, техники, квалифицированные рабочие. В 1917–1926 гг. начальником строительства, главным инженером Шатурской электростанции был А.В. Винтер, один из разработчиков плана электрификации России (ГОЭЛРО). Проект электростанции был составлен членами Центрального электротехнического совета Р.Э. Классоном и В.В. Старковым.

Большой и трудной оказалась проблема сжигания торфа. В 1921 году Тихон Федорович Макарьев (1870–1945) провел удачные опыты по сжиганию кускового торфа в шахтно-цепных топках с предварительной подсушкой в котельной 4-й Петроградской трамвайной электростанции на котле Гарбе с поверхностью нагрева 420 м2, тем самым решив задачу рационального сжигания торфа. Паропроизводительность котлов достигла высокого уровня – 50 кг пара с 1 кв. м их поверхности нагрева [5].

В 1922 году было смонтировано три котла с такими топками на временной Шатурской станции, или «Малая Шатура». Котлы типа Ярроу были сняты с военных кораблей. Затем такими топками были оборудованы котлы на электростанции Уткина Заводь.

Подготовительные работы по сооружению основной Шатурской электростанции («Большой Шатуры») проводились с 1920 года, но были остановлены в 1921 году из-за трудностей с продовольствием. 10 июля 1923 года работы возобновлены. К декабрю 1925 года завершилось строительство первой очереди Шатурской ГРЭС, установлено шесть котлов и две турбины по 16 МВт. Торжественное открытие состоялось 6 декабря 1925 года. Станция улучшила снабжение электроэнергией Москвы и Московской области.

Расширение Шатурской электростанции продолжалось, в 1927 году заработал третий турбогенератор, в 1929 году – еще два турбогенератора по 44 МВт и шесть новых котлов. Мощность станции достигла 180 МВт.

Для Шатурской ГРЭС были построены торфопредприятия Шатурское, добывающее торф машино-формовочным способом, и Петровско-Кобелевское, добывающее торф гидравлическим способом. В последующие годы по мере увеличения мощности электростанции и перевода ее на сжигание фрезерного торфа была построена большая группа предприятий: Бакшеевское, Пустошенское, Осаново-Дубовое, Туголесский Бор, Рязановское, Радовицкий Мох и другие, построенные во Владимирской и Рязанской областях.

Иваново-Вознесенская районная электростанция была предназначена для электрификации крупнейшего текстильного района. Место для станции было выбрано в южной части в районе озер Сахтыш и Рубское. Первоначальная мощность должна была составлять 40 тыс. кВт с повышением до 80 тыс. кВт. Ввиду ограниченности средств, изменения места сооружения и решения об увеличении мощности станции строительство началось только 6 мая 1927 года, закончено 5 октября 1930 года.

Для Ивановской ГРЭС первоначально было запроектировано торфопредприятие Марково-Сборное, затем по мере увеличения мощности и потребления топлива были построены Писцовское (Октябрьское), Тейковское и другие.

Строительство Ярославской ГРЭС (Ляпинской электростанции), работающей на торфе вблизи Ляпинского торфяного болота по плану ГОЭЛРО было начато в 1922 году. 21 ноября 1926 года был запущен первый электрический генератор мощностью 5 МВт. К 1932 году было установлено еще три генератора по 11 МВт и 4 котла. До 1934 года эта электростанция снабжала все предприятия Ярославля, Ростова, Костромы, Рыбинска [6].

Нижегородская ГРЭС (имени А.В. Винтера) была построена в городе Балахна. Строительство началось в 1921 году. 6 сентября 1925 года был запущен первый турбогенератор. Мощность первой очереди составляла 20 МВт. Торф для этой электростанции добывался гидравлическим способом на Чернораменской торфоразработке [7]. К промышленной добыче торфа приступили в 1924 году.

К 1934 году Нижегородская электростанция достигла проектной мощности 204 МВт и стала самой крупной электростанцией на торфяном топливе в СССР и во всем мире. В годы первых пятилеток Нижегородская ГРЭС способствовала развитию предприятий Нижнего Новгорода, Балахны, Дзержинска, Павлова и других городов. В дальнейшем были построены торфопредприятия Чистое, Мугреевская группа, Ситниковское, Чистое-Борское, Керженецкое и другие.

Тепловая электростанция Уткина Заводь строилась вблизи Петрограда. 8 октября 1922 года состоялся пуск станции, получившей название «Красный Октябрь». В 1927 году началось строительство второй очереди. Торф поставлялся с Синявинских болот и Ириновских торфоразработок.

К 1930 году мощность электростанции «Красный Октябрь» возросла в 10 раз и составила 110 МВт. Вместе с расширением станции строились и развивались торфопредприятия Синявино, Шувалово, Ириновское, Дунай и Щеглово.

В 1927 году приступили к строительству Брянской районной электростанции мощностью 22 МВт на торфяном массиве Пальцо.

Кулебакская электрическая станция была предназначена для электрификации крупных металлургических заводов – Кулебакского и Выксунского. Топливом для нее послужил торф, залежи которого имелись вблизи.

По плану ГОЭЛРО на месторождении Оршинский Мох в Твери проектировалась электростанция мощностью 100 МВт, но был принят вариант реконструкции станции ТЭЦ-1.

Берендеевская электростанция проектировалась мощностью до 40 МВт возле Берендеевского болота во вторую очередь, предназначена для подачи тока в Москву. когда мощность других станций, питающих Московский подрайон, окажется недостаточной.

Тепловая станция по плану ГОЭЛРО планировалась на Назиевских торфяных болотах мощностью 40-60 МВт. В апреле 1930 года на левом берегу Невы в районе Невской Дубровки была выбрана площадка для строительства станции. Проектная мощность была установлена 200 МВт с возможностью расширения до 300 МВт. Руководил строительством станции инженер А.А. Котомин [8]. 27 марта 1933 года был включен первый генератор мощностью 50 МВт, дан ток Ленинграду. В 1940 году станция была выведена на полную мощность 200 МВт, имела 4 турбогенератора по 50 МВт и 7 котлов, работавших на торфе и сланце. Станция стала первой электростанцией, построенной советскими специалистами и оснащенной полностью отечественным оборудованием [8].

Почти все торфяные электростанции, сооруженные по плану ГОЭЛРО, проектировались для использования кускового торфа.

Строительство электростанций, работающих на торфе, способствовало развитию механизации торфяной промышленности.

Увеличение добычи торфа должен был обеспечить гидравлический способ добычи – Гидроторф в соответствии с программой «Гидроторф». В 1920 году производство кускового торфа гидравлическим способом составило 5,6 тыс. т. В 1921 году на «Электропередаче» (торфяное предприятие им. Классона, г. Электрогорск) уже работали два агрегата гидроторфа, которые добыли около 17 тыс. т торфа.

В 1920-е годы в России были начаты научно-исследовательские и опытно-конструкторские работы в области искусственного обезвоживания торфа. В 1923 году был построен опытный завод искусственного обезвоживания торфа в пос. Электропередача. Конечной стадией процесса являлось брикетирование искусственно обезвоженной гидромассы.

С 1920-х годов разрабатывались и внедрялись также экскаваторный и фрезерный способы добычи торфа.

Возникли большие проблемы при хранении и транспорте фрезерного торфа из-за его самовозгорания. Малый объемный вес, требовавший больших складских площадей, большого числа вагонов, нескольких топливоподающих устройств, больших размеров бункеров у

котлов, смерзание, высокая влажность, зольность, в связи с этим затрудненный процесс сжигания и золошлакоудаления заставили принять решение о сжигании фрезерного торфа после дробления.

В 1922 году на базе научно-учебного отдела создан научно-экспериментальный торфяной институт – Инсторф, который возглавил И.И. Радченко. Инсторф находился в Москве, а его экспериментальная база (ТОС) на торфяном месторождении «Галицкий Мох» вблизи железнодорожной станции Редкино.

В дальнейшем был создан научно-исследовательский институт механизации торфяной промышленности (ВИМТ), его экспериментальная база, начато строительство крупных торфяных предприятий, завода торфяных машин.

К концу 1933 года в СССР на торфе работало более 15 электростанций общей мощностью 1000 МВт в Московской, Ленинградской, Калининской, Брянской, Ивановской, Ярославской, Горьковской, Владимирской, Кировской, Свердловской и других областях.

Одновременно с этим шло строительство тепловых электростанций, промышленных котельных и газогенераторных станций на торфе при предприятиях различных отраслей промышленности – тяжелого машиностроения, текстильной, стекольной и других.

Соответственно увеличивающейся потребности в торфе шло проектирование и строительство торфяных предприятий в союзных республиках и областях Российской Федерации.

Наряду с проектированием и строительством торфяных предприятий для добычи торфа на топливо проектировалось производство теплоизоляционных плит из торфа, торфококсовальных заводов, производство газа из торфа, торфоподстилочных заводов, торфохимических комбинатов, разнообразной торфяной продукции. В 1932 году был организован Институт по проектированию предприятий по добыче и переработке торфа – Гипроторф.

Значение плана ГОЭЛРО в целом состояло в том, что были заложены фундаментальные основополагающие технические решения, обеспечившие дальнейшее эффективное развитие теплоэнергетики СССР, а для торфяного дела осуществление плана ГОЭЛРО обеспечило его развитие, включающее все направления: торфоразведочные работы, механизация осушения, подготовки полей, добычи и переработки торфа, научно-исследовательские работы, подготовка квалифицированных кадров.

Библиографический список:

1. Кржижановский, Г.М. Великий Ленин / Г.М. Кржижановский. - М.: Политиздат, 1968. - С. 98.

2. Ленин, В.И. Полн. собр. соч. - Т. 51. - С. 105.
3. Ленин, В.И. Полн. собр. соч. - Т. 40. - С. 62-63.
4. План электрификации РСФСР: доклад VIII съезду Советов Государственной комиссии по электрификации России. Второе издание. - М.: Гос. изд. полит. лит., 1955. - 660 с.
5. Флаксерман, Ю.Н. Теплоэнергетика СССР / Ю.Н. Флаксерман. 1921. – 1980. М.: Наука, 1985. - 214 с.
6. www.istmat.info/node/34585. (дата обращения 18.10.2020).
7. www.bmihk.ru (дата обращения 17.10.2020).
8. www.dubrovtec.ru/content/istoriya-kompanii (дата обращения 22.10.2020).

УДК 622.331

ИССЛЕДОВАНИЕ УВЛАЖНЕНИЯ ФРЕЗЕРНОЙ КРОШКИ В НОЧНЫЕ ЧАСЫ

Столбикова Г. Е., Купорова А.В.
Тверской государственный технический университет

Установлено, что при сушке фрезерного торфа в тонком расстиле на влажном монолите ночного увлажнения в устойчивый по метеорологическим показателям период (июнь, июль) практически не происходит. В мае и августе, когда погодные условия ухудшаются, интенсивность ночного увлажнения при увеличении удельной загрузки поля возрастает как за счет конденсации паров влаги из торфяной залежи, так и из воздуха за счет росы

При производстве фрезерного торфа одной из главных технологических операций является сушка измельченных частиц. Эти частицы имеют контакт с влажной подстилающей залежью, из которой их получают путем измельчения (фрезерования). Как правило, влага из залежи поступает или в сушимый слой фрезерной крошки (положительный влагообмен), или мигрирует в более глубокие слои торфяной залежи (отрицательный влагообмен)[1]. Интенсивность этого влагообмена зависит от потенциала переноса влаги (или концентрации влаги) в поверхностном слое залежи. Это зависит от уровня стояния грунтовых вод, типа и структуры залежи, а также от вида торфяной продукции.

В процессе сушки влага испаряется не только из сушимой крошки, но и из верхних слоев залежи. Количество испарившейся влаги из-за малой скорости перемещения ее в тонких капиллярах и пленках не компенсируется подводом влаги из более глубоких слоев залежи.

Вследствие этого снижается влажность верхней зоны торфяной залежи, что является положительным фактором для сушки фрезерной крошки. Для снижения влажности верхних слоев торфяной залежи проводятся различные гидротехнические мероприятия, основными из которых является осушение залежи с помощью осушительных систем.

Так как сушка фрезерной крошки происходит в естественных условиях, то испарение влаги осуществляется под действием тепла воздушных масс и солнечной радиации. С увеличением солнечной радиации происходит интенсификация испарения влаги. Также на интенсивность испарения влаги из крошки влияет температура и относительная влажность воздуха, которые в течение суток зависят от суточного хода солнечной радиации (рис. 1).

Температура воздуха минимальна незадолго до восхода солнца, затем повышается и примерно в 14 ч достигает максимальных значений. Относительная влажность воздуха имеет максимальное значение незадолго до восхода солнца, а минимум совпадает по времени с максимумом температуры воздуха. Вследствие этого для сушки торфа оптимальная длительность процесса принимается в мае и августе 10 ч, а в июне, июле – 12 ч. В ночные же часы примерно с 19 ч одних суток до 7 ч утра следующих суток происходит увлажнение сушимой крошки торфа.

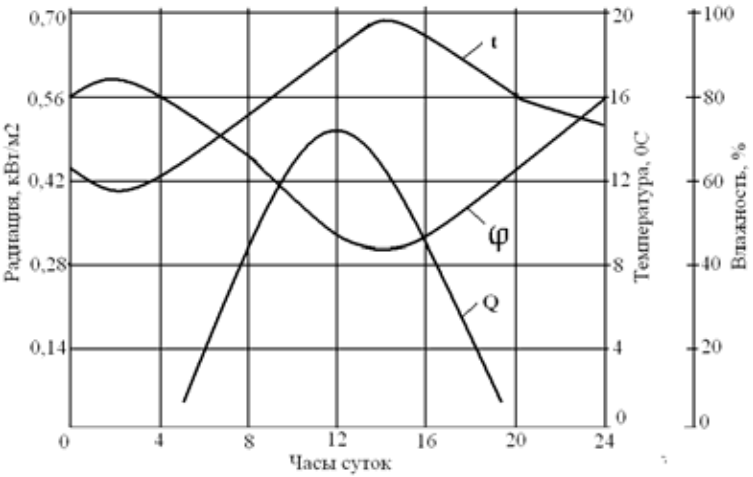


Рис.1 Суточный ход солнечной радиации, температуры и относительной влажности воздуха

Вопросами увлажнения крошки торфа в ночные часы стали заниматься с первых лет внедрения фрезерного способа добычи торфа. Было установлено, что на полях сушки фрезерный торф увеличивает свою влажность за ночь на 2 – 5 %, вследствие конденсации паров влаги из подстилающей залежи в крошку [2]. Увлажнение за счет росы и влагообмена с грунтом составляет за одну ночь в мае, августе 0,2 мм, в июне, июле -0,1 мм. Позднее (в 60-х годах прошлого века) [3] было подтверждено, что за ночь в расстил фрезерной крошки поступает 0,3 – 0,4 мм влаги, из которых до 7 часов утра испаряется 0,2 -0,3 мм. Эти данные получены для хорошо разложившегося низинного торфа. Торф слабой степени разложения, особенно влагоемкие верховые виды, увлажняются значительно больше.

Неизмеримо большее значение может иметь влагообмен с подстилающей залежью в виде капельножидкой влаги. При конвективной сушке грунтовая вода по капиллярам поднимается вверх и увлажняет слой фрезерного торфа. Количество такой воды зависит от уровня расположения грунтовых вод (нормы осушения), диаметра капилляров, площади контакта между слоем торфа и подстилом, качества (плотности) этого контакта, способности самого слоя поднимать воду (фракционный состав крошки, плотность слоя), разности по влажности соприкасающихся поверхностей и ряда других факторов. Определение всех этих взаимозависимостей является довольно сложным процессом. Для практического решения данного вопроса важно знать какое количество влаги поступает в слой за весь период сушки для конкретной торфяной залежи и при известном расположении грунтовых вод. Для низинной хорошо разложившейся торфяной залежи поступление воды в сохнущий слой за счет капиллярного поднятия незначительно только при расположении уровня грунтовых вод глубже 50 – 70 см, во всех остальных случаях оно составляет довольно большую величину. Приведенные данные по увлажнению фрезерной крошки за счет влагообмена с грунтом и от росы (ночное увлажнение) справедливо только для существующей технологии при длительности цикла двое суток, нормативной глубины фрезерования и при нормальном осушении полей добычи при норме осушения более 70 см.

Исследования по определению величины ночного увлажнения тонкого расстила фрезерной крошки ранее не проводились. В связи с разработкой и изучением новых схем сушки торфяной крошки в тонком расстиле встала необходимость в проведении данных работ. На действующем торфяном предприятии Тверской области проводились опыты по сушке фрезерной крошки по так называемому «переходному» цикловому графику, когда цикл начинался во второй половине од-

них суток, а заканчивался в первой половине светового дня вторых суток. В период с 15 по 30 июля было проведено 6 опытов в условиях погоды с перемежающимися дождевыми промежутками. Опыты проводились с низинным торфом степенью разложения 35 -40 %. Глубина фрезерования изменялась от 3,35 до 6,70 мм, влажность торфяной залежи на глубину 10 мм составляла от 65,9 до 72,9 % (среднее влагосодержание 2,27 кг/кг), средневзвешенный диаметр частиц фрезерной крошки 2,05 мм, уровень стояния грунтовых вод более 70 см. На рис. 2 приведен график сушки фрезерной крошки по средним показателям из 6 опытов. Как видно из графика, в период от 19 часов первых суток и до 7 часов утра следующих суток, увлажнения слоя фрезерной крошки практически не наблюдалось. Очевидно, что если увлажнение в ночные часы и было, то оно компенсировалось возможным испарением в вечерние часы (после 19ч) и в утренние часы (до 7ч утра). Следовательно, в установившейся летний период (июнь, июль) при сушке фрезерной крошки в тонком расстиле увлажнением торфа в ночные часы можно пренебречь. Сушка крошки в вечерние и утренние часы переходного цикла проходит достаточно устойчиво.

Работы по исследованию процессов увлажнения фрезерного торфа в ночные часы были продолжены в августе месяце на том же предприятии. Проведено 18 опытов. Глубина фрезерования залежи изменялась с 1,99до 14,78 мм (удельная загрузка по сухому веществу соответственно составляла от 0,522 до 3,97 кг/м^2). Влагосодержание крошки в 19 часов было от 0,5 до 2.08 кг/кг, в 7 часов утра стало от 1,2 до 2,228 кг/кг.

По результатам опытов определена интенсивность ночного увлажнения и методом средних проведена обработка полученных данных, в результате которой установлена эмпирическая зависимость интенсивности ночного увлажнения от удельной загрузки по сухому веществу торфа. Она имеет вид

$$I_{увл} = P_c / (8{,}52 P_c + 17{,}75), \; кг/м^2ч$$

Формула справедлива для расчета интенсивности ночного увлажнения расстила фрезерной крошки низинного типа залежи степенью разложения 35 -40%, средневзвешенного диаметра частиц 2 мм удельной загрузки P_c = (0,522 -3,97)кг/м^2, влагосодержания крошки (0,43 -2,3) кг/кг.

Из этой формулы и из графика (рис.3) следует, что интенсивность ночного увлажнения увеличивается с ростом загрузки поля по сухому веществу, так при удельной загрузке 0.5 кг/м^2 увлажнение составляет 0,23 мм, а при загрузке 3 кг/м^2 ночное увлажнение увеличилось в 2,5 раза и составило 0,59 мм. Если в июле месяце вся поступив-

шая влага в ночное время в сушимую крошку к 7 часам утра следующих суток полностью испаряется (рис.2), в то время как в августе месяце к 7 часам утра испаряется только 50 % влаги. Увлажнение расстила фрезерной крошки происходит за счет конденсации паров влаги как из монолита, так и из воздуха (росы), вследствие того, что в приземном слое крошки относительная влажность воздуха близка к 100%. Кроме того, в ночное время за счет снижения температуры как воздуха, так и крошки торфа происходит конденсация паров в виде росы. Увлажнение фрезерной крошки за счет росы определялось путем сушки фрезерной крошки на полиэтиленовой пленке. Установлено, что величина этого увлажнения не зависит от удельной загрузки поля по сухому веществу и в среднем равна $i_{росы}$=0,0105*кг/м²ч* (для августа месяца), это составляет за ночь $i_{росы}$=о,125 мм (рис.3, у=*а*).

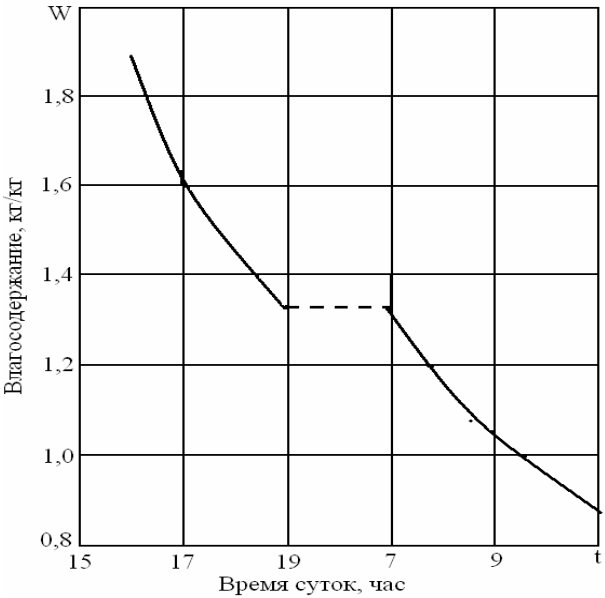


Рис. 2 Кривая сушки фрезерного торфа по переходному цикловому графику

Установить зависимость ночного увлажнения от начального влагосодержания сушимой крошки не удалось.

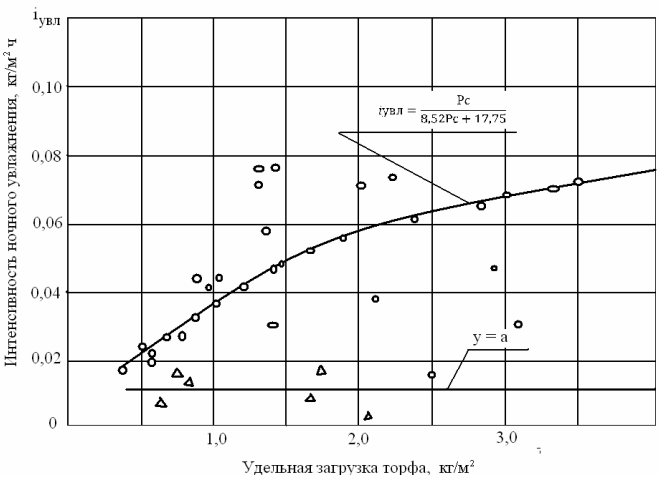


Рис. 3. Зависимость интенсивности ночного увлажнения от удельной загрузки поля

Таким образом, на основании проведенных исследований, установлено, что при сушке фрезерной крошки в тонком расстиле увлажнения в ночные часы в установившейся период (июнь, июль) не происходит и им при расчетах длительности сушки можно пренебречь. В мае и августе, когда метеорологические условия сушки ухудшаются и общая продолжительность сушки становится (вместо 12 ч в июне, июле) только 10 ч, происходит как увлажнение крошки за счет переноса влаги из подстилающей залежи , так и за счет росы. Вследствие этого, при расчете длительности циклов необходимо учитывать ночное увлажнение, если технологические циклы окажутся незаконченными в течение одних суток в данном периоде сезона.

Библиографический список:

1. Столбикова, Г.Е Исследование термовлагопроводности при сушке фрезерного торфа /Г.Е. Столбикова, А.В. Купорова. Труды Инсторфа. 2017. №15(68). С.10 -14

2. Степанов, М.Р. К вопросу о сушке фрезерного торфа в зависимости от гидрометеорологических условий / М.Р.Степанов. Торфяное дело. 1933.№9. с.9-12.

3. Варенцов, В.С. Технология производства фрезерного торфа./ В.С. Варенцов, А.В.Лазарев. Госэнергоиздат, М. 1962.С.335.

4. Богатов, Б.А. Математические методы в торфяном производстве/Б.А.Богатов, В.Д. Копенкин. М. Недра, 1991. С.240.

УДК 622.232.72.063

ВЛИЯНИЕ ДОПОЛНИТЕЛЬНЫХ ПОГРУЗОЧНЫХ УСТРОЙСТВ НА ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТЬ ОЧИСТНЫХ КОМБАЙНОВ СО ШНЕКАМИ МАЛЫХ ДИАМЕТРОВ

Шабаев О.Е., Степаненко Е.Ю., Бридун И.И., Зинченко П.П.
Донецкий национальный технический университет

Модельные исследования рабочего процесса очистного комбайна для тонких пологонаклонных пластов показал, что максимальная производительность обеспечивается при отсутствии дополнительных погрузочных устройств. Применение дополнительных погрузочных устройств повысит эффективность погрузки горной массы опережающим шнеком на забойный конвейер, но приведет к интенсификации процесса циркуляции разрушенного угля в шнеке, что обусловливает снижение производительности комбайна.

Высокоэффективная добыча угля из тонких пологонаклонных пластов Донбасса очистными комбайнами со шнеками малых диаметров затруднена недостаточной их погрузочной способностью [1]. Работа комбайнов сопровождается остатком не погруженной горной массы на почве пласта после его прохода, что может привести к всплыванию рештачного става забойного конвейера по штыбовой подушке при его передвижке на «новую машинную дорогу», и как следствие, к уходу забоя в кровлю пласта. Улучшить погрузку остатка не погруженной горной массы после комбайна и минимизировать шанс всплывания рештачного става конвейера можно путем прижатия лемеха к почве пласта [2, 3]. Исследования [4, 5] отмечают снижение остатка не погруженной горной массы на почве пласта после прохода комбайна, оснащенного дополнительными погрузочными элементами, а также повышение удельных энергозатрат погрузки порядка 1,5 – 2,0 раза в виду увеличения циркуляции выгружаемой горной массы в рабочем пространстве шнека. При этом не ясно, как дополнительные погрузочные элементы повлияют на производительность комбайна.

Объектами исследований являются узкозахватные очистные комбайны нового технического уровня со шнеками малых диаметров, работающих в условиях тонких пологонаклонных пластов.

Компоновочная схема современных очистных комбайнов со шнековыми исполнительными органами малого диаметра для выемки тонких пологонаклонных пластов предполагает размещение корпуса в уступ забоя. Дополнительную устойчивость комбайна обеспечивает опорная

лыжа, расположенная под вынесенным на забой корпусом (например, комбайны К103М, УКД200-250, УКД200-500, УКД400, МВ 444Р и т.д.). Для нормальной эксплуатации комбайна, опережающий исполнительный орган разрушает прилегающую к почве пласта пачку угля и осуществляет погрузку отбитой массы на рештачный став забойного конвейера, а отстающий шнек выполняет функцию разрушения оставшейся угольной пачки у кровли (рис. 1).

Размещенный в уступ забоя корпус (рис. 1 а) выполняет функцию погрузочного щитка с зазорами, в которых размещается не выгруженная горная масса опережающим исполнительным органом (например, комбайн УКД200-500, и др.). Для уменьшения остатка не погруженной горной массы опережающим исполнительным органом, в нижней части на всю ширину вынесенного корпуса, устанавливается зачистной лемех (рис. 1 б) (например, комбайны УКД200-250, УКД400, МВ 444Р, и т.д.). Для ликвидации остатка горной массы после опережающего шнека, очистной комбайн оснащается полноразмерным погрузочным щитком (рис. 1 в) (например, комбайн К103М, и др.). В общем случае, объем в единицу времени остатка горной массы на почве пласта после прохода очистного комбайна, для приведенных компоновочных схем размещения дополнительных погрузочных устройств, определим как:

$$V_{\text{ост}} = k_{\text{з.з.}} \times S_{\text{заз}} \times V_{\text{п}} + \left(\overline{H}_{\text{пл}} - D_{\text{ио}}\right) \times B_{\text{з}} \times V_{\text{п}} \times l \ , \ [\text{м}^3/\text{мин}]$$

где: $k_{\text{з.з.}}$ – коэффициент, учитывающий заполнение зазоров не выгруженной горной массой опережающим шнеком; $S_{\text{заз}}$ – площадь зазоров между вынесенным корпусом и горным массивом, на основе рис. 1 можно определить по выражениям:

$$S_{\text{заз}} = \begin{cases} \text{установленный щиток с зазорами} \\ 0{,}5 \times \left(D_{\text{ио}} - h_{\text{кор}}\right) \times B_{\text{з}} + \left(B_{\text{з}} - l_{\text{кор}}\right) \times h_{\text{кор}} \\ \text{установленный зачистной ллемех} \\ 0{,}5 \times \left(D_{\text{ио}} - h_{\text{кор}}\right) \times \left(B_{\text{з}} - l_{\text{кор}}\right) + \left(B_{\text{з}} - l_{\text{кор}}\right) \times h_{\text{кор}} \\ \text{установленный полноразмерный погрузочный щиток} \\ 0 \end{cases} , \ [\text{м}^2]$$

$D_{\text{ио}}$ – диаметр исполнительного органа по резцам, м; $B_{\text{з}}$ – ширина захвата шнека, м; $h_{\text{кор}}$, $l_{\text{кор}}$ – высота и длина вынесенного на забой корпуса комбайна соответственно, м; $\overline{H}_{\text{пл}}$ – средняя мощность вынимае-

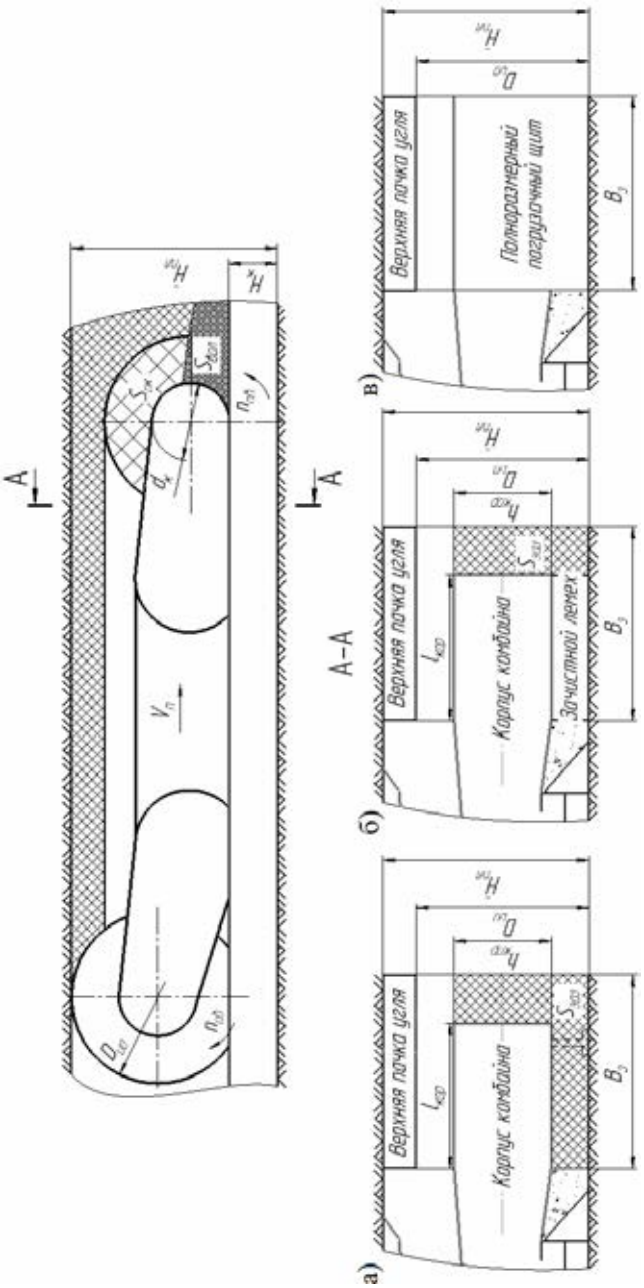


Рис. 1. К определению площади зазором между корпусом комбайна и горным массивом с:
а) погрузочным щитком с зазорами; б) зачистным лемехом; в) полноразмерным погрузочным щитом

мого пласта, м; $V_{п}$ – скорость перемещения очистного комбайна, м/мин; l – коэффициент разрыхления разрушенной горной массы [4, 6].

Согласно [7, 8], при работе очистных комбайнов можно выделить зоны, которые оказывают значительное влияние на производительность. Границы этих зон, напрямую зависят от геометрических и режимных параметров, а также компоновки очистных комбайнов. Согласно [7-9] производительность комбайнов, эксплуатируемых в условиях тонких пологонаклонных пластов, ограничивается скоростью перемещения машины по условию отсутствию циркуляции в рабочем пространстве опережающего шнекового исполнительного органа малого диаметра:

$$V_{п}^{заз} = \frac{S_{ок}^{ср} \times V_{ос} \times N_{зах}}{D_{ио} \times B_{з} \times l - S_{заз}}, \text{ [м/мин]}$$

где: $S_{ок}^{ср}$ – среднее значение площади окна выгрузки с учетом частичного его перекрытия сформированным «валком» не погруженной горной массы [8], м^2; $V_{ос}$ – скорость перемещения выгружающей лопасти в осевом направлении, м/мин; $N_{зах}$ – число заходов шнека, шт.

Для установления влияния дополнительных погрузочных устройств на работу очистного комбайна воспользуемся адекватной математической моделью [10], способной имитировать процессы разрушения и погрузки горной массы шнеками малого диаметра. При моделировании на основе анализа горно-геологических условий шахтопластов Донбасса, средняя мощность пласта принималась равной 0,85 м. В качестве исследуемого очистного комбайна принят комбайн УКД400, как представитель выемочной техники нового технического уровня, со шнеком диаметром и шириной захвата равными 0,8 м. Основными выходными параметрами математической модели являются объемы в единицу времени: разрушения $V_{т}^{опер}$, погрузки $V_{в}$, переброса $V_{пер}$ и остатка не выгруженной горной массы опережающим шнеком $V_{ост}^{опер}$, а также циркуляции транспортируемого угля в рабочем пространстве шнека $V_{цир}$.

В качестве примера результатов модельного эксперимента на рис. 2 приведено графическое представление процесса погрузки разрушенной горной массы опережающим исполнительным органом при работе очистного комбайна УКД400, оснащенного дополнительными погрузочными устройствами. На рис. 2 римскими цифрами обозначены границы зон неограниченной выгрузки (I), ограниченной выгрузки

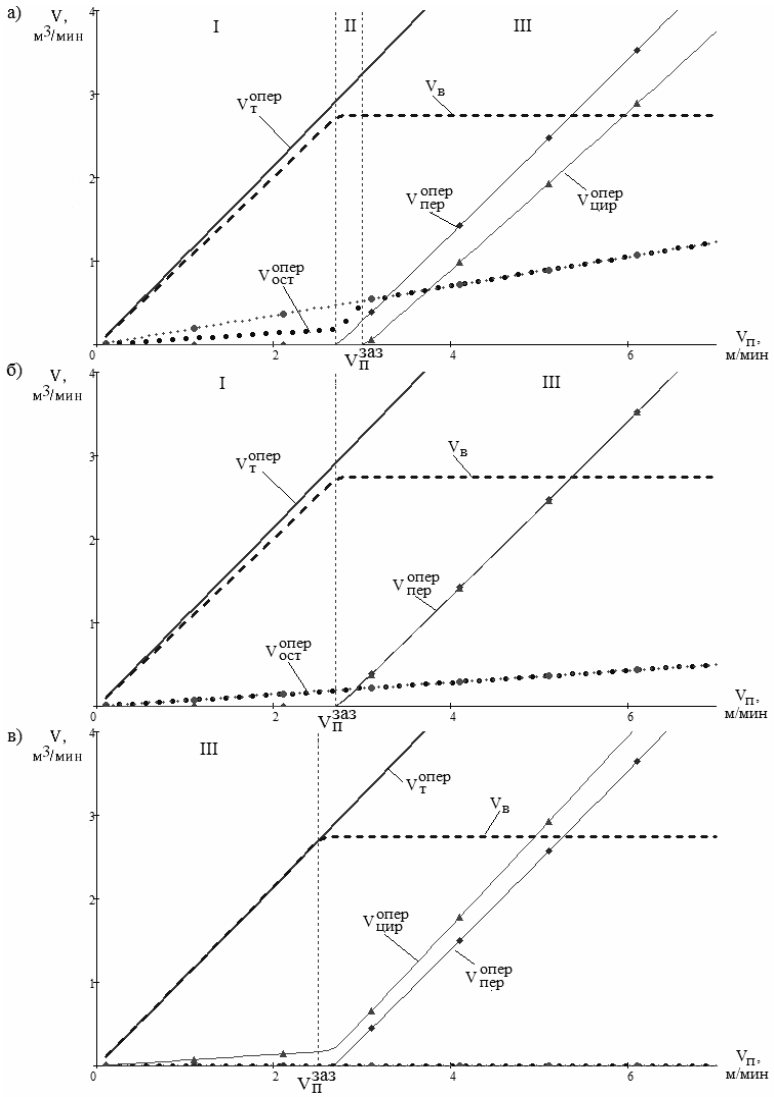


Рис. 2. Графическое представление процесса погрузки разрушенной горной массы опережающим шнеком комбайна, оснащенного:
а) погрузочным щитком с зазорами; б) зачистным лемехом;
в) полноразмерным погрузочным щитком

(II), а также начала циркуляции (III) [8]. Для оценки влияния дополнительных погрузочных устройств на остаток не погруженной горной массы с использованием выходных данных математической модели и выше приведенных зависимостей построен график объема остатка в единицу времени не выгруженной горной массы как функции скорости перемещения комбайна (рис. 3).

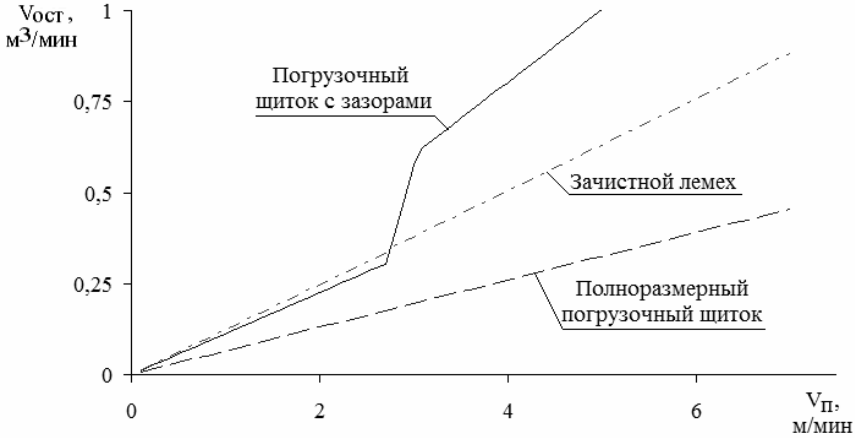


Рис. 3. Объем остатка разрушенной горной массы в единицу времени на почве пласта после прохода комбайна

Анализ результатов модельных исследований (рис. 2, 3) показал, что дополнительные погрузочные устройства оказывают значительное влияние на процесс погрузки и не исключают формирование остатка не погруженной горной массы на почве пласта. Так, установка на комбайн зачистного лемеха в сравнении со щитком с зазорами приведет к уменьшению объема в единицу времени остатка не погруженной горной массы на почве пласта порядка 1,72 раза, при этом производительность комбайна снижается в 1,11 раза. Оснащение комбайна полноразмерным погрузочным щитком приведет к уменьшению остатка горной массы на почве пласта и производительности комбайна порядка 3,40 и 1,16 раза соответственно. Согласно данным специалистов ДОНГИПРОУГЛЕМАШ, опыт использования механизированных комплексов в условиях шахт Донбасса показал, что незначительный остаток не погруженной горной массы на почве пласта будет погружен самонавалкой при передвижке конвейера на «новую машинную дорогу».

Из выше сказанного следует, что дополнительные погрузочные устройства снижают производительность очистного комбайна. При этом применение дополнительных погрузочных устройств на комбайнах, работающих в условиях более тонких пологонаклонных пластов, приведет к более существенному снижению производительности. Целесообразно с точки зрения обеспечения наибольшей производительности машины использовать вынесенный в уступ забоя корпус как погрузочный щиток с зазорами, если нет ограничений по погрузке остатка горной массы самонавалкой при передвижке конвейера на «новую дорогу».

Выводы: Модельные исследования процесса погрузки разрушенной горной массы шнеками малых диаметров показали, что применение очистных комбайнов без дополнительных погрузочных устройств на опережающем исполнительном органе обеспечивает:

- повышение производительности в 1,11 и 1,16 раза по сравнению с использованием дополнительного лемеха и полноразмерного погрузочного щитка соответственно. Применение дополнительных погрузочных устройств приводит к интенсификации процесса циркуляции выгружаемой горной массы в рабочем пространстве шнека;

- увеличение остатка разрушенной горной массы на почве пласта после прохода комбайна в 1,72 и 3,40 соответственно. Вместе с тем, остаток горной массы на почве пласта может быть догружен самонавалкой при передвижке конвейера на «новую машинную дорогу».

Библиографический список:

1. Горбатов П.А. Горные машины для подземной добычи угля [Текст]: учеб. пособие для вузов / П.А. Горбатов [и др.] / под общей ред. П.А. Горбатова. – Изд. 2-е., перераб. и доп. – Донецк: Норд Компьютер, 2006. – 669 с.; – Библиогр.: с. 668-669 – 1000 экз. – ISBN 966-377-025-2.

2. Патент № 2225510 C2 Российская федерация, МПК E21D 23/04, E21D 23/08, E21D 24/14 Устройство для соединения секций крепи с конвейером.: № 2002104167/03; заявл. 18.02.2002: опубл. 10.03.2004 / Нелюбин Ю.И.; заявитель Нелюбин Ю.И. – 7 с.: ил. – Текст: непосредственный

3. Патент № 2219346 C2 Российская федерация, МПК E21D 23/08 Механизм перемещения секции крепи и конвейера.: № 2001124028/03; заявл. 29.08.2001: опубл. 20.12.2003 / Андреев Г.В., Вассерман И.Г., Косарев В.В., Косарев И.В., Лаптев А.Г., Непомнящий А.Л..; патентообладатель Донгипроуглемаш. – 8 с.: : ил. – Текст: непосредственный

4. Миничев В.И. Угледобывающие комбайны. Конструирование и расчет [Текст] / В.И. Миничев – М., 1976. – 248 с.; – Библиогр.: с. 248 – 2700 экз.

5. Тарасевич, В.И. Погрузочный щит и его влияние на выгрузку угля шнеками малого диаметра [Текст] / В.И. Тарасевич, А.В. Тарасевич, Вісті Донецького гірничого інституту. – №2, Донецк, 2005. – С. 164 – 171.

6. КД 12.10.040-99. Комбайны очитсные. Методика выбора параметров и расчета сил резания и подачи на исполнительных органах Текст] – Взамен ОСТ 12.44.258-84. Введен с 01.01.2000. Донецк: Минуглепром Украины, 1999. – 75 с.

7. Шабаев, О.Е. Методика выбора параметров очистных комбайнов со шнеками малых диаметров применительно к заданным горно-геологическим условиям [Текст] / О.Е. Шабаев, В.Г. Нечепаев, П.П. Зинченко, Вестник Донецкого национального технического университета. – № 3, Донецк, 2020. – С. 20 – 28.

8. Шабаев, О.Е. Установление зависимости погрузочной способности шнековых очистных комбайнов от их режимных параметров на основе модельных и натурных экспериментов [Текст] / О.Е. Шабаев, В.Г. Нечепаев, Е.Ю. Степаненко, П.П. Зинченко, Вестник Донецкого национального технического университета. – № 3, Донецк, 2019. – С. 42 – 51.

9. Шабаев, О.Е. К определению технической производительности очистных комбайнов работающих в условиях тонких и весьма тонких пологонаклонных пластов [Текст] / О.Е. Шабаев, В.Г. Нечепаев, Е.Ю. Степаненко, П.П. Зинченко, Вестник Донецкого национального технического университета. – № 4, Донецк, 2019. – С. 44 – 52.

10. Нечепаев, В.Г. Имитационная модель функционирования шнековых очистных комбайнов, предназначенных для выемки тонких пологонаклонных пластов [Текст] / В.Г. Нечепаев, О.Е. Шабаев, Е.Ю. Степаненко, П.П. Зинченко. Прогрессивные технологии и системы машиностроения. ДонНТУ. – № 2 (65), Донецк , 2019. – С. 26 – 34.

УДК: 691.539.216

ОПТИМИЗАЦИЯ ГРАНУЛОМЕТРИЧЕСКОГО СОСТАВА МИНЕРАЛЬНОЙ ЧАСТИ МЕЛКОЗЕРНИСТЫХ БЕТОНОВ, МОДИФИЦИРОВАННЫХ УЛЬТРАЗВУКОМ

Белов В.В., Куляев П.В., Артемьев А.А.
Тверской государственный технический университет, г. Тверь, Россия

Ультразвуковые методы широко используются в строительной отрасли как методы дефектоскопии и неразрушающего контроля физико-механических характеристик бетона в конструкциях. В то же время ультразвуковая обработка бетонной смеси и свежеуложенного бетона может быть использована и для изменения ее структуры и свойств. Актуальность темы напрямую связана с рассмотрением вопросов, связанных с экономией в строительстве, поскольку позволяет снизить затраты на дорогостоящие цементы в составе бетона.

Ультразвуковые методы нашли широкое применение в строительной отрасли, как способы дефектоскопии и неразрушающего контроля физико-механических характеристик бетона в конструкциях. В

то же время ультразвуковая обработка бетонной смеси и свежеуложенного бетона может применяться для целей модификации его структуры и свойств [1,2]. В акустическом ультразвуковом поле под влиянием волнового давления возникают очаги коагуляционного уплотнения цементного теста и при слиянии в сплошной слой вытесняется вода вместе со взвешенными в ней высокодисперсными фракциями цемента, образующимися в результате кавитационного разрушения крупных частиц. Кавитация активизирует силы внутреннего сцепления между частицами цемента и микрочастицами известняка, что способствует компактному пространственному взаиморасположению частиц твердой фазы и повышению количества контактов между частицами – увеличению координационного числа [2].

При этом следует ожидать и обратного эффекта – повышения эффективности самой ультразвуковой обработки, так как очевидно, что чем больше контактов между частицами и чем рациональнее их взаимное распределение внутри исходной структуры, зависящие в том числе от гранулометрического состава минеральной части бетона, тем выше степень кавитационного схлопывания пузырьков внутри смеси и меньше дефектность структуры бетонной смеси и самого бетона. Причем, эффективность ультразвуковой обработки кроме того будет определяться и ее параметрами (режимом и временем).

На первом этапе работы производили оптимизацию зернового состава минеральной части мелкозернистого бетона (пескобетона), на котором проверяли влияние ультразвуковой обработки.

Чтобы заполнитель полностью выполнял отведенную ему роль твердого скелета мелкозернистого композита, необходимо распределить его частицы таким образом, чтобы более мелкие фракции располагались в промежутках между крупными частицами, не раздвигая их. Это возможно только при наличии в заполнителе в оптимальном количестве как минимум трех песчаных фракций, средние размеры которых должны соотноситься в определенной пропорции [3]. Данные по исходному грансоставу песков крупных и средней крупности показывают, что наиболее эффективным с точки зрения технологии и затрат на просеивание, является разделение песка на фракции с размерами частиц: 0-0,5 мм; 0,5-1,25 мм; 1,25-3,2 мм, и их смешение в оптимальном соотношении.

В данной работе определяли область соотношений указанных фракций песка, обеспечивающих наиболее плотную упаковку частиц заполнителя, как путем теоретических выкладок, так и экспериментальным способом, при этом критерием плотной упаковки служило максимальное значение насыпной плотности заполнителя. В расчет-

ном способе используется физическая модель рассматриваемой смеси трех фракций и делается попытка расчетным путем прийти к оптимальному гранулометрическому составу минеральной части.

Рассмотрение физических моделей упаковки сыпучих материалов удобно начинать с систем, составленных из геометрических тел шарообразной формы, поэтому ниже приведен расчет тернарной (сухой сыпучей смеси, состоящей из трех фракций) смеси, где частицы фракций приняты за шары. В процессе формирования сыпучих заполненных систем на основе нескольких фракций с различными диаметрами сфер, фракция с максимальными размерами тел выбирается как скелетная, которой в первоочередном порядке условно заполняется единица объема сыпучей заполненной системы. Расчет составов сферозаполненных сыпучих систем произведен с учетом явлений раздвижки сфер сферами и заполнения межсферических пустот сферами меньших размеров. Объем монолитного материала в единице объема сферофракции равен 0,6, а объем пустот – 0,4.

Средние диаметры сфер для указанных выше трех фракции кварцевого песка равны: d_1 = 2,725 мм, d_2 = 0,875 мм, d_3 = 0,25 мм. Для приготовления 1 м^3 состава тернарной сыпучей смеси расход указанных сферо-фракций определяется следующим образом.

Определяются объемные коэффициенты раздвижки сфер большого диаметра сферами меньших размеров и находят их произведение:

$$a_1 = \left(1 + \frac{d_2}{d_1}\right)^3;\ a_2 = \left(1 + \frac{d_3}{d_1}\right)^3;\ a_3 = \left(1 + \frac{d_3}{d_2}\right)^3;\ X_1 = a_1 a_2;\ X_2 = a_2 a_3,$$

где a_1, a_2, a_3 – объемные коэффициенты раздвижки, d_1, d_2, d_3 – средние диаметры сфер указанных фракций, X_1, X_2 – произведения коэффициентов раздвижки сфер большего диаметра сферами меньших размеров.

Расход каждой фракции в м^3 определяется в последовательности:

$$V_1 = 1м^3 \times X_1^{-1};\ V_2 = (X_1 - 0{,}6) \times (X_1 \times X_2)^{-1};$$

$$V_3 = (X_1 - 0{,}6) \times (X_2 - 0{,}6) \times (X_1 \times X_2)^{-1},$$

где V_1, V_2, V_3 – расход указанных фракций.

Объем монолитных сфер определяется по формуле

$$V_{мон} = V_{нас} - V_{нас} \times V_{пус},$$

где $V_{нас}$ - расход сферофракций, $м^3$, $V_{пус}$ – объем пустот.

Окончательно, насыпной объем сыпучей смеси трех фракций в м^3 равен

$$V_{нас} = V_{мон1} + V_{мон2} + V_{мон3} + V_3 \times V_{пус}$$

Исходя из приведенного расчета, получаем:

$$a_1 = \left(1 + \frac{0,875}{2,725}\right)^3 = 2,306; \quad a_2 = \left(1 + \frac{0,25}{2,725}\right)^3 = 1,302;$$

$$a_3 = \left(1 + \frac{0,25}{0,875}\right)^3 = 2,126; \quad X_1 = 2,306 \times 1,302 = 3,002;$$

$$X_2 = 1,302 \times 2,126 = 2,768; \quad V_1 = 1 \times 3,002^{-1} = 0,333 м^3;$$

$$V_2 = (3,002 - 0,6) \times (3,002 \times 2,786)^{-1} = 0,289 м^3;$$

$$V_3 = (3,002 - 0,6) \times (2,768 - 0,6)(3,002 \times 2,768) = 0,627 м^3;$$

$$V_{мон1} = 0,333 - 0,333 \times 0,4 = 0,200 м^3;$$

$$V_{мон2} = 0,289 - 0,289 \times 0,4 = 0,173 м^3;$$

$$V_{мон3} = 0,627 - 0,627 \times 0,4 = 0,376 м^3;$$

$$V_{нас} = 0,200 + 0,173 + 0,376 + 0,627 \times 0,4 = 1 м^3.$$

Таким образом, расчетный оптимальный гранулометрический состав, обеспечивающий максимальную упаковку зерен заполнителя, составил: 26,7 % фракции 0-0,5 мм, 23,1 % фракции 0,5-1,25 мм, 50,2 % фракции 1,25-3,2 мм.

Для экспериментального подбора оптимального соотношения песчаных фракций в заполнителе мелкозернистого бетона поставлен нелинейный планированный эксперимент с одновременным варьированием содержания этих фракций в пределах: отношение фракции 0,5-1,25 мм к фракции 0-0,5 мм - X_1 – 0,67…4; отношение фракции 1,25-3,2 мм к фракции 0-0,5 мм - X_2 – 1,67…7, и измерением насыпной плотности полученных смесей в сухом состоянии. Полученные по математическим моделям зависимости насыпной плотности заполнителя от его фракционного состава в виде линий равного уровня представлены на рис.1.

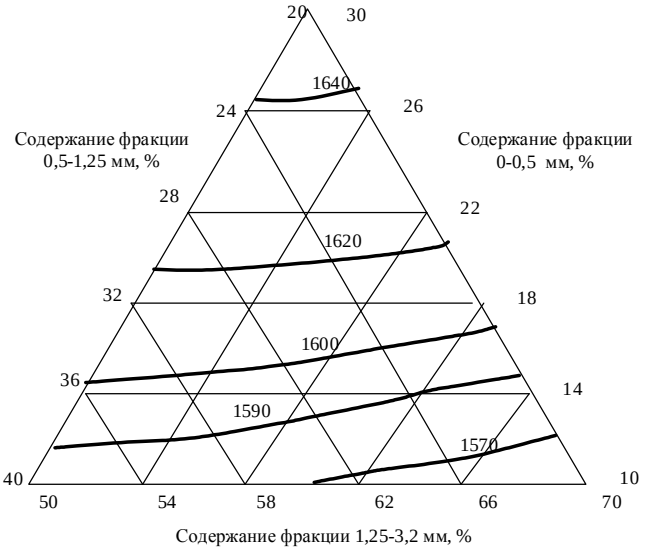


Рис. 1. Диаграмма линий равного уровня насыпной плотности заполнителя (кг/м^3) в зависимости от его гранулометрического состава

Полученные данные позволяют наметить состав смеси оптимальной гранулометрии, соответствующий наибольшей насыпной плотности, а именно: 30 % фракции 0-0,5 мм, 20 % фракции 0,5-1,25 мм, 50 % фракции 1,25-3,2 мм. Теоретические расчеты, приведенные выше, согласуются с экспериментальными значениями, что свидетельствует о корректности используемой модели**.**

Более глубокую оптимизацию гранулометрического состава минеральной части мелкозернистого бетона можно получить за счет введения в оптимальном количестве различных тонкомолотых добавок – наполнителей [4]. Влияние наполнителей на свойства бетонов рассматривалось в предыдущих публикациях [5, 6], где было показано, что применение в качестве наполнителя цементных систем молотого известняка в сочетании с суперпластификатором позволяет целенаправленно регулировать свойства мелкозернистых бетонов. Исходя из этих предпосылок в данной работе поставлена задача проверки влияния ультразвуковой обработки оптимизированных по грансоставу мелкозернистых композиций, в состав тонкодисперсной части которых вводился карбонатный микронаполнитель в различном количестве

(взамен соответствующей части цемента), на структуру твердеющих систем.

Использовалась следующие параметры ультразвуковой обработки (таблица).

Общие параметры и условия обработки (УЗ генератор УДМ)

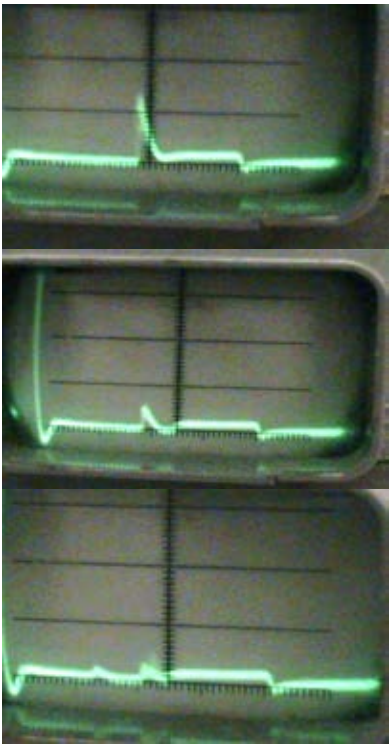
Общие параметры и условия обработки (УЗ генератор УДМ)	
Полосы частот	0,62-1,8-2,5-5 МГц
Мощность	80-250 Вт
Время обработки	t =30 мин

Ультразвуковая обработка осуществлялась в процессе приготовления смеси (при частоте 0,62 МГц – уровень средней фракции) и твердения кубов-образцов 100х100х100 мм из мелкозернистого бетона, изготовленного на основе данной цементно-песчаной смеси (при частоте 1,8 МГц – уровень микрофракций). Приложение трансдюсера УДМ генератора к образцу-кубу во время его твердения и сканирования гомогенности внутренней структуры композита показано на рис. 2.

Рис. 2. Приложение трансдюсера УДМ генератора к образцуво время его твердения и сканирования гомогенности внутренней структуры композита

На рисунке 3 приведены осциллограммы трех образцов мелкозернистого бетона с содержанием в тонкодисперсной части 0, 30 и 50 % известнякового молотого порошка с удельной поверхностью, рав-

ной 450 м^2/кг (взамен соответствующей части цемента) и суперпластификатора СП-1 в дозировке 0,5 и 0,75% от массы тонкодисперсной части (цемент и известняковый порошок) по сухому веществу.



Известняк 0 %,
цемент 100 %,
СП-1 = 0,75 %

Известняк 25 %,
цемент 75 %,
СП-1 = 0,5 %

Известняк 50 %,
цемент 50 %,
СП-1 = 0,5 %

Рис. 3. Осциллограммы ультразвукового сканирования внутренней глубинной структуры образцов бетона с целью выяснения ее однородности прибором УДМ при средних значениях мощности и чувствительности сигнала и максимальном диапазоне прозвучивания (100мм), на частоте 1,8 МГц.

Рис. 3 показывает, что образцы с содержанием известнякового тонкодисперсного порошка в количестве 50 % в суммарном содержании цемента и наполнителя и суперпластификатора в количестве 0,5 % от массы тонкодисперсной части (цемент и известняковый тонкодисперсный порошок), подвергшиеся ультразвуковому воздействию, имеют более гомогенную структуру (строб выбран в пределах 8 процентов полосы мерной шкалы). Это свидетельствует о вкладе ультразвуковой обработки в более равномерное распределение частиц по

массе композита. Имеет место кавитационный эффект разглобулирования смеси на микроуровне при оптимальной частоте для ультрадисперсных частиц наполнителя в районе 1,8 МГц. При этом следует ожидать улучшения эксплуатационных свойств такого бетона, в том числе трещиностойкости и долговечности без существенной потери прочности даже в случае обедненной по расходу цемента сырьевой смеси.

Анализ полученных результатов на данном этапе исследований показывает, что использование ультразвукового генератора-модификатора УДМ позволяет целенаправленно влиять на структуру мелкозернистого бетона с целью повышения его эксплуатационных свойств.

Механизм формирования гомогенной структуры цементного камня, содержащего добавку на основе микродисперсного карбонатного порошка и суперпластификатора, при ультразвуковом модифицировании, связан, преимущественно, с процессом схлопывания газовых пузырьков при кавитации, что ведет к разглобулированию смеси на микро- и мезоуровне.

Совместный эффект ультразвуковой обработки и оптимизации гранулометрического состава минеральной части мелкозернистого бетона может способствовать синергии при улучшении эксплуатационных свойств мелкозернистого бетона за счет активизации в смеси активных центров микрокавитации и наиболее равномерного распределения частиц в объеме смеси, что делает ее более однородной, гомогенной, связной и плотной.

Библиографический список:

1. Ахвердов И.Н. Основы физики бетона. М., Стройиздат, 1981. С. 47-51.

2. Балдев Радж, Раджендран В., Паланичами П. Применение ультразвука. М.. Техносфера, 2006. 248 с.

3. Величко Е.Г., Белякова Ж.С. Физико-химические и методологические основы получения многокомпонентных систем оптимизированного состава // Строительные материалы. 1996. № 3. С. 27-30.

4. Калашников В.И., Демьянова В.С., Дубошина Н.М. Сухие строительные смеси на основе карбонатоцементного смешенного вяжущего // Изв. вузов. Строительство. 2000. № 6. С. 52-58.

5. Белов В.В., Образцов И.В., Смирнов М.А. Проектирование зерновых составов минеральных вяжущих систем // Вестник Тверского государственного технического университета. Серия «Строительство. Электротехника и химические технологии». 2020. № 2 (6). С. 7-15.

6. Belov V., Kuliaev P. Limestone filler as one of the cheapest and best additive to concrete. В сб.: IOP Conference Series: Materials Science and Engineering 21, Construction - The Formation of Living Environment. 2018. С. 032054.

⚒⚒⚒

УДК 622.363.2

ДИНАМИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ПРИВОДА СООСНЫХ РОТОРОВ ПРОХОДЧЕСКОГО КОМБАЙНА

Басалай Г. А.
Белорусский национальный технический университет, Минск, Беларусь

Рассмотрены конструктивные особенности привода соосных роторов проходческого комбайна. Выполнен анализ динамической нагруженности привода в рабочем режиме фрезерования массива горных пород зубками исполнительного органа. Динамические нагрузки в приводах активных рабочих органов, кроме влияния на них конструктивных параметров трансмиссии, в значительной степени определяются также свойствами разрушаемого многослойного горного массива и пространственно-временными особенностями взаимодействия с ним режущих элементов, расположенных на частях исполнительного органа. Предложена расчетная модель в виде динамической системы с сосредоточенными массами.

На рудниках Старобинского калийного месторождения значительную часть объемов выемки горной массы выполняют проходческими комбайнами ПКС производства СИПР с ОП (г. Солигорск).

Привод основного органа разрушения, т. е. соосных роторов – электромеханический и осуществляется посредствомспаренного, четырехступенчатого, цилиндрического редуктора (первая ступень) в сочетании с распределительным редуктором (вторая ступень)от двух двигателей мощностью по 110 кВт каждый (рис. 1, табл.1). Он устроен так, чтобы сообщать различные направления вращения внутреннему (центральному) и внешнему (наружному) роторам.

Эффективность работы и надежность при эксплуатации проходческих комбайнов типа ПК-8М и ПКС-8М, а также трудоемкость выполнения ремонта их составных частей в значительной степени определяются рациональным выбором принципиальной схемы привода соосных роторов.

Массово-геометрические особенности, параметры ступеней передач, передаточные числа, значения величин упругости и демпфирования в конструктивных элементах, через которые реализуется силовой поток, а также специфика взаимодействия исполнительного органа (ИО) с массивом горных пород и его рабочие скорости обусловливают динамичность процесса, затраты на резание, а, следовательно, уровень нагрузок приводов на рабочих режимах и общие энергетические затра-

ты проходческого комбайна. Значит возможно обоснованным выбором значений конструктивных параметров обеспечить более эффективную работу проходческого комбайна, при его дальнейшеймодернизации. В связи с незначительным числом работ по изучениюреальных условий работы привода ИО и режимов резания каждого из элементов ИО проходческого комбайна необходимы расчетно-теоретические и экспериментальные исследования в данном направлении.

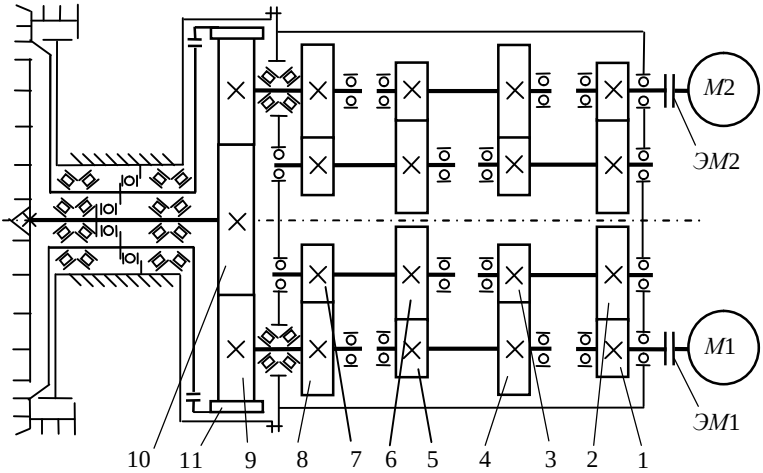


Рис. 1 – Кинематическая схема привода соосных роторов исполнительного органа комбайнов ПК-8М и ПКС-8М

Таблица 1

Параметры зубчатых колес привода соосных роторов проходческого комбайна ПКС-8М

Позиция	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Число зубьев	12	45	12	37	12	30	14	23	15	68	36
Модуль, мм	10	10	12	12	14	14	16	16	18	18	18

КПД редуктора первой ступени……0,81
Передаточное отношение редуктора первой ступени $U_{ред.1}$…..47,48
Частота вращения бура: внешнего и внутреннего об/мин:….6.9;16.8

Цель проводимого исследования состоит в обосновании технически реализуемых целесообразных как принципиальной схемы, так и параметров привода главного исполнительного органа для снижения

энергетических затрат проходческого комбайна типа ПКС-8 при требуемой производительности и надежности.

Динамические нагрузки в приводах активных рабочих органов, кроме влияния на них конструктивных параметров трансмиссии, в значительной степени определяются также свойствами разрушаемого многослойного горного массива и пространственно-временными особенностями взаимодействия с ним режущих элементов, расположенных на частях исполнительного органа. Поэтому для решения задач по снижению энергозатрат проходческого комбайна с соосными роторами необходимо установить закономерности влияния перечисленных факторов на динамику рабочего процесса, предложить критерии выбора рациональных значений параметров и режима работы исполнительного органа и его привода.

В данной статье разрабатываются методические положения для решения части из перечисленных работ: механико-математическая модель работы привода исполнительных органов роторного комбайна и алгоритм формирования возмущающих воздействий на ИО с учетом конструктивных особенностей размещения и взаимосвязи скоростных режимов режущих элементов.

Результативность методики будет во многом определяться достоверностью моделирования внешнего воздействия на режущие элементы составного ИО с разветвленным приводом от одного или двух электродвигателей. Сложность задания внешних воздействий на каждый элемент ИО обусловлена тем, что каждый компонент из них, в свою очередь, складывается из сил с пространственно-движущимися точками приложения и изменяющихся циклично с непостоянным средним значением по времени цикла, причем со случайной вариацией относительно этого среднего значения в зависимости от структуры слоев горного массива.

Различие в энергозатратах на разрушение горного массива различными по конструкции ИО как раз и обусловлено интегральным результатом эффективного либо неэффективного процессов отдельных режущих элементов. Поэтому необходимо ответить на вопрос о том, какой процесс, у какого резца и при каком его движении можно назвать оптимальным в данных эксплуатационных условиях,а затем предложить конструкцию ИО (выбранного роторного типа) и его привода, обеспечивающих как приемлемые уровни механического КПД, динамических нагрузок, структурной надежности, так и оптимум затрат энергии на разрушение горного массива режущими элементами при работе проходческого комбайна.

Как следует из наблюдений за нагрузками в приводах исполнительных органов роторного комбайна, их максимальные значения существенно зависят от массово-геометрических параметров и соотношения упругостей ветвей трансмиссии к каждой части ИО. Следовательно, необходима такаямодернизация штатных приводов, которая обеспечат приемлемую динамику нагрузок на привод и допустимые по энергоемкости и надежности показатели их функционирования.

Значительные с позиции надежности привода динамические нагрузки на ИО комбайнов типа ПКС возникают не только в процессе пуска и начала контакта режущих элементов с разрушаемым горным массивом, но и при штатном процессе работы. Поэтому выбор схемы и параметров привода ИО при проектировании требует изучения динамики движения проходческого комбайна бурового типа и нагруженности трансмиссии путем имитационного математического моделирования упомянутых процессов.

Одна из задач данного исследования состоит в разработке динамической расчетной системы и математического описания процессов пуска и установившейся работы комбайна для последующего исследования на ЭВМ.

Общие методические положения динамической схематизации объекта исследования в виде динамической системы с сосредоточенными массами и составления математического описания их движения изложены в работах многих ученых: Вейца В.Л., Кочуры А.Е., Ривина Е.И. и др. [1, 2]. Порядок и основные приемы разработки математических описаний неустановившихся процессов моторно-трансмиссионного агрегата различных машин известны из работ Цитовича И.С., Островерхова Н.Л., Альгина В.Б., Тарасика В.П., Атаманова Ю.Е. [2–5].

Для представленного на рис. 1 варианта автором разработана принципиальная комбинированная схема приводасоосных роторов. На ее основе по методике динамической схематизации приводов машин Е.И. Ривина [1] составлена развернутая, затем приведенная и упрощенная динамическая расчетная схема с сосредоточенными параметрами этого варианта ИО.

Библиографический список:

1. Ривин Е.И. Динамика привода станков. М.: Машиностроение, 1966. – 204 с.

2. Кучик А.С., Михаленя В.Д., Щерба Е.В. Математическое моделирование процесса функционирования исполнительного органа проходческого комбайна на примере КИД-220М2. Часть 2. Формирование внешних воздействий на систему привода исполнительного органа комбайна.

3. Вейц В.Л., Кочура А.Е. Динамика машинных агрегатов с двигателями внутреннего сгорания. Л.: Машиностроение, 1976. – 384 с.

4. Альгин В.Б., Павловский В.Я., Поддубко С.Н. Динамика трансмиссии автомобиля и трактора./ Под ред. И.С. Цитовича. – Мн.: Наука и техника, 1986. – 214 с.

5. Тарасик В.П. Математическое моделирование технических систем. –Мн.: Дизайн ПРО, 2004. – 640 с.

УДК 622.28.001

ОЦЕНКА НЕСУЩЕЙ СПОСОБНОСТИ КРЕПИ ГОРНОЙ ВЫРАБОТКИ, СООРУЖАЕМОЙ ВБЛИЗИ ГРАНИЦЫ РАЗДЕЛА ПОРОД С РАЗЛИЧНЫМИ ХАРАКТЕРИСТИКАМИ

Саммаль А.С., Павлова Н.С., Тормышева О.А.
Тульский государственный университет, г.Тула, Россия

Предлагается аналитический метод определения несущей способности крепи с учетом влияния слоя пород с другими деформационными характеристиками, расположенного в непосредственной близости от свода горной выработки. Излагаются основные теоретические положения метода.

Определение напряженно - деформированного состояния подземных конструкций, сооружаемых в горных массивах, имеющих слоистую структуру, с учетом существенного изменения механических и физических характеристик на границах раздела слоев является важной прикладной задачей геомеханики, решение которой позволяет создать теоретическую основу для обоснованияпринимаемых проектных решений, обеспечивающих необходимую несущую способность крепи в совокупности с оптимальным использованием ресурсов для ее возведения.

В настоящее время вопросы учета влияния слоистой структуры горных массивов, сложенных различными типами пород, решаются, в основном, на основе компьютерного моделирования с использованием численных методов, самым распространенным из которых является метод конечных элементов (МКЭ). Однако в связи с тем, что вопросы контроля точности получаемых численными методами результатов, на которую оказывают влияние различные, в том числе - субъективные факторы, связанные с заданием размеров областей моделирования, типами граничных условий, и другими особенностями построения компьютерных моделей, являются до конца нерешенными, проблема разработки строгих аналитических методов расчета, базирующихся на

решениях соответствующих задач механики сплошной среды, остается актуальной.

В связи с этим в Тульском государственном университете проводятся научные исследования, связанные с созданием нового аналитического метода, предназначенногодля оценки несущей способности монолитной бетонной или железобетонной крепи выработок круглого поперечного сечения, сооружаемых в непосредственной близости от границы раздела пород с существенно различными деформационными характеристиками. В основу метода положена соответствующая геомеханическая модель формирования напряженного состояния горного массива, сложенного двумя типами пород, в окрестности подкрепленной выработки при действии гравитационных сил в массиве. Расчетная схема представлена на рисунке 1.

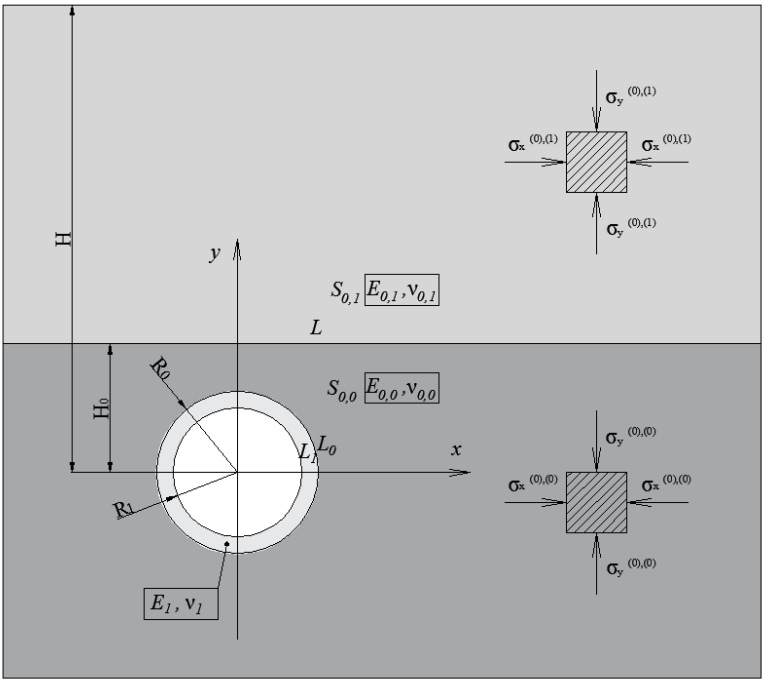


Рис. 1. Расчётная модель

Горный массив моделируется областью $S_{0,1}$ +$S_{0,0}$, составленной из двух полубесконечных весомых сред $S_{0,1}$ и $S_{0,0}$, моделирующих соответствующие породные слои, с горизонтальной прямолинейной гра-

ницей раздела L. Материалы областей $S_{0,j}$ (j=0,1) имеют различные деформационные характеристики – соответственно модули деформации $E_{0,j}$, коэффициенты Пуассона $\nu_{0,j}$, а также характеризуются различными значениями удельного веса $\gamma_{0,j}$ (j=0,1).

Подкрепленная горная выработка имеет глубокое заложение и располагается на глубине H от дневной поверхности. Граница раздела пород находится на высоте H_0 от центра выработки. Крепь моделируется круговым кольцом S_1 наружный и внутренний радиусы которого R_0, R_1. Материал крепи (кольца S_1) обладает соответствующими деформационными характеристиками E_1, ν_1.

Вводится декартовая система координат xOy, начало которой совмещается с центром кольца (выработки). Направление действительной оси Ox задается параллельно границе L раздела сред (пород).

Для удобства решения поставленной задачи все геометрические характеристики рассматриваемой модели относятся к величине R_0. Таким образом, вводятся безразмерные геометрические параметры

$$h_0 = H_0 / R_0 \,,\; h_1 = H / R_0 \;\; r_0 = 1 \,,\; r_1 = R_1 / R_0 \qquad (1)$$

Таким образом, действие гравитационных сил в массиве рассматривается в качестве линейно изменяющихся с глубиной (координатой y) полей начальных напряжений $\sigma_x^{(0,j)(0)}$, $\sigma_y^{(0,j)(0)}$ $(j = 0,1)$, действующих в областях $S_{0,j}$(j=0,1). При этом, принимая во внимание различные значения коэффициентов бокового давления λ_j в областях $S_{0,j}$ (j=0,1), соответствующие выражения для начальных напряжений записываются в виде:

$$\sigma_y^{(0,j)(0)} = \begin{cases} -\gamma_{0,1} R_0 (h_1 - h_0) - \gamma_{0,0} R_0 (h_0 - y) & \text{при } j = 0 \\ -\gamma_{0,1} R_0 (h_1 - y) & \text{при } j = 1 \end{cases},$$

$$\sigma_x^{(0,j)(0)} = \lambda_j \sigma_y^{(0,j)(0)}, \;\; \tau_{xy}^{(0,j)(0)} = 0, \;\; (j = 0,1) \qquad (2)$$

Далее, следуя принятому в механике поземных сооружений подходу [1], компоненты полных напряжений в областях $S_{0,j}$ (j=0,1) представляются в виде сумм начальных напряжений (2) и дополнительных напряжений, вызванных образованием выработки, то есть вводится представление $\sigma^{(0,j)} = \sigma^{(0,j)} + \sigma^{(0,j)(0)}$ (здесь символом σ обозначены все компоненты тензора напряжений).

Смещения в областях $S_{0,j}$ (j=0,1) рассматриваются только дополнительные.

Гравитационные силы в кольце S_1 не рассматриваются, то есть собственный вес обделки не учитывается и начальные напряжения в ней не задаются.

Горный массив, моделируемый областями $S_{0,j}$ (j=0,1), и обделка (кольцо S_1) деформируются совместно, как единая деформируемая система, то есть на линиях контакта L и L_0 выполняются условия полного контакта, то есть непрерывности векторов смещений, а также нормальных и касательных полных напряжений. Внутренний контур кольца L_2 свободен от действия внешних сил.
Граничные условия поставленной задачи принимают вид:

- на границе L :

$$\begin{aligned} &\sigma_y^{(0,1)} + \sigma_y^{(0,1)(0)} = \sigma_y^{(0,0)} + \sigma_y^{(0,0)(0)}; \quad \tau_{xy}^{(0,1)} = \tau_{xy}^{(0,0)} \\ &u_x^{(0,1)} = u_x^{(0,0)}; \quad u_y^{(0,1)} = u_y^{(0,0)} \end{aligned} \tag{3}$$

- на контуре L_0:

$$\begin{aligned} &\sigma_r^{(1)} = \sigma_r^{(0,0)} + \sigma_r^{(0,0)(0)}; \quad \tau_{r\theta}^{(1)} = \tau_{r\theta}^{(0,0)} + \tau_{r\theta}^{(0,0)(0)}, \\ &u_r^{(1)} = u_r^{(0,0)}; \quad u_\theta^{(1)} = u_\theta^{(0,0)} \end{aligned} \tag{4}$$

- на контуре L_1:

$$\sigma_r^{(1)} = 0; \quad \tau_{r\theta}^{(1)} = 0 \tag{5}$$

Здесь $\sigma_r^{(1)}, \tau_{r\theta}^{(1)}, \sigma_r^{(0,0)}, \tau_{r\theta}^{(0,0)}, \sigma_r^{(0,0)(0)}, \tau_{r\theta}^{(0,0)(0)}$ - соответственно дополнительные и начальные напряжения в полярной системе координат, связанной с центром кольца.

На верхней поверхности модели (дневной поверхности), свободной от напряжений, граничное условие не рассматривается, поскольку при большой глубине H оно будет удовлетворяться автоматически [1].

Далее вводятся в рассмотрение комплексные потенциалы Колосова – Мусхелишвили [2], определяющие напряженно - деформированное состояние рассматриваемых областей $S_{0,j}$ (j=0,1), а также S_1. При этом потенциалы в нижней полуплоскости $S_{0,0}$ (вне подкрепленного отверстия) представляются в виде сумм двух групп аналитических функций

$$\Phi_{0,0}(z) = \Phi_{0,0}^{(0)}(z) + \Phi_{0,0}^{(1)}(z); \quad \Psi_{0,0}(z) = \Psi_{0,0}^{(0)}(z) + \Psi_{0,0}^{(1)}(z), \tag{6}$$

где $\varphi_{0,0}^{(0)}(z)$, $\psi_{0,0}^{(0)}(z)$ - функции, определяющие напряженно-деформированное состояние среды $S_{0,0}$ вне отверстия, включая бесконечно удаленную точку, $\varphi_{0,0}^{(1)}(z)$, $\psi_{0,0}^{(1)}(z)$ - функции, введенные для учета наличия верхней области $S_{0,1}$ с другими деформационными характеристиками.

В свою очередь, напряженно – деформированное состояние верхней полубесконечной области $S_{0,1}$ определяются с помощью потенциалов $\varphi_{0,1}(z)$, $\psi_{0,1}(z)$, а кольца S_1 - потенциалов $\varphi_1(z)$, $\psi_1(z)$.

Воспользуемся известными выражениями [2], связывающими напряжения и смещения в декартовой системе координат в рассматриваемых областях $S_{0,j}$ $(j=0,1)$, с введенными функциями

$$\sigma_x^{(0,j)}+\sigma_y^{(0,j)}=4\,\mathrm{Re}\,\varphi_{0,j}(z)=2\left[\varphi_{0,j}(z)+\overline{\varphi_{0,j}(z)}\right];$$

$$\sigma_y^{(0,j)}-\sigma_x^{(0,j)}+2i\tau_{xy}^{(0,j)}=2\left[\bar{z}\varphi'_{0,j}(z)+\psi'_{0,j}(z)\right];\ (j=0,1) \qquad (7)$$

$$2\mu_{0,j}\left[u_x^{(0,j)}+iu_y^{(0,j)}\right]=\left[\kappa_{0,j}\varphi_{0,j}(z)-z\overline{\varphi'_{0,j}(z)}-\overline{\psi_{0,j}(z)}\right];$$

где использованы обозначения:

$$\kappa_{0,j}=3-4\nu_{0,j};\ \mu_{0,j}=\frac{E_{0,j}}{2(1+\nu_{0,j})}\ .$$

Переходя к рассмотрению граничных условий (3), введем для удобства обозначения $\kappa_0=\kappa_{0,0}$; $\mu_0=\mu_{0,0}$, и принимая во внимание, что круговой контур L_0 представляет собой окружность единичного радиуса $r_0=1$, запишем

$$\varphi_1(\sigma)+\sigma\overline{\varphi'_1(\sigma)}+\overline{\psi_1(\sigma)}=\varphi_{0,0}(\sigma)+\sigma\overline{\varphi'_{0,0}(\sigma)}+\overline{\psi_{0,0}(\sigma)}+F(\sigma) \qquad (8)$$

$$\kappa_1\varphi_1(\sigma)-\sigma\overline{\varphi'_1(\sigma)}-\overline{\psi_1(\sigma)}=\frac{\mu_1}{\mu_0}\left[\kappa_0\varphi_{0,0}(\sigma)-\sigma\overline{\varphi'_{0,0}(\sigma)}-\overline{\psi_{0,0}(\sigma)}\right] \qquad (9)$$

На внутреннем контуре L_1 кольца S_1, имеющем радиус r_1, граничное условие представим в виде

$$\varphi_1(r_1\sigma)+r_1\sigma\overline{\varphi'_1(r_1\sigma)}+\overline{\psi_1(r_1\sigma)}=0 \qquad (10)$$

В выражениях (12) – (14) использовано обозначение для аффикса точки единичной окружности:

$$\sigma = \cos\theta + i\sin\theta = e^{i\theta} \tag{11}$$

При этом функция $F(\sigma)$, входящая в выражение (12), определяется следующим образом

$$F(\sigma) = -i\int_{L_0}(X_n^{(0)} + iY_n^{(0)})\,ds = -\frac{\gamma_{0,0}R_0}{2}\left\{h^*\left[(1+\lambda_0)\sigma + (1-\lambda_0)\sigma^{-1}\right] + \right.$$
$$\left. + i\left[\frac{1+\lambda_0}{4}\sigma^2 - \frac{1-\lambda_0}{4}\sigma^{-2}\right] - i\ln\sigma\right\} \tag{12}$$

где

$$h^* = \frac{\gamma_{0,1}}{\gamma_{0,0}}(h_1 - h_0) + h_0 \tag{13}$$

Главный вектор усилий на контуре L_0 [2], учитывая, что при обходе в положительном направлении, когда внешняя нормаль, направлена в сторону действующей нагрузки (к области S_1),то есть в направлении хода часовой стрелки, при котором $\ln\sigma$ приобретает приращение $-2\pi i$, имеет вид

$$X^{(0)} + iY^{(0)} = \int_{L_0}(X_n^{(0)} + iY_n^{(0)})\,ds = 2K\pi i, \tag{14}$$

где $K = \dfrac{\gamma_{0,0}R_0}{2}$.

Комплексные потенциалы $\Phi_{0,0}^{(0)}(z)$, $\Psi_{0,0}^{(0)}(z)$, определяющие напряженно - деформированное состояние нижней полуплоскости $S_{0,0}$ представляются в форме [2]

$$\Phi_{0,0}^{(0)}(z) = \varphi_{0,0}^{(0)}(z) - \frac{X^{(0)} + iY^{(0)}}{2\pi(1+\alpha_0)}\ln z = \varphi_{0,0}^{(0)}(z) - \frac{iK}{(1+\alpha_0)}\ln z;$$
$$\Psi_{0,0}^{(0)}(z) = \psi_{0,0}^{(0)}(z) + \alpha_0\frac{X^{(0)} - iY^{(0)}}{2\pi(1+\alpha_0)}\ln z = \psi_{0,0}^{(0)}(z) - \frac{iK\alpha_0}{(1+\alpha_0)}\ln z. \tag{15}$$

здесь $\varphi_{0,0}^{(0)}(z)$, $\psi_{0,0}^{(0)}(z)$ - функции, регулярные в области $S_{0,0}$ вне контура L_0 и исчезающие на бесконечности, отыскиваются в виде рядов [2]

$$\varphi_{0,0}^{(0)}(z)=\sum_{n=1}^{\infty} c_n^{(1)(0,0)} z^{-n},\ \psi_{0,0}^{(0)}(z)=\sum_{n=0}^{\infty} c_n^{(2)(0,0)} z^{-n}, \tag{16}$$

где коэффициенты $c_n^{(j)(0,0)}$ $\left(j=1,2;\ n=0,...,\infty\right)$ подлежат определению.

Вид функций $\tilde{\varphi}_{0,0}^{(1)}(z)$, $\tilde{\psi}_{0,0}^{(1)}(z)$, введенных для учета влияния верхней полуплоскости с другими механическими свойствами, будем определять, следуя работе [3], в виде:

$$\begin{aligned}\tilde{\varphi}_{0,0}^{(1)}(z) &= \varphi_{0,0}^{(1)}(z)-\frac{iK}{(1+\varkappa_{0,0})}\ln\left(z-2ih_0\right),\\ \tilde{\psi}_{0,0}^{(1)}(z) &= \psi_{0,0}^{(1)}(z)-\frac{iK\varkappa_{0,0}}{(1+\varkappa_{0,0})}\ln\left(z-2ih_0\right),\end{aligned} \tag{17}$$

здесь $\varphi_{0,0}^{(1)}(z)$, $\psi_{0,0}^{(1)}(z)$ - функции, регулярные в нижней полуплоскости (области $S_{0,0}$ снизу границы L) и исчезающие на бесконечности.

В свою очередь, комплексные потенциалы в кольце S_1 представляются в виде рядов Лорана

$$\varphi_1(z)=\sum_{n=-\infty}^{\infty} c_n^{(1)(1)} z^n,\ \psi_1(z)=\sum_{n=-\infty}^{\infty} c_n^{(2)(1)} z^n \tag{18}$$

где неизвестные коэффициенты $c_n^{(j)(1)}$ $\left(j=1,2;\ n=-\infty,...,0,...,\infty\right)$ также подлежат определению.

Таким образом, решение поставленной задачи сводится к нахождению трех пар комплексных потенциалов (15), (17), (18), которые выражаются через коэффициенты $c_n^{(j)(0,0)}$ $\left(j=1,2;\ n=0,...,N\right)$, $c_n^{(j)(1)}$ $\left(j=1,2;\ n=-N,...,0,...,N\right)$, где N – большое целое число, с помощью которого ограничиваются бесконечные ряды (16), (18). С этой целью выражения потенциалов подставляются в граничные условия (8) – (10). Чтобы избежать сложные математические преобразования решение представлено в виде итерационного процесса, в первом приближении которого рассматривается случай однородного массива, а влияние границы раздела пород учитывается в последующих приближениях путём введения дополнительных функций, уточняемых на каждом шаге итераций по результатам проверки поставленных граничных условий.

Полученное решение реализовано в виде полного алгоритма расчета и соответствующего компьютерного программного комплекса.

Ниже в качестве примера рассмотрим результаты расчета в соответствии с предлагаемым методом, выполненные при следующих

исходных данных (см. рис. 1): $R_0 = 2$ м, $R_1 = 1{,}6$ м, $H = 40$ м, $H_0 = 3$ м, $E_{0,0} = 3000$ МПа, $\nu_{0,0} = 0{,}3$, $\gamma_{0,0} = 22$ кН/м^3, $\lambda_{0,0} = 0{,}3$, $E_{0,1} = 150$ МПа, $\nu_{0,1} = 0{,}4$, $\gamma_{0,1} = 18$ кН/м^3, $\lambda_{0,1} = 0{,}5$, $E_1 = 30000$ МПа, $\nu_1 = 0{,}2$.

Результаты расчета представлены на рисунке 2 в виде эпюр нормальных тангенциальных напряжений на наружном $\sigma_\theta^{(ex)}$ и внутреннем $\sigma_\theta^{(in)}$ контурах крепи.

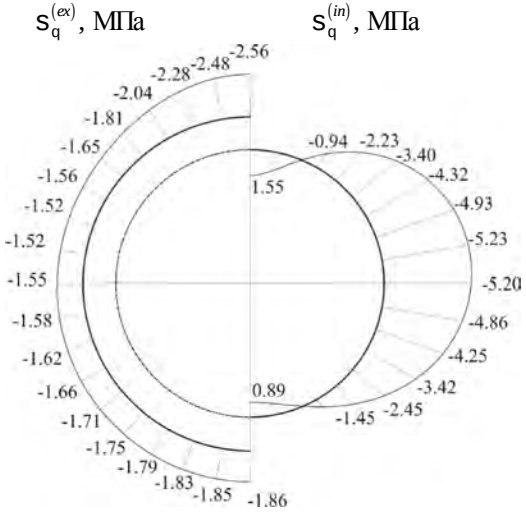


Рис. 2. Расчетные эпюры нормальных тангенциальных напряжений на контурах крепи

В силу симметрии относительно вертикали эпюры даны для соответствующих половин сечения.

Библиографический список:

Булычев Н.С. Механика подземных сооружений: Учеб. для вузов. - 2-у изд., перераб. и доп. - М.:Недра. -1994.-382 с.

2. Мусхелишвили Н.И. Некоторые основные задачи математической теории упругости. М.: Наука, 1966. - 707 с.

3. Арамонович И.Г. Распределение напряжений в упругой полуплоскости, ослабленной подкрепленным круговым отверстием // Доклады АН СССР.1955. Вып. 104. № 3. - С. 372-375.

УДК 624.19.034.5

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТОЛЩИНЫ ЗОНЫ УКРЕПИТЕЛЬНОЙ ЦЕМЕНТАЦИИ ПОРОД, ОБЕСПЕЧИВАЮЩЕЙ НЕСУЩУЮ СПОСОБНОСТЬ ОБДЕЛКИ ПОДВОДНОГО ТОННЕЛЯ

Воронина И.Ю., Саммаль А.С.
Тульский государственный университет, г. Тула, Россия

Предлагается подход к оценке напряженно-деформированного состояния монолитной обделки подводного тоннеля, сооружаемого с применением укрепительной цементации окружающего массива, позволяющий определять необходимую толщину зоны упрочнения пород, обеспечивающую несущую способность подземной конструкции

В Тульском государственном университете в течение ряда лет проводятся научные исследования, целью которых является оценка влияния инъекционного укрепления пород (грунта) на напряженно-деформированное состояние обделок подводных тоннелей. С этой целью разработан аналитический метод расчета, основанный на математическом моделировании взаимодействии обделок подводных тоннелей произвольного поперечного сечения и окружающего массива пород как элементов единой деформируемой системы [1]. В основу метода положено соответствующее решение плоской контактной задачи теории упругости для полубесконечной весомой линейно-деформируемой среды S_0, моделирующей массив пород, ослабленной некруговым отверстием, подкрепленным двухслойным кольцом $S_1 + S_2$, моделирующим укрепленные породы в окрестности тоннельной выработки (область S_1) и обделку тоннеля (область S_2). Действие давления воды на дно пересекаемого водоема моделируется равномерно распределенной по всей границе полуплоскости нагрузкой интенсивностью P. Расчетная схема приведена на рис. 1.

Поставленная задача теории упругости решена с использованием теории аналитических функций комплексного переменного [2], аналитического продолжения комплексных потенциалов, регулярных в нижней полуплоскости вне отверстия, через нагруженную нормальным давлением границу в верхнюю полуплоскость [3], аппарата конформных отображений и свойств комплексных рядов и интегралов типа Коши.

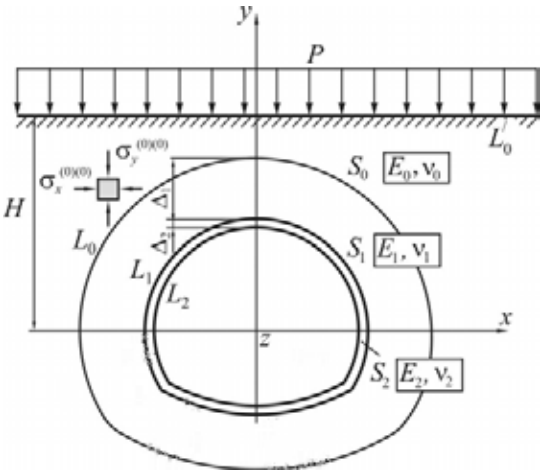


Рис. 1. Расчетная схема рассматриваемой задачи

Разработанный метод реализован в виде полного алгоритма расчета и соответствующего программного обеспечения. Ограничением, накладываемым на область применения данного метода, является требование, чтобы окружность, описанная вокруг наружного контура кольца, не пересекалась и не касалась границы полуплоскости.

В качестве примера расчета рассмотрим подводный тоннель некругового поперечного сечения (см. рис 2), сооружаемый с применением инъекционного укрепления пород под дном водоема, моделируемого равномерной нагрузкой интенсивностью $P = 0{,}8$ МПа. Выработка проектируется в обводненных грунтах с деформационными характеристиками $E_0 = 400\,МПа$, $\nu_0 = 0{,}27$ и удельным весом (величина которого задается с учетом взвешивающего действия воды [1]) $\tilde{\gamma}$ =0,018 МН/м^3. Глубина заложения выработки принимается $H = 18\,м$. Коэффициент бокового давления в ненарушенном массиве принимается равным $\lambda = 0{,}37$. Зона укрепленного грунта толщиной D_1 = 4 м характеризуется модулем деформации E_1 =1100 МПа и коэффициентом Пуассона $\nu_1 = 0{,}27$. Монолитная обделка толщиной D_2 = 0,6 м принимается водонепроницаемой из бетона с деформационными характеристиками E_2 =30000 МПа, ν_2 =0,2. Расчетные сопротивления бетона на сжатие и растяжение - R_b =14,5 МПа и R_{bt} =1,05 МПа. Обделка сооружается в забое тоннельной выработки (это обстоятельство

учитывается путем умножения расчетных напряжений в обделке на корректирующий коэффициент $a^* = 0{,}6$, вычисленные по известной формуле [4]).

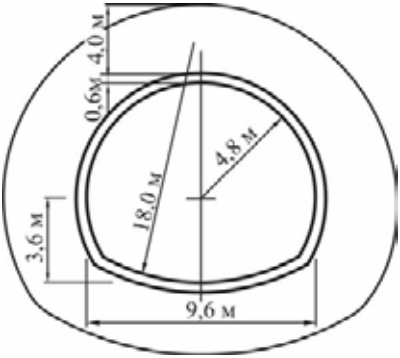


Рис. 2. Поперечное сечение подводного тоннеля

Результаты расчета представлены в виде эпюр нормальных тангенциальных напряжений на внешних $s_q^{(ex)}$ (в МПа) и внутренних $s_q^{(in)}$ (в МПа) контурах поперечного сечения обделки подводного тоннеля на рис. 3.

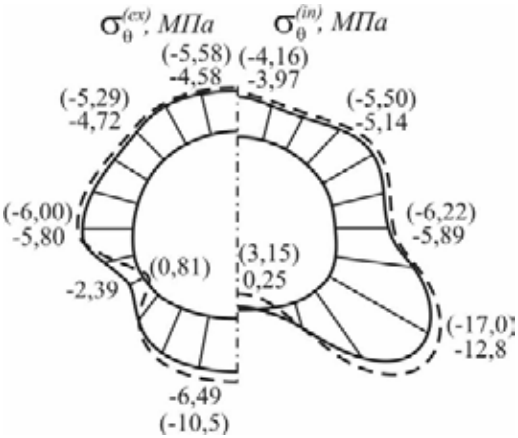


Рис. 3. Эпюры нормальных тангенциальных напряжений в обделке тоннеля

Для сравнения пунктирными линиями показаны аналогичные напряжения в обделке при сооружении подводного тоннеля без при-

менения укрепительной цементации грунта (соответствующие значения даны в скобках).

Из рис. 3 видно, что применение инъекционного укрепления грунта вокруг тоннельной выработки приводит к снижению как сжимающих, так и растягивающих нормальных тангенциальных напряжений $s_q^{(in)}$ на внутреннем контуре поперечного сечения обделки подводного тоннеля. В частности, максимальные сжимающие напряжения в угловых точках контура обделки снижаются на 20 %.

Отметим, что бетонная обделка подводного тоннеля должна удовлетворять требованиям расчета по несущей способности (предельные состояния первой группы) и по пригодности к нормальной эксплуатации (предельные состояния второй группы).

Основным является расчет по предельным состояниям первой группы, который выполняют с целью обеспечения прочности и устойчивости подземной конструкции. При этом условие прочности имеет вид [5]

$$N \leq N_u, \tag{1}$$

где N - расчетная продольная сила в наиболее напряженном сечении обделки, N_u - предельная продольная сила в радиальном сечении обделки.

В случае неравномерной внешней нагрузки предельная продольная сила определяется по формуле

$$N_u = R_b b D\left(1 - \frac{2e_0}{D}\right), \tag{2}$$

где R_b - расчетное сопротивление бетона на сжатие; b - ширина рассматриваемого радиального сечения обделки (для монолитной обделки принимается b =1 м); D - толщина обделки; $e_0 = \frac{M}{N}$ - эксцентриситет продольной силы.

Коэффициент запаса несущей способности обделки определяется следующим образом:

$$k_s = \frac{N_u}{N}. \tag{3}$$

Выполним оценку несущей способности обделки рассматриваемого подводного тоннеля на основе анализа эпюр изгибающих моментов M (в кН·м) и продольных сил N (в МН), которые построены на основе обработки эпюр напряжений (рис. 3) и представлены на рис.4.

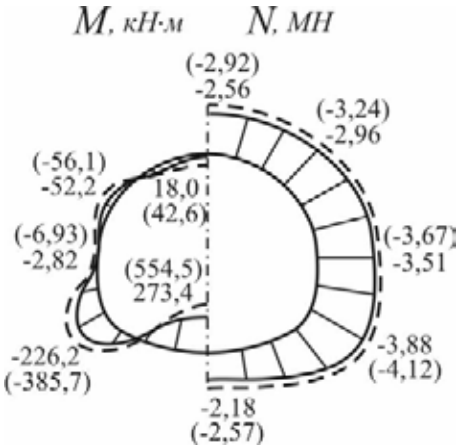


Рис.4. Эпюры изгибающих моментов и продольных сил в обделке тоннеля

Из рис. 4 следует, что опасное сечение в рассматриваемой обделки расположено в середине лотка, где действует максимальный изгибающий момент. Коэффициент запаса несущей способности обделки, найденный по формуле (3), без учета упрочнения грунта (по эпюрам, показанным пунктирными линиями) недостаточен и равен k_s=0,95. В то же время создание зоны укрепленных грунтов толщиной D_1= 4 м позволяет значительно повысить коэффициент запаса до k_s=2,30. Очевидно, что проектирование конструкции с избыточным запасом прочности не рационально с экономической точки зрения.

Чтобы определить минимальные размеры зоны упрочнения, обеспечивающие требуемую несущую способность конструкции необходимо выполнить многовариантные расчеты, проанализировав зависимости изменения значений k_s от толщины D_1. Выполненные исследования показали, что рассматриваемом случае толщина зоны упрочненных грунтов может быть уменьшена до 2,2 м.

Библиографический список:

1 Voronina I. Yu, Deev P.V., Khrenov S.I. Design of underwater tunnel linings of an arbitrary cross-section shape // Proceedings of the VIIth Regional Rock Mechanics Symposium Rockmec'2006, November 2-3, 2006, Istanbul, Turkey. P. 79-81.

2. Мусхелишвили Н.И. Некоторые основные задачи математической теории упругости. М.: Наука, 1966. - 707 с.

3. Араманович И.Г. Распределение напряжений в упругой полуплоскости, ослабленной подкрепленным круговым отверстием // Доклады АН СССР.1955. Вып. 104. № 3. - С. 372-375.

4. Булычев Н.С. О расчете обделок тоннелей в очень слабых грунтах // Проблемы подземного строительства в XXI веке. Труды Международной конференции. Тула, 2002. С. 35-37.

5. Булычев Н.С. Механика подземных сооружений в примерах и задачах. - М.: Недра, 1989. - 270 с.

УДК 624.191.6

ПРЕДСТАВЛЕНИЕ КОМПЛЕКСНЫХ ПОТЕНЦИАЛОВ ПРИ ПОСТРОЕНИИ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ФОРМИРОВАНИЯ НАПРЯЖЕННОГО СОСТОЯНИЯ ОБДЕЛКИ ТОННЕЛЯ, СООРУЖЕННОГО С ПРИМЕНЕНИЕМ УКРЕПИТЕЛЬНОЙ ЦЕМЕНТАЦИИ ГРУНТА

Анциферов С.В., Бурзяев В.С., Анциферова Л.Н.
Тульский государственный университет, г. Тула, Россия

Приведены представления комплексных потенциалов Колосова-Мусхелишвили, использованные при математическом моделировании формирования напряженного состояния обделки тоннеля, сооруженного в трещиноватом массиве пород с применением предварительной укрепительной цементации. Данные представления позволяют получить разрешающие системы линейных алгебраических уравнений.

При сооружении тоннелей в трещиноватых обводненных породах применяется предварительное инъекционное укрепление массива, приводящее к повышению его сплошности и однородности, а также уменьшению притока подземных вод. При наличии в массиве достаточно протяженных ориентированных трещин форма поперечного сечения укрепленной области может быть близкой к эллиптической.

В основу аналитического метода расчета обделок тоннелей глубокого заложения (глубина заложения не менее чем в три раза превышает диаметр поперечного сечения выработки), произвольно расположенных в области предварительно укрепленных пород, поперечное сечение которой является эллиптическим, положена математическая модель взаимодействия элементов геомеханической системы "массив пород в естественном состоянии - зона укрепленных пород - обделка тоннеля" [6].

Разработанная модель позволяет учесть влияние на напряженное состояние обделки тоннеля следующих факторов: размеры полуосей эллипса, представляющего поперечное сечение области укрепленных пород; радиус выработки в проходке и толщину обделки; расположение центра поперечного сечения выработки внутри области укрепленных пород, отличающееся от центрального; наличие неравнокомпонентного поля начальных напряжений в массиве пород, моделирующих действие собственного веса пород; деформационные и механические характеристики пород в естественном и укрепленном состояниях, а также деформационные характеристики материала обделки.

Математическая модель предусматривает получение аналитического решения соответствующей плоской задачи теории упругости, расчетная схема которой приведена на рис. 1.

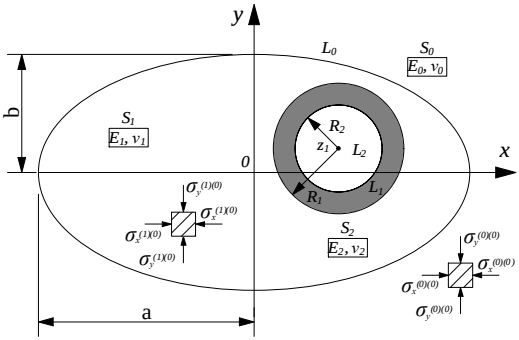


Рис. 1. Расчетная схема

Весомая линейно деформируемая среда составлена областями S_0, S_1, S_2, моделирующими массив пород в естественном состоянии, зону укрепленных пород и обделку тоннеля с различными деформационными характеристиками – модулями деформации E_i и коэффициентами Пуассона ν_i $(i = 1,2,3)$.

В областях S_0 и S_1 существуют поля начальных напряжений, задаваемые компонентами

$$\sigma_x^{(0)(0)} = \sigma_x^{(1)(0)} = -\gamma H; \sigma_y^{(0)(0)} = \sigma_y^{(1)(0)} = -\gamma H; \tau_{xy}^{(0)(0)} = \tau_{xy}^{(1)(0)} = 0, \quad (1)$$

где H – глубина заложения тоннеля, γ – удельный вес пород, одинаковый для пород в естественном и укрепленном состояниях; λ – коэффициент бокового давления в массиве пород.

Полные напряжения в областях S_0 и S_1 представляются в виде сумм дополнительных и начальных напряжений [2]

$$\sigma_x^{(j)*} = \sigma_x^{(j)} + \sigma_x^{(j)(0)},\ \sigma_y^{(j)*} = \sigma_y^{(j)} + \sigma_y^{(j)(0)},\ \tau_{xy}^{(j)*} = \tau_{xy}^{(j)} + \tau_{xy}^{(j)(0)}\ (j = 0, 1)\,. \quad (2)$$

Весом обделки по сравнению с весом окружающего массива пород пренебрегаем.

Граничные условия задачи теории упругости и краевой задачи теории функций комплексного переменного приведены в работе [1].

Для решения задач используется апробированный математический аппарат теории аналитических функций комплексного переменного [4], конформное отображение [5]; ряды Лорана [3].

Для представления комплексных потенциалов $\varphi_0(z)$ и $\psi_0(z)$ в бесконечной области S_0 вне эллиптического контура L_0 используется конформное отображение внешности единичного круга в комплексной плоскости переменной ζ на внешность контура L_0 эллипса в комплексной плоскости переменной z. Отображение выполняется известной [3] рациональной отображающей функцией

$$z = \omega(\zeta) = R_0(\zeta + m\zeta^{-1}),\quad R_0 = \frac{a+b}{2},\quad m = \frac{a-b}{a+b}. \quad (3)$$

В результате конформного отображения аффикс точки t_0 контура L_0 эллипса соответствует аффиксу точки τ единичной окружности с центром в точке O - начале системы координат (рис. 1), т.е. справедливо представление

$$\tau = \zeta(t_0) = e^{i\theta_0}, \quad (4)$$

где θ_0 - угол, отсчитываемый от положительного направления оси OX против хода часовой стрелки.

Комплексные потенциалы в плоскости вне кругового отверстия единичного радиуса отыскиваются в виде главной части рядов Лорана, т.е. по отрицательным степеням переменной $\zeta = \zeta(z)$

$$\varphi_0(\zeta) = \sum_{k=1}^{\infty} c_k^{(1)(0)} [\zeta(z)]^{-k} = \varphi_0(z);\ \psi_0(\zeta) = \sum_{k=0}^{\infty} c_k^{(2)(0)} [\zeta(z)]^{-k} = \psi_0(z). \quad (5)$$

Для потенциалов $\tilde{\varphi}_1(z)$, $\tilde{\psi}_1(z)$ с учетом того, что функция $\tilde{\psi}_1(z)$ неинвариантна при переносе начала координат, справедливо [2]:

$$\tilde{\varphi}_1(z)=\varphi_1^*(z)+\varphi_1(z-z_1);\quad \tilde{\psi}_1(z)=\psi_1^*(z)+\psi_1(z-z_1)-\overline{z_1}\varphi_1'(z-z_1). \qquad (6)$$

Функции $\varphi_1^*(z)$, $\psi_1^*(z)$, регулярные внутри контура L_0 эллипса, раскладываются в ряды по положительным степеням переменной $\dfrac{z}{R_0}$:

$$\varphi_1^*(z)=\sum_{k=0}^{\infty} c_k^{(3)(1)}\left(\frac{z}{R_0}\right)^k,\ \psi_1^*(z)=\sum_{k=1}^{\infty} c_k^{(4)(1)}\left(\frac{z}{R_0}\right)^k; \qquad (7)$$

а функции $\varphi_1(z-z_1)$, $\psi_1(z-z_1)$, регулярные в области S_1 вне контура L_1 окружности радиуса R_1, представляются по отрицательным степеням переменной $\dfrac{z-z_1}{R_1}$:

$$\varphi_1(z-z_1)=\sum_{k=1}^{\infty} c_k^{(1)(1)}\left(\frac{z-z_1}{R_1}\right)^{-k};\ \psi_1(z-z_1)=\sum_{k=0}^{\infty} c_k^{(2)(1)}\left(\frac{z-z_1}{R_1}\right)^{-k}. \qquad (8)$$

Для функций $\tilde{\varphi}_2(z)$, $\tilde{\psi}_2(z)$, регулярных в круговом концентрическом кольце S_2, справедливы представления

$$\tilde{\varphi}_2(z)=\varphi_2(z-z_1),\ \tilde{\psi}_2(z)=\psi_2(z-z_1)-\overline{z_1}\varphi_2'(z-z_1), \qquad (9)$$

в которых

$$\begin{aligned}\varphi_2(z-z_1)&=\sum_{k=1}^{\infty} c_k^{(1)(2)}\left(\frac{z-z_1}{R_2}\right)^{-k}+\sum_{k=0}^{\infty} c_k^{(3)(2)}\left(\frac{z-z_1}{R_2}\right)^{k};\\ \psi_2(z-z_1)&=\sum_{k=0}^{\infty} c_k^{(2)(2)}\left(\frac{z-z_1}{R_2}\right)^{-k}+\sum_{k=1}^{\infty} c_k^{(4)(2)}\left(\frac{z-z_1}{R_2}\right)^{k}.\end{aligned} \qquad (10)$$

Таким образом, соотношениями (5), (7), (8), (10) заданы представления искомых потенциалов, характеризующих напряженно-деформированное состояние рассматриваемых областей, в виде рядов по степеням соответствующих комплексных переменных с неизвестными коэффициентами.

С учетом соотношений (6), (9) граничные условия задачи, приведенные в [1], примут следующий вид:

- на контуре L_0

$$\begin{cases} \varphi_1^*(t_0)+t_0\overline{\varphi_1^{*\prime}(t_0)}+\overline{\psi_1^*(t_0)}+\varphi_1(t_0-z_1)+ \\ \qquad +(t_0-z_1)\overline{\varphi_1'(t_0-z_1)}+\overline{\psi_1(t_0-z_1)}= \\ \qquad\qquad =\varphi_0(t_0)+t_0\overline{\varphi_0'(t_0)}+\overline{\psi_0(t_0)}, \\ \alpha_1\varphi_1^*(t_0)-t_0\overline{\varphi_1^{*\prime}(t_0)}-\overline{\psi_1^*(t_0)}+\alpha_1\varphi_1(t_0-z_1)- \\ \qquad -(t_0-z_1)\overline{\varphi_1'(t_0-z_1)}-\overline{\psi_1(t_0-z_1)}= \\ \qquad\qquad =\dfrac{\mu_1}{\mu_0}\left[\alpha_0\varphi_0(t_0)-t_0\overline{\varphi_0'(t_0)}-\overline{\psi_0(t_0)}\right], \end{cases} \tag{11}$$

- на контуре L_1

$$\begin{cases} \varphi_2(t_1-z_1)+(t_1-z_1)\overline{\varphi_2'(t_1-z_1)}+\overline{\psi_2(t_1-z_1)}= \\ \qquad =\varphi_1^*(t_1)+t_1\overline{\varphi_1^{*\prime}(t_1)}+\overline{\psi_1^*(t_1)}+ \\ +\varphi_1(t_1-z_1)+(t_1-z_1)\overline{\varphi_1'(t_1-z_1)}+\overline{\psi_1(t_1-z_1)}-i\gamma R_1 H\left(\dfrac{1+\lambda}{2}\sigma+\dfrac{1-\lambda}{2}\sigma^{-1}\right); \\ \alpha_2\varphi_2(t_1-z_1)-(t_1-z_1)\overline{\varphi_2'(t_1-z_1)}-\overline{\psi_2(t_1-z_1)}= \\ \qquad =\dfrac{\mu_2}{\mu_1}\left[\alpha_1\varphi_1^*(t_1)-t_1\overline{\varphi_1^{*\prime}(t_1)}-\overline{\psi_1^*(t_1)}+\right. \\ \qquad\qquad \left.+\alpha_1\varphi_1(t_1-z_1)-(t_1-z_1)\overline{\varphi_1'(t_1-z_1)}-\overline{\psi_1(t_1-z_1)}\right]; \end{cases} \tag{12}$$

- на контуре L_2

$$\varphi_2(t_2-z_1)+(t_2-z_1)\overline{\varphi_2'(t_2-z_1)}+\overline{\psi_2(t_2-z_1)}=0. \tag{13}$$

Для входящих в (11) - (13) комплексных потенциалов получено:

- на контуре L_0, т.е. при $z=t_0=\omega(\sigma)=R_0(\sigma+m\sigma^{-1})$

$$\varphi_0(t_0)=\sum_{k=1}^{\infty}c_k^{(1)(0)}[\sigma(t_0)]^{-k}=\sum_{k=1}^{\infty}c_k^{(1)(0)}\sigma^{-k}; \tag{14}$$

$$t_0\overline{\varphi_0'(t_0)}=-\sum_{k=0}^{\infty}\sum_{n=1}^{\infty}A_{k,n}\overline{c_n^{(1)(0)}}\sigma^{k}, \tag{15}$$

где

$$A_{k,n} = \begin{cases} n\left(\delta_{n+1,k} m^{\frac{k-n-2}{2}} + \delta_{n-1,k} m^{\frac{k-n+2}{2}}\right) \text{ при } k \text{ четном;} \\ 0 \text{ при } k \text{ нечетном,} \end{cases} \tag{16}$$

$$\overline{y_0(t_0)} = \sum_{k=0}^{\infty} \overline{c_k^{(2)(0)}} t^{-k}; \tag{17}$$

$$\varphi_1^*(t_0) = \sum_{k=0}^{\infty} \sum_{n=0}^{\infty} c_n^{(3)(1)} B_{n,k} t^{-k} + \sum_{k=1}^{\infty} \sum_{n=0}^{\infty} c_n^{(3)(1)} D_{n,k} t^{k}; \tag{18}$$

$$t_0 \overline{\varphi_1^{*'}(t_0)} = \sum_{k=0}^{\infty} \sum_{n=0}^{\infty} n\overline{c_n^{(3)(1)}} \left(D_{n-1,k+1} + \lambda_{k,1} m B_{n-1,0} + \delta_{0,k} m D_{n-1,k-1}\right) t^{-k} +$$

$$+ \sum_{k=0}^{\infty} \sum_{n=0}^{\infty} n\overline{c_n^{(3)(1)}} \left(\delta_{0,k} B_{n-1,k-1} + \lambda_{k,1} D_{n-1,0} + m B_{n-1,k+1}\right) t^{k}, \tag{19}$$

$$\overline{y_1^*(t_0)} = \sum_{k=0}^{\infty} \sum_{n=1}^{\infty} \overline{c_n^{(4)(1)}} B_{n,k} t^{k} + \sum_{k=1}^{\infty} \sum_{n=1}^{\infty} \overline{c_n^{(4)(1)}} D_{n,k} t^{-k}, \tag{20}$$

где при четном k

$$B_{k,n} = \begin{cases} \delta_{n,k+1} C_k^{\frac{n+k}{2}} m^{\frac{n+k}{2}}, & n = 0,2,\ldots \\ 0, & n = 1,3,\ldots; \end{cases}$$

$$D_{k,n} = \begin{cases} \delta_{n,k+1} C_k^{\frac{-n+k}{2}} m^{\frac{-n+k}{2}}, & n = 2,4,\ldots \\ 0, & n = 1,3,\ldots; \end{cases} \tag{21}$$

при нечетном k

$$B_{k,n} = \begin{cases} 0, & n = 0,2,4,\ldots \\ \delta_{n,k+1} C_k^{\frac{n+k}{2}} m^{\frac{n+k}{2}}, & n = 1,3,5,\ldots; \end{cases}$$

$$D_{k,n} = \begin{cases} 0, & n = 2,4,6,\ldots \\ \delta_{n,k+1} C_k^{\frac{-n+k}{2}} m^{\frac{-n+k}{2}}, & n = 1,3,5,\ldots; \end{cases} \tag{22}$$

$$\delta_{n,k} = \begin{cases} 1, \text{ если } k > n, \\ 0, \text{ если } k \le n; \end{cases} \quad C_k^n = \frac{k!}{n!(k-n)!}; \tag{23}$$

$$\varphi_1(t_0 - z_1) = \sum_{k=1}^{\infty}\left(\sum_{n=1}^{\infty} \delta_{n-1,k} c_n^{(1)(1)} \Delta_{1,0}^{k} H_{n,k-n}\right)^{-k}, \qquad (24)$$

где

$$H_{k,n} = \sum_{n=0}^{\infty} \delta_{n-1,n} E_{k,n} F_{k,n-n}, \; E_{k,n} = C_{-k}^{n}(-p_1)^n, \; F_{k,s} = C_{-k}^{s}(-p_2)^s; \qquad (25)$$

$$p_1 = \frac{\frac{z_1}{R_0} - \sqrt{\left(\frac{z_1}{R_0}\right)^2 - 4m}}{2}, \quad p_2 = \frac{\frac{z_1}{R_0} + \sqrt{\left(\frac{z_1}{R_0}\right)^2 - 4m}}{2}; \qquad (26)$$

$$C_{-k}^{n} = (-1)^n \frac{(k+n-1)!}{(k-1)!n!}; \qquad (27)$$

- на контуре L_1, т.е. при $z = t_1 = z_1 + R_1\zeta$

$$\varphi_1(t_1 - z_1) = \sum_{k=1}^{\infty} c_k^{(1)(1)} \zeta^{-k}; \qquad (28)$$

$$(t_1 - z_1)\overline{\varphi_1'(t_1 - z_1)} = -\sum_{k=1}^{\infty} \delta_{2,k}(k-2)\overline{c_{k-2}^{(1)(1)}}\zeta^{k}; \qquad (29)$$

$$\varphi_2(t_1 - z_1) = \sum_{k=1}^{\infty} \Delta_{1,2}^{-k} c_k^{(1)(2)} \zeta^{-k} + \sum_{k=0}^{\infty} \Delta_{1,2}^{k} c_k^{(3)(2)} \zeta^{k}; \qquad (30)$$

$$(t_1 - z_1)\overline{\varphi_2'(t_1 - z_1)} = -\sum_{k=1}^{\infty} \delta_{2,k}(k-2)\Delta_{1,2}^{-(k-2)}\overline{c_{k-2}^{(1)(2)}}\zeta^{k} +$$

$$+ \Delta_{1,2}\overline{c_1^{(3)(2)}}\zeta + \sum_{k=0}^{\infty}(k+2)\Delta_{1,2}^{k+2}\overline{c_{k+2}^{(3)(2)}}\zeta^{-k}; \qquad (31)$$

$$\overline{\psi_2(t_1 - z_1)} = \sum_{k=0}^{\infty} \Delta_{1,2}^{-k}\overline{c_k^{(2)(2)}}\zeta^{k} + \sum_{k=1}^{\infty} \Delta_{1,2}^{k}\overline{c_k^{(4)(2)}}\zeta^{-k}, \qquad (32)$$

где

$$\Delta_{i,i+1} = \frac{R_i}{R_{i+1}}, \; i = 0, 1; \qquad (33)$$

- на контуре L_2, т.е. при $z = t_2 = z_1 + R_2\zeta$

$$\varphi_2(t_2 - z_1) = \sum_{k=1}^{\infty} c_k^{(1)(2)} \zeta^{-k} + \sum_{k=0}^{\infty} c_k^{(3)(2)} \zeta^{k}; \qquad (34)$$

$$(t_2 - z_1)\overline{\varphi_2'(t_2 - z_1)} = -\sum_{k=1}^{\infty} \delta_{2,k}(k-2)\overline{c_{k-2}^{(1)(2)}}\zeta^{k} + \overline{c_1^{(3)(2)}}\zeta +$$

$$+\sum_{k=0}^{\infty}(k+2)\overline{c_{k+2}^{(3)(2)}}\zeta^{-k}\ ; \quad (35)$$

$$\overline{\psi_2(t_2-z_1)}=\sum_{k=0}^{\infty}\overline{c_k^{(2)(2)}}\zeta^{k}+\sum_{k=1}^{\infty}\overline{c_k^{(4)(2)}}\zeta^{-k}\ . \quad (36)$$

Граничные условия (11) на контуре L_0 позволяют получить соотношения между коэффициентами разложения $c_k^{(l)(1)}$ $(l=1,...,4)$ комплексных потенциалов $\varphi_1(z)$, $\psi_1(z)$ в области S_1 с коэффициентами разложений $c_k^{(p)(0)}$ $(p=1,2)$ потенциалов $\varphi_0(z)$ и $\psi_0(z)$ в области S_0 в виде бесконечной системы линейных алгебраических уравнений.

Граничные условия (12) на контуре L_1 позволяют установить непосредственные соотношения между коэффициентами разложения $c_k^{(l)(2)}$ $(l=1,...,4)$ комплексных потенциалов $\varphi_2(z)$, $\psi_2(z)$ в области S_2 с коэффициентами разложений $c_k^{(p)(1)}$ $(p=1,...,4)$ потенциалов $\varphi_1(z)$ и $\psi_1(z)$ в области S_1, а условие (13) и упомянутые выше соотношения - бесконечную систему линейных алгебраических уравнений относительно $c_k^{(p)(1)}$ $(p=1,...,4)$.

Полученные системы уравнений относительно неизвестных коэффициентов разложений комплексных потенциалов в ряды позволяют разработать итерационный процесс определения неизвестных, на начальном шаге которого используются коэффициенты разложений $c_k^{(p)(0)}$ $(p=1,2)$ из решения задачи о концентрически расположенном подкрепленном отверстии в круговой шайбе в бесконечной среде.

Библиографический список

1. Анциферов С.В., Бурзяев В.С., Тормышева О.А. Определение напряженного состояния обделки кругового тоннеля, расположенного внутри зоны укрепленного грунта эллиптического сечения// Сб. материалов XX Международной научно-технической конференции "Актуальные проблемы строительства, строительной индустрии и архитектуры" 28 - 29 июня 2019. – Тула: Изд-во ТулГУ. - 2019. - С. 47 - 53.

2. Анциферов С.В., Саммаль А.С., Грибанов В.Б. Математическое моделирование взаимодействия обделок коллекторных тоннелей и массива грунта, подверженного предварительному укреплению// ГИАБ. № 7. 2015. С. 232 - 240.

3. Лаврентьев М.А., Шабат Б.В. Методы теории функций комплексного переменного. М.: Наука, 1987. 688 с.

4. Мусхелишвили Н.И. Некоторые основные задачи математической теории упругости. – М: Наука, 1966. - 707 с.

5. Угодчиков А.Г., Длугач М.И., Степанов А.Е. Решение краевых задач плоской теории упругости на цифровых и аналоговых машинах/ М.: Высшая школа, 1970. – 528 с.

6. Фотиева Н.Н., Савин Н.И. Плоская деформация упругого эллиптического цилиндра с центральной круговой полостью при произвольной осесимметричной нагрузке// Механика деформируемого твердого тела. – Тула: ТулПИ, 1985. – С. 149–147.

УДК 622.281.74

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МЕТОДИКИ РАСЧЕТА АНКЕРОВ КОНТАКТНОГО ТИПА ПРИМЕНИТЕЛЬНО К УСЛОВИЯМ УГОЛЬНЫХ ШАХТ ВЬЕТНАМА

Саммаль А.С., Залесский К.В. , Нгуен В.К.
Тульский государственный университет, г.Тула, Россия

Рассмотрены актуальные вопросы проектирования анкерной крепи капитальных выработок глубоких горизонтов угольных шахт Вьетнама. На основе анализа норм проектирования предлагается подход к расчету анкеров контактного типа, основанный на рассмотрении соответствующей задачи геомеханики.

В настоящее время основным видом крепления горных выработок в условиях глубоких шахт Вьетнама является рамная металлическая крепь, при этом рост стоимости металла оказывает негативное влияние на экономические показатели добычи угля. Это приводит к необходимости отказа от традиционных инженерных решений и переходу к более прогрессивным технологиям крепления горных выработок, в том числе – на основе применения анкеров.

Основным достоинством анкерной крепи является сравнительно невысокая материалоемкость, которая обеспечивается максимальным использованием несущей способности самого горного массива. В результате установки жестких штанг – анкеров производится армирование окружающих выработку пород, вследствие чего достигается повышение их сплошности, однородности, и, как следствие, деформационных и прочностных характеристик.

Следует отметить, что широкое внедрение анкерной крепи в угольных шахтах Вьетнама сдерживается сложными горно-геологическими условиями, обусловленными практически повсеместным расположением в кровле отрабатываемых угольных пластов весьма слабых и неустойчивых пород, представленных, в основном,

алевролитами и аргиллитами. По методу RQD (RQD - Rock Quality Designation [1]) качество угля и аргиллитов обычно оценивается параметром RQD = 0.

Случаи, когда кровля угольного пласта представлена массивом алевролита с коэффициентом крепости по М.М.Протодьяконову f = 4 ÷ 6 (в этих случаях показатель качества может достигать RQD > 60%), рассматриваются как более благоприятные для перехода к анкерному креплению, особенно, когда мощность пласта алевролита превышает 0,2 м.

Наиболее подходящими для применения анкерной крепи считаются условия, когда в кровле отрабатываемых пластов угля располагаются песчаники с толщинами слоев от 0,2 до 0,4 м, которые характеризуются коэффициентом крепости f > 6 (критерием RQD > 90%).

В целом, анализ накопленного Институтом горных наук и технологий Вьетнама (TKV) опыта показал [2], что успешное применение анкерного крепления, возможно лишь в горных выработках, сооружаемых в массивах, качество которых оценивается показателем RQD > 40%, а мощность пласта угля, в котором осуществляется проходка выработки не должна превышать 4 м. При этом действующими нормами проектирования регламентируется применение традиционных конструкций анкеров, включая замковые, трубчатые и распорные только в сочетании с металлическими рамами.

В то же время анкера контактного типа, к которым относятся традиционные железобетонные и полимерные на основе быстротвердеющих смол, показали значительно более высокую эффективность и их применение позволяет отказаться от установки рам [2].

Следует отметить, что вследствие недостатков традиционных железобетонных анкеров, обусловленных большой длительностью процесса твердения бетонной смеси, закрепляющей анкерные срежни, в шахтах Вьетнама использование этих анкеров в настоящее время практически прекращено. При этом широкое применение получили анкерные конструкции длиной от 1,4 до 2,4 м на основе полимерных вяжущих в патронированном (ампульном) виде, обеспечивающих практически мгновенное закрепление анкерной штанги. В следствие хорошей адгезии твердеющего полимерного состава к металлу штанги и поверхности породного обнажения прочность заполнения может достигать 10 -12 МПа.

Методика проектирования анкерной крепи, принятая в институте TKV (Вьетнам), в целом, согласуется с применяемой в Российской Федерации [3]. При этом указанная методика обладает рядом недостатков, среди которых можно выделить невозможность

учета основных характеристик полей начальных напряжений в массиве пород, таких, как глубина заложения выработки, коэффициент бокового давления пород в ненарушенном массиве, а также особенностей тектонических проявлений, связанных с наклоном составляющих главных напряжений по отношению к вертикали и горизонтали. Кроме этого введение расчет предположения об одинаковом нагружении анкеров независимо от места их установки является существенным упрощением и ведет к перерасходу материалов. Также остается неясным, каким образом анкера, устанавливаемые в боках выработки, влияют на общую несущую способность крепи, и как проявляется эффект от установки анкеров на общую устойчивость окружающего выработку массива, определющую размеры свода возможного обрушения пород. Таким образом, совершенствование методов расчета анкерной крепи применительно к условиям глубоких угольных шахт с целью расширения области применения этого вида крепления является актуальной научной задачей, решение которой имеет важное значение для угольной промышленности Вьетнама.

Предлагаемый в настоящей работе подход к расчету анкерной крепи основан на математическом моделировании формирования напряженного состояния горного массива вокруг горной выработки с учетом взаимодействия устанавливаемых анкеров контаткного типа и окружающих пород, как элементов единой деформируемой системы, испытывающей действие гравитационных сил. С этой целью рассматривается соответствующая задача геомеханики, расчетная схема которой приведена на рис. 1.

Здесь весомая изотропная линейно-деформируемая среда S_0, моделирует горный массив. Среда ослаблена круговым отверстием радиуса R, моделирующим горную выработку. Анкера моделируются жесткими включениями S_j (j=1,…,n) в среде S_0 вне отверстия. Рассматриваемые включения имеют эллиптическую форму, при этом продольные (большие) оси эллипсов S_j имеют длины l_j, а поперечные (короткие) – равные диаметрам анкерных шпуров d_j. Очевидно, что при условии $d_j << l_j$ формы эллиптических включений, моделирующих анкера, мало отличаются от прямолинейных (стержней).

Начало координат помещается в центр отверстия. При этом положения центров рассматриваемых эллипсов S_j (j=1,…,n) располагаются в точках $z_j = x_j + iy_j$, а продольные оси эллипсов

образуют углы θ_j (j=1,…,n) с действительной осью x.

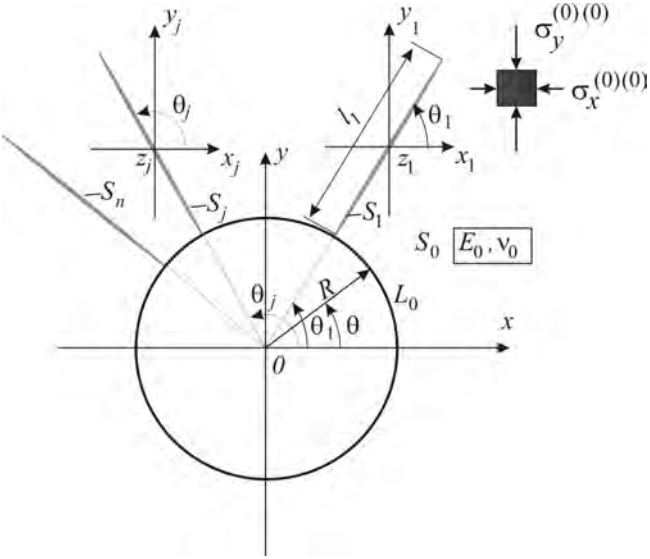


Рис. 1. Расчетная схема

Действие собственного веса пород моделируется заданием в моделирующей горный массив среде S_0 неравнокомпонентного поля начальных напряжений:

$$\sigma_x^{(0)(0)} = -\lambda \gamma H \alpha^*, \quad \sigma_y^{(0)(0)} = -\gamma H \alpha^* \qquad (1)$$

где H - глубина заложения выработки, γ - усредненный удельный вес пород, λ - коэффициент бокового давления пород в ненарушенном массиве, α^* - корректирующий множитель, введенный для учета пространственного характера нагружения анкеров и других несовершенств расчетной схемы [4].

Далее полные напряжения в среде S_0 (горном массиве) представляются в виде сумм начальных напряжений (1) и дополнительных напряжений, обусловленных образованием выработки:

$$\sigma = \sigma^{(0)} + \sigma^{(0)(0)}, \qquad (2)$$

здесь символом σ обозначены все компоненты тензора напряжений.

Смещения в массиве рассматриваются только дополнительные, то есть начальные смещения из рассмотрения исключаются.

Граничные условия рассматриваемой задачи отражают отсутствие полных напряжений на контуре отверстия L_0 (выработки) и записываются в виде

$$\sigma_r = 0; \quad \tau_{r\theta} = 0 \tag{3}$$

Кроме этого, принимая во внимание, что рассматриваемые анкера контактного типа, конструкции которых включают стальные или полимерные анкерные стержни и весьма прочный материал их закрепления в шпуре, обладают высокой по сравнению с горным массивом жесткостью, граничные условия на контурах L_j, записываются в виде (j=1,…,n):

$$u_x^{(j)} = 0; \; u_y^{(j)} = 0 \tag{4}$$

где $u_x^{(j)}$, $u_y^{(j)}$ - дополнительные горизонтальные и вертикальные смещения точек контуров L_j.

Для решения поставленной задачи воспользуемся аппаратом теории аналитических функций комплексного переменного и методом Колосова Мусхелишвили [5].

Введем в рассмотрение комплексные потенциалы, $\varphi(z), \psi(z)$, определяющие напряженно – деформированное упругой плоскости с отверстием круговой формы и жесткими эллиптическими включениями.

Граничные условия (3) для дополнительных напряжений принимают вид [6]

$$\varphi(t_0) + t_0\overline{\varphi'(t_0)} + \overline{\psi(t_0)} = i\int_{L_0}\left(X_n^{(0)(0)} + iY_n^{(0)(0)}\right)ds \tag{5}$$

где $t_0 = R(\cos\theta + i\sin\theta) = R\sigma$ - точка контура L_0; $X_n^{(0)(0)}, Y_n^{(0)(0)}$ - проекции внешних сил (начальных напряжений (1)), действующих на элемент контура ds.

В свою очередь, условия (4) записываются в виде (j=1,…,n):

$$\varphi(t_j) - t_j\overline{\varphi'(t_j)} - \overline{\psi(t_0)} = 0 \tag{6}$$

Воспользуемся представлением введенных потенциалов в виде [6]:

$$\varphi(z) = \varphi_0(z) + \sum_{j=1}^{n}\varphi_j(z); \qquad \psi(z) = \psi_0(z) + \sum_{j=1}^{n}\psi_j(z), \tag{7}$$

здесь $\varphi_0(z), \psi_0(z)$ - функции, регулярные вне кругового отверстия (контура L_0) и исчезающие на бесконечности, $\varphi_j(z), \psi_j(z)$ - функции, регулярные вне эллиптических контуров L_j и исчезающие на бесконечности.

Функции $\varphi_0(z), \psi_0(z)$ будем отыскивать в виде рядов [5]

$$\varphi_0(z) = \sum_{n=1}^{\infty} c_n^{(1)(0)} z^{-n}, \psi_0(z) = \sum_{n=0}^{\infty} c_n^{(2)(0)} z^{-n}, \qquad \textbf{(8)}$$

где $c_n^{(k)}$ $(k = 1, 2;\ n = 1, \ldots, \infty)$ коэффициенты, подлежащие определению в процессе решения задачи.

Далее вводятся рациональные функции (j=1,…,n)

$$z = \frac{\omega_j(z_j)}{R_0} = \omega_j(z_j) = \frac{z_j}{R_0} + \frac{\omega_j(z_j)}{R_0} = \frac{z_j}{R_0} + \frac{R_j}{R_0}\left(z_j + \frac{m_j}{z_j} e^{i\theta_j}\right) =$$
$$= Z_j + r_j\left(z_j + \frac{m_j}{z_j} e^{i\theta_j}\right) \qquad (9)$$

с помощью которых производится отображение внешностей единичных окружностей на внешности эллипсов L_j с полуосями a_j / R_0 и b_j / R_0, центры которых расположены в точках $Z_j = \frac{z_j}{R_0}$, а большие полуоси a_j / R_0 составляют углы θ_j с направлением действительной оси 0x. При этом рациональные функции

$$\frac{\omega_j(z_j)}{R_0} = \omega_j(z_j) = r_j\left(z_j + \frac{m_j}{z_j} e^{i\theta_j}\right) - \qquad (10)$$

осуществляют отображение внешности каждого эллипса S_j (j=1,…,n), на внешность единичного круга; $r_j = \frac{a_j + b_j}{2R_0}$ - средний радиус эллипса S_j, $m_j = \frac{a_j - b_j}{a_j + b_j}$.

Несложно заметить, что при $m_j \to 1$ соответствующий эллипс S_j принимает форму, близкую к отрезку прямой (прямолинейному стержню).

Следуя работе [5] функции $\varphi_j(z), \psi_j(z)$ представляются в виде

$$\varphi_j(z) = \varphi_j\left[W_j(z_j)\right] = \varphi_j(z_j) = \sum_{n=1}^{\infty} c_n^{(1)(j)} z_j^{-n}, \qquad (11)$$

$$\psi_j(z) = \psi_j(z_j) = \sum_{n=0}^{\infty} c_n^{(2)(j)} z_j^{-n}$$

где коэффициенты $c_n^{(k)(j)}$ $\left(k = 1, 2;\ j = 1, \ldots, n;\ n = 1, \ldots, \infty\right)$ также подлежат определению.

Таким образом, поставленная задача сводится к нахождению $n+1$ пар комплексных потенциалов, имеющих представления (8), (11), в результате их подстановки в условия (5) и (6).

Чтобы избежать сложные математические преобразования решение описанной задачи представляется в виде итерационного процесса, в первом приближении которого рассматривается случай неподкрепленного отверстия в весомой среде, а влияние жестких включений, учитываемое путём введения дополнительных функций, не рассматривается (то есть соответствующие функции обнуляются). Далее, на каждом шаге итераций по результатам проверки поставленных граничных условий указанные дополнительные функции уточняются и расчет продолжается до тех пор, пока в двух смежных итерациях эти функции не будут совпадать с заданной точностью.

Полученное решение реализовано в виде полного алгоритма расчета.

Библиографический список

1. Nông V.H. Nghiên cứu thiết kế chế tạo neo cáp và một số phụ kiện neo phục vụ chống lò tại các mỏ hầm lò của Tập đoàn Công nghiệp than & Khoáng sản Việt Nam / V.H. Nông và nhóm nghiên cứu. Báo cáo nghiên cứu khoa học, Viện Khoa học Công nghệ Mỏ, Hà Nội, năm 2017, 78 trang.

2. Báo cáo của Tập đoàn Công nghiệp than & Khoáng sản Việt Nam -TKV về việc sử dụng than trong nền kinh tế quốc dân của CHXHCNVN. Hà Nội, 2010.

3. Руководство по проектированию подземных горных выработок и расчету крепи /ВНИМИ, ВНИИОМШС Минуглепрома СССР.- М.: Стройиздат, 1983.- 273 с.

4. Булычев Н.С. Механика подземных сооружений в примерах и зада-чах: Учеб. пособ. для вузов. – М.:Недра, 1989. – 270 с.

5. Мусхелишвили Н.И. Некоторые основные задачи математической теории упругости. М.: Наука, 1966. - 707 с.

6. Шерман Д.И. О напряжениях в плоской весомой среде с двумя одинаковыми симметрично расположенными круговыми отверстиями // ПММ, т. XV. Вып. 6. 1951. С. 751-761.

УДК 624.191.6

ИССЛЕДОВАНИЕ НАПРЯЖЕННОГО СОСТОЯНИЯ ОБДЕЛКИ ОТ ВЕСА ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ, РАСПОЛОЖЕННОГО ВНУТРИ ТОННЕЛЯ

Анциферов С.В., Дворянкин В.Г., Копылов А.Б.
Тульский государственный университет, гюТула, Россия

Разработанный аналитический метод расчета обделок тоннелей кругового поперечного сечения мелкого заложения от веса размещенного внутри тоннеля массивного технологического оборудования реализован в виде компьютерной программы. В докладе приведены результаты компьютерного моделирования, позволившие установить закономерности формирования напряженного состояния обделок из железобетонных блоков.

Строительство крупных подземных сооружений осуществляется, как правило, с использованием комплексов достаточно массивного технологического оборудования, например, тоннелепроходческих передвижных механизированных комплексов (ТПМК), другого строительно-монтажного оборудования и различных транспортных средств, размещенных внутри тоннеля. Вес такого оборудования в сочетании с действием постоянных нагрузок [1] – собственного веса грунта, давления грунтовых вод, веса объектов на поверхности – может приводить при определенных сочетаниях влияющих факторов к достаточно существенному изменению напряженного состояния подземных конструкций.

Разработанный метод расчета базируется на теоретических положений геомеханики и механики подземных сооружений, предоставляющих возможность выполнения математического моделирования процесса формирования напряженного состояния системы "массив грунта - тоннель мелкого заложения - обделка", включающего получение аналитического решения соответствующей задачи теории упругости с применением аппарата теории функций комплексного переменного.

Метод расчета базируется на решении плоской задачи теории упругости, расчетная схема которой представлена на рис. 1. Массив пород моделируется полубесконечной однородной изотропной линейно-деформируемой средой S_0 с прямолинейной границей L.

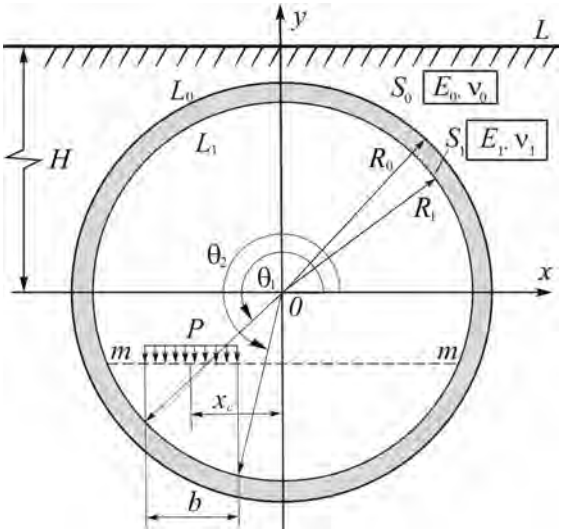


Рис.1. Расчётная схема

Среда S_0, характеризуемая модулем деформации E_0 и коэффициентом Пуассона ν_0, ослаблена круговым отверстием с контуром L_0 радиуса R_0 на расстоянии H от линии L. Отверстие подкреплено концентрическим кольцом S_1 с внутренним контуром L_1 радиусом R_1, которое моделирует обделку. Кольцо S_1 выполнено из материала с деформационными характеристиками E_1, ν_1.

На части $[\theta_1; \theta_2]$ контура L_1 действует статическая вертикальная равномерно распределенная нагрузка интенсивности P, моделирующая вес объекта внутри тоннеля, представляемая в дальнейшем в виде разложения в ряд Фурье.

Граничные условия плоской задачи теории упругости имеют вид

$$\sigma_y^{(0)} = 0, \ \tau_{xy}^{(0)} = \tau_{yx}^{(0)} = 0 \ \text{ на границе } L; \tag{1}$$

$$\sigma_r^{(1)} = \sigma_r^{(0)}, \ \tau_{r\theta}^{(1)} = \tau_{r\theta}^{(0)}; \ u^{(1)} = u^{(0)}, \ v^{(1)} = v^{(0)} \ \text{ на контуре } L_0; \tag{2}$$

$$\sigma_r^{(1)} = \begin{cases} -P\sin\theta \text{ на } [\theta_1; \theta_2], \\ 0 \text{ вне } [\theta_1; \theta_2]; \end{cases} \tau_{r\theta}^{(1)} = \begin{cases} -P\cos\theta \text{ на } [\theta_1; \theta_2], \\ 0 \text{ вне } [\theta_1; \theta_2] \end{cases} \text{ на контуре } L_1, \tag{3}$$

где $\sigma_y^{(0)}$, $\tau_{xy}^{(0)}$ - вертикальные и касательные напряжения в прямоугольной системе координат XOY в области S_0; $\sigma_r^{(j)}$, $\tau_{r\theta}^{(j)}$ - радиальные и касательные напряжения в полярной системе координат, $u^{(j)}$, $v^{(j)}$ - радиальные и окружные перемещения в областях S_j $(j = 0,1)$. Условия (1) – (3) отражают отсутствие нагрузки на границе L, выполнение условий непрерывности векторов напряжений и смещений на линии L_0 контакта областей с различными деформационными характеристиками, а также наличие нагрузки на части контура L_1.

Подробно процесс решения задачи приведен в работах [2, 3]. Решение получено с использованием математического аппарата теории комплексных потенциалов Колосова - Мусхелишвили, включающего применение аналитического продолжения потенциалов через границу полуплоскости, свойств интегралов типа Коши, рядов Лорана и Фурье [4, 5]. Особенностью предложенного решения является хорошо сходящийся итерационный процесс, на каждом шаге которого находятся решения задачи о напряженном состоянии кольца, подкрепляющего отверстие в полной плоскости, при граничных условиях, содержащих члены в виде рядов Лорана, отвечающие за влияние границы полуплоскости.

Приближенный учет конечного размера нагрузки вдоль продольной оси тоннеля и скорости ее движения возможен с помощью эмпирических коэффициентов.

На основе полученного решения задачи теории упругости разработан аналитический метод расчета обделок тоннелей кругового поперечного сечения, сооружаемых закрытым способом вблизи земной поверхности, на действие внутренней локально распределенной нагрузки от веса оборудования, размещенного внутри тоннеля.

Метод расчета реализован в виде алгоритма и компьютерной программы на языке FORTRAN. Метод позволяет оценить напряженное состояние обделок тоннелей мелкого заложения при сочетании действия постоянной (действие собственного веса грунта) и временной нагрузки от веса массивного оборудования, а также транспортных средств внутри тоннеля.

Ниже приведены результаты многовариантных расчетов с помощью разработанной компьютерной программы, которые позволили уточнить известные и получить новые зависимости напряженного состояния обделок тоннелей кругового поперечного сечения, пройден-

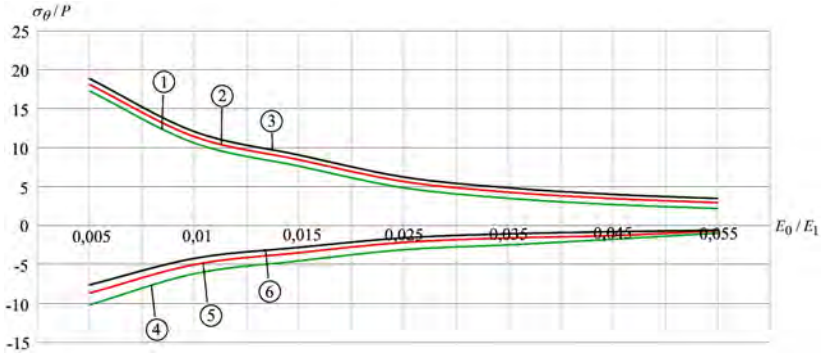
ных закрытым способом вблизи земной поверхности, от основных влияющих факторов при действии временных нагрузок - внутреннего локально распределенного в лотковой части тоннеля вертикального давления.

Исследования выполнялись для двухпутного перегонного тоннеля кругового очертания с наружным диаметром 10,4 м, сооружаемого с применением ТПМК, закрепленного обделкой из высокоточных водонепроницаемых железобетонных блоков толщиной $D = 0{,}5$ *м*. Обделка моделировалась однородным кольцом, выполненным из материала с модулем деформации $E_1 = 36000$ *МПа* и коэффициентом Пуассона $n_1 = 0{,}2$ [6]. Коэффициент Пуассона грунта $n_0 = 0{,}35$.

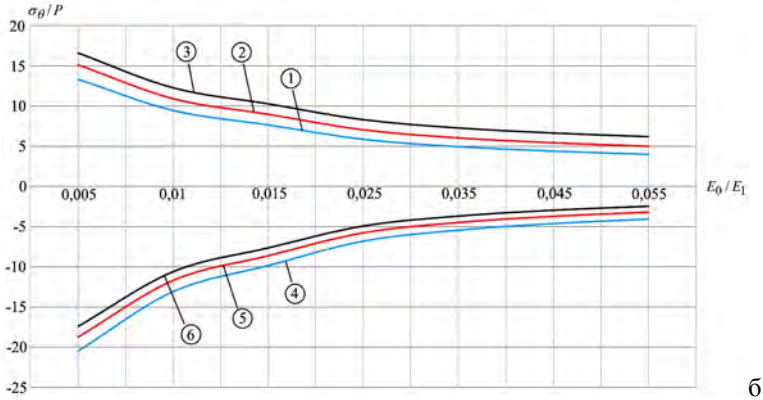
Ниже представлены результаты компьютерного моделирования напряженного состояния обделки тоннеля в виде зависимостей относительных максимальных сжимающих $s_{\max}^{(сж)} / P$ и растягивающих $s_{\max}^{(раст)} / P$ нормальных тангенциальных напряжений, возникающих в точках наружного и внутреннего контуров поперечного сечения обделки тоннеля от отношения модулей деформации массива пород и материала обделки E_0 / E_1 и от положения центра x_c участка действия нагрузки относительно вертикального диаметра сечения тоннеля при различных значениях модуля деформации массива грунта.

На рис. 2 приведены зависимости напряжений $s_q^{\max} / P$ в точках наружного (рис. 2 а) и внутреннего (рис. 2 б) контуров сечения обделки от величины отношения E_0 / E_1 при различных относительных глубинах заложения тоннеля: $H / R_0 = 2$ - линии 1, 4; $H / R_0 = 5$ - линии 2, 5; $H / R_0 = 10$ - линии 3, 6.

Расчеты показали, что в точках обоих контуров сечений обделки возникают как сжимающие, так и растягивающие нормальные тангенциальные напряжения, при этом растягивающие напряжения на наружном контуре обделки в слабых грунтах не только соизмеримы с сжимающими, но и могут их превышать. Из приведенных на рис. 2 зависимостей следует, что с ростом глубины заложения тоннеля при прочих равных условиях на обоих контурах обделок происходит уменьшение по абсолютной величине максимальных сжимающих и, наоборот, рост максимальных растягивающих напряжений; увеличение модуля деформации пород E_0 при постоянном значении модуля деформации бетона E_1 обделки приводит к уменьшению как растягивающих, так и сжимающих напряжений.



а



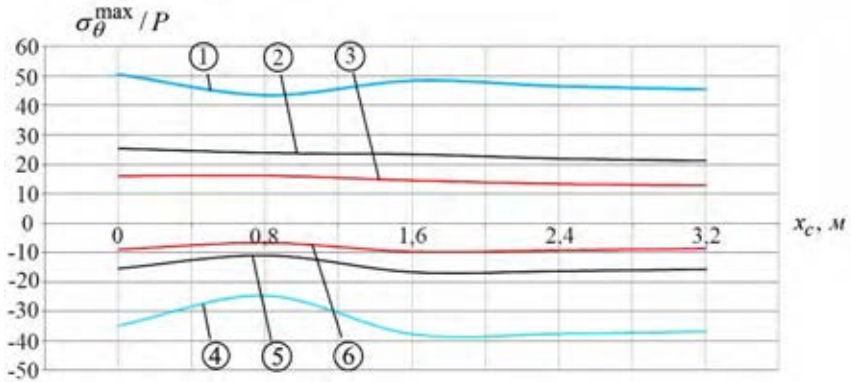
б

Рис. 2. Зависимости максимальных напряжений на наружном (а) и внутреннем (б) контурах обделки от величины E_0 / E_1 : $H / R_0 = 2$ - линии 1, 4; $H / R_0 = 5$ - линии 2, 5; $H / R_0 = 10$ - линии 3, 6

На рис. 3 приведены зависимости относительных максимальных растягивающих и сжимающих напряжений s_q^{max} / P для наружного (рис. 3 а) и внутреннего (рис. 3 б) контуров поперечного сечения обделки тоннеля от положения центра x_c участка действия нагрузки относительно вертикального диаметра на уровне m - m (рис. 1) при различных значениях модуля деформации массива грунта E_0.

Результаты получены при следующих исходных данных: $H = 2R_0$, толщина обделки $D = 0{,}1R_0$, ширина нагрузки $b = 1{,}6\,м$.

а



б

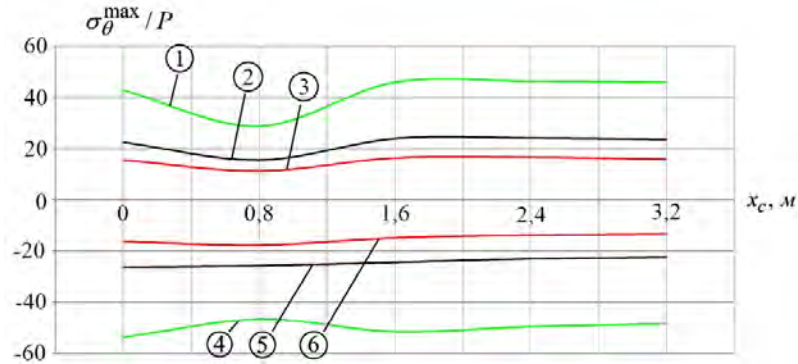


Рис. 3. Зависимости напряжений s_q^{max} / P на наружном (а) и внутреннем (б) контурах сечения обделки от положения центра нагрузки: $E_0 = 20\ МПа$ - линии 1, 4; $E_0 = 100\ МПа$ - линии 2, 5; $E_0 = 200\ МПа$ - линии 3, 6

Из представленных на рис. 3 зависимостей следует, что положение локальной нагрузки внутри тоннеля оказывает существенное влияние на напряженное состояние обделок тоннелей, особенно сооружаемых в относительно слабых грунтах. Так, при $E_0 = 20\ МПа$ (линии 1, 4) зависимости максимальных растягивающих и сжимающих напряжений имеют выраженный экстремальный характер: при изменении координаты центра от $x_c = 0$ (симметричное расположение нагрузки) до $x_c = 0{,}8\ м$ наблюдается уменьшение максимальных растягивающих напряжений на 14% и максимальных сжимающих на 29%

для наружного контура (рис. 3 а); на внутреннем контуре сечения обделки (рис. 3 б) максимальные растягивающие напряжения уменьшаются на 33%, максимальные сжимающие - на 13%. При дальнейшем удалении центра нагрузки x_c от вертикального диаметра до $1{,}8\ м$ на наружном и внутреннем контурах происходит рост максимальных растягивающих и сжимающих, а затем их незначительное уменьшение. В относительно прочных грунтах (линии 2, 3, 5, 6) выявленные закономерности менее выражены.

Библиографический список

1. СП 20.13330.2011 Нагрузки и воздействия. Свод правил, актуализированная редакция. М.: Минрегион России, 2011. - 96 с.

2. Анциферов С.В., Дворянкин В.Г., Копылов А.Б. Влияние веса под-вижного состава на напряженное состояние обделок тоннеля метрополитена// Транспортное строительство. 2018. № 7. С. 21 - 23.

3. Анциферов С.В., Саммаль А.С., Дворянкин В.Г., Тормышева О.А. Метод расчета обделок с учетом веса размещенного внутри тоннелей массивного оборудования// Известия ТулГУ. Науки о Земле. Вып. 3. Тула. 2018. С. 210 - 220.

4. Лаврентьев М.А., Шабат Б.В. Методы теории функций комплексного переменного. М.: Наука, 1987. 688 с.

5. Мусхелишвили Н.И. Некоторые основные задачи математической теории упругости. – М: Наука, 1966. - 707 с.

6. Булычев Н.С. Механика подземных сооружений/ Учеб. для вузов. - 2-е изд., перераб. и доп. - М.: Недра. -1994. - 382 с.

УДК 624.191.6

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ НАПРЯЖЕННОГО СОСТОЯНИЯ ОБДЕЛКИ ТОННЕЛЯ, СООРУЖАЕМОГО С ПРИМЕНЕНИЕМ ЗАЩИТНОГО ЭКРАНА

Анциферов С.В., Трещева О.В., Феклин А.А.
Тульский государственный университет

В докладе содержится описание математической модели формирования напряженного состояния обделки тоннеля, сооруженного с применением защитного экрана из труб. Используется решение соответствующей плоской задачи теории упругости, полученное с применением математического аппарата теории функций комплексного переменного. Представлены результаты расчета.

В условиях плотной городской застройки для уменьшения осадок земной поверхности проходка тоннелей закрытым способом на небольших глубинах осуществляется с применением технологии возведения опережающего экрана из металлических труб с бетонным заполнением [5]. При проектировании подобных сооружений используются методики расчета, основанные на теоретических положениях сопротивления материалов и строительной механики, либо программы, реализующие численные методы, например, метод конечных элементов.

Строгого аналитического метода расчета обделок тоннелей, сооруженных вблизи земной поверхности закрытым способом, учитывающего наличие защитного экрана из труб, до настоящего времени не имелось, поэтому разработка соответствующего метода является актуальной задачей.

В основу метода положены результаты математического моделирования напряженного состояния элементов системы «массив грунта - обделка тоннеля – трубы защитного экрана», выполненного с использованием положений геомеханики и механики подземных сооружений о взаимодействии подземных конструкций и окружающего массива грунта как элементов единой деформируемой системы [3].

При расчете учитывается влияние близко расположенной земной поверхности; глубины заложения тоннеля; количества, взаимного расположения и размеров поперечного сечения труб защитного экрана; деформационные характеристики массива грунта, материала обделки и материалов заполнения; поле начальных напряжений в массиве, обусловленных гравитационными силами; размеры поперечного сечения обделки тоннеля; последовательность установки труб защитного экрана и сооружения тоннеля; отставание возведения обделки от забоя. Расчетная схема задачи представлена на рис. 1.

Массив грунта моделируется полубесконечной однородной весомой линейно-деформируемой средой с отверстием радиусом R_1, моделирующим поперечное сечение выработки тоннеля, и шайбами радиусами R_j $(j = 2,...,N)$, моделирующими трубы экрана с возможным заполнением. Материал среды характеризуется объемным весом γ_0, коэффициентом бокового давления λ, модулем деформации E_0 и коэффициентом Пуассона ν_0. Материалы обделки тоннеля, моделируемой кольцом с внутренним контуром радиусом $R_{1,1}$, и шайб имеют приведенные деформационные характеристики E_j, ν_j $(j = 1,2,...,N)$.

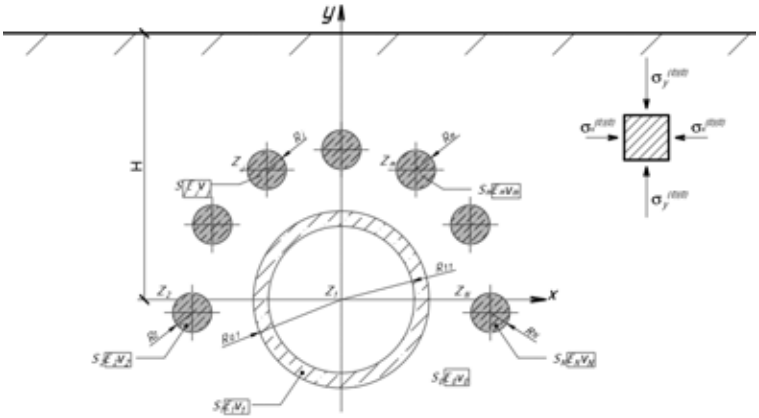


Рисунок 1 - Расчетная схема

Гравитационные силы в ненарушенном массиве грунта естественного залегания моделируются наличием в весомой среде S_0 поля начальных напряжений. Его компоненты учитывают изменение напряжений по высоте выработки тоннеля мелкого заложения (глубина заложения выработки соизмерима с ее диаметром). В системе координат XOY компоненты определяются следующими известными соотношениями [1]:

$$s_y^{(0)(0)} = -g(H - y);\ s_x^{(0)(0)} = l\, s_y^{(0)(0)} = -l\, g(H - y);\ t_{xy}^{(0)(0)} = 0\,. \qquad (1)$$

Полные напряжения $s_x^{(0)*}, s_y^{(0)*}, t_{xy}^{(0)*}$ в области S_0 представляются в виде:

$$s_x^{(0)*} = s_x^{(0)(0)} + s_x^{(0)};\ s_y^{(0)*} = s_y^{(0)(0)} + s_y^{(0)};\ t_{xy}^{(0)*} = t_{xy}^{(0)(0)} + t_{xy}^{(0)}, \qquad (2)$$

где $s_x^{(0)}$, $s_y^{(0)}$, $t_{xy}^{(0)}$ - дополнительные напряжения, обусловленные наличием в среде S_0 областей S_j $(j = 1,...,N+1)$, и определяемые из решения соответствующей задачи теории упругости.

Начальные напряжения в областях S_j $(j = 1,2,...,N+1)$ отсутствуют. Смещения в областях S_j $(j = 0,1,...,N+1)$, моделирующих обделку тоннеля и трубы экрана, рассматриваются только дополнительные.

Граница $L_0^{'}$ среды S_0 свободна от действия внешних сил:

$$\sigma_y^* = 0\,,\ \tau_{xy}^* = 0\,. \qquad (3)$$

Модель взаимодействия предусматривает совместное деформирование среды S_0 и областей S_j $(j = 1,2,...,N+1)$, т.е. на контурах $L_{0,1}$ и L_j $(j = 2,...,N+1)$ выполняются условия непрерывности векторов полных напряжений и дополнительных смещений, возникающих в точках границ областей с различными деформационными характеристиками.

Тогда граничные условия на контурах L_j $(j = 0,1,2,...,N+1)$ принимают вид

$$\begin{cases} \sigma_r^{(j)*} = \sigma_r^{(0)*},\ \tau_{r\theta}^{(j)*} = \tau_{r\theta}^{(0)*}; \\ u^{(j)} = u^{(0)},\ v^{(j)} = v^{(0)}. \end{cases} \qquad (4)$$

Внутренний контур $L_{1,1}$ кольца S_1 свободен от действия внешних сил:

$$\sigma_r^{(1)*} = 0\ ,\ \tau_{r\theta}^{(1)*} = 0\,. \qquad (5)$$

В условии (3) напряжения σ_y^*, τ_{xy}^* - полные вертикальные и касательные в декартовой системе координат; в соотношениях (4), (5) напряжения $\sigma_r^{(p)*}$, $\tau_{r\theta}^{(p)*}$ - полные радиальные и касательные напряжения, а $u^{(p)}$, $v^{(p)}$ - радиальные и окружные смещения в точках границ соответствующих областей S_p $(p = 0,1,...,N+1)$ в полярной системе координат.

Таким образом, граничные условия задачи теории упругости отражают отсутствие нагрузок на прямолинейной границе среды, непрерывность векторов полных напряжений и смещений на границах раздела областей с различными деформационными характеристиками.

Для решения поставленной задачи теории упругости применяется математический аппарат теории функций комплексного переменного (ТФКП). Поэтому осуществляется переход к соответствующей краевой задаче ТФКП [4], решение которой получено с использованием метода Арамановича И.Г. [2], модифицированного в работе [1], и реализовано в виде компьютерной программы, позволяющей производить многовариантные расчеты.

Ниже на рис. 2 приведены результаты определения напряженного состояния массива грунта на контуре выработки на глубине 10 м,

расположенной под горизонтальным защитным экраном из пяти труб диаметром 200 мм на глубине 6,5 м от поверхности. Исходные данные: $R_1 = 3$ м; $E_1 = 50$ МПа; $\nu_1 = 0{,}35$; приведенные модули деформации материала труб $E_j = 130000$ МПа; $\nu_j = 0{,}2$ $(j = 2,...,5)$.

а б

Рис. 2. Эпюры напряжений σ_q, МПа на контуре выработки:
а - без применения защитного экрана; б - под защитным экраном

На рис. 3 представлены результаты определения напряженного состояния массива грунта и обделки тоннеля при следующих исходных данных:

- глубина заложения тоннеля – 10 м;
- наружный радиус сечения обделки – 3 м;
- внутренний радиус сечения обделки – 2,7 м;
- модуль деформации материала обделки – 30000 МПа;
- коэффициент Пуассона материала обделки – 0,2;
- модуль деформации грунта – 50 МПа;
- коэффициент Пуассона грунта – 0,35;
- количество труб экрана – 5;
- центры сечения пяти труб диаметром 200 мм защитного экрана расположены на горизонтальной прямой на глубине 6,5 м от поверхности симметрично относительно вертикальной оси, проходящей через центр сечения выработки с шагом 0,5 м;
- приведенные модули деформации материала труб, учитывающие модуль упругости стали и модули деформации материала заполнения – 130000 МПа;
- коэффициент Пуассона материала заполнения – 0,2.

Эпюры нормальных тангенциальных напряжений σ_q, МПа в массиве, на наружном и внутреннем контурах обделки тоннеля, сооруженного без применения защитного экрана, приведены соответственно на рис. 3 а, б, в.

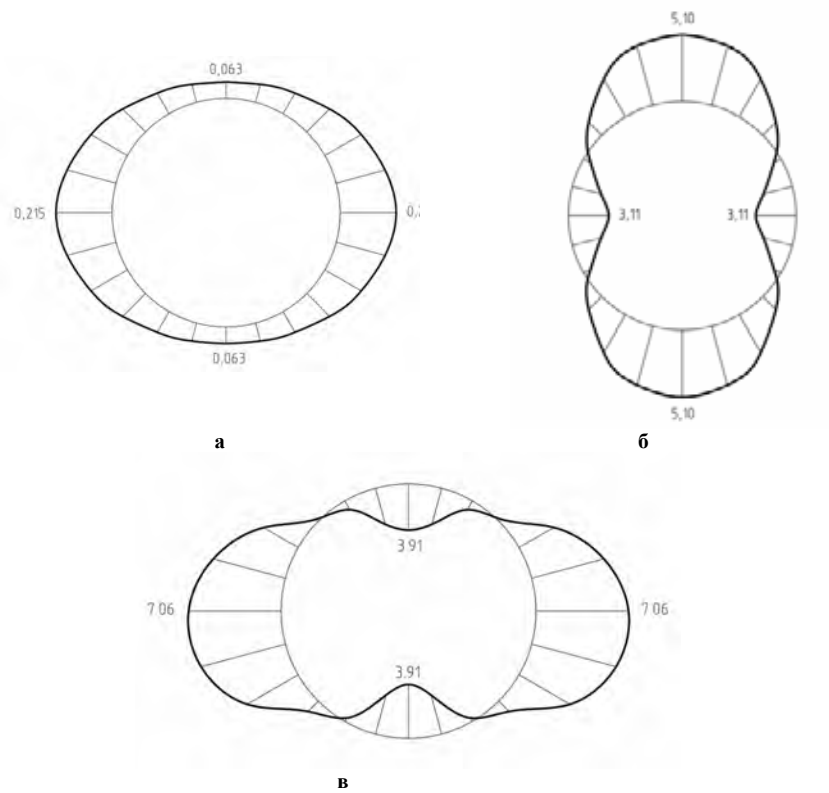
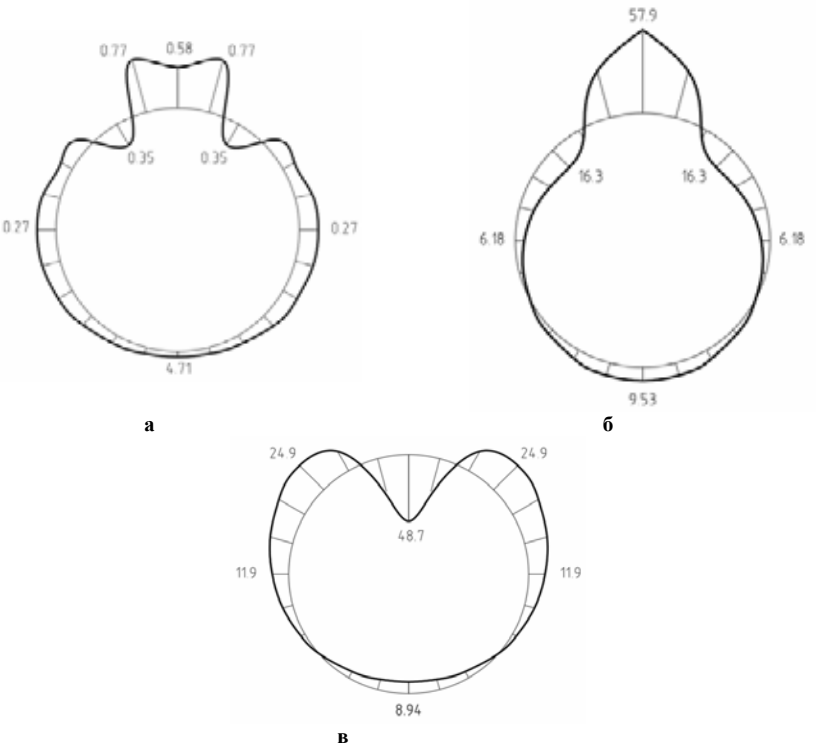


Рис. 3.– Эпюры напряжений: а -в массиве; б – на наружном контуре сечения обделки; в - на внутреннем контуре сечения обделки тоннеля, пройденного без защитного экрана

Эпюры нормальных тангенциальных напряжений s_q, МПа в массиве, на наружном контуре обделки и на внутреннем контуре обделки тоннеля, сооруженного с применением защитного экрана, приведены соответственно на рис. 4 а, б, в.

Представленные результаты соответствуют случаю одновременному появлению подкрепленного отверстия и шайб, моделирующих соответственно сечения тоннеля и труб экрана. Уменьшение расчетных напряжений при учете того, что выработка проходится через определенный промежуток времени после установки труб, будет достигнуто в соответствии с методикой [1].



Рису. 4. Эпюры напряжений: а - в массиве; б – на наружном контуре сечения обделки; в - на внутреннем контуре сечения обделки тоннеля, сооруженного под защитой экрана из труб

Полученные результаты являются исходными данными для разрабатываемого алгоритма учета влияния последовательности проходки выработки по отношению к трубам защитного экрана и отставания возведения обделки.

Библиографический список

1. Анциферов С.В. Метод расчета многослойных обделок параллельных тоннелей кругового поперечного сечения мелкого заложения: монография. – Тула: ТулГУ, 2014. – 298 с.

2. Араманович И.Г. О распределении напряжений в упругой полуплоскости, ослабленной подкрепленным круговым отверстием// Докл. АН СССР. - М., 1955. - Т. 104. - №3. - С. 372 - 375.

3. Булычев Н.С. Механика подземных сооружений: Учебник для вузов. - М.: Недра, 1994. - 382 с.

4. *Мусхелишвили Н.И. Некоторые основные задачи математической теории упругости. – М: Наука. - 1966. - 708 с.*

5. *Рекомендации по применению опережающих экранов из труб при сооружении транспортных тоннелей/ Под ред. Букова Н. Э., Матрохина Г.С. - М.: ЦНИИС, 1988. – 47 с.*

УДК 622.27:553.7

NONMETALLIC MINERAL RESOURCES OF BELARUS FOR THE PRODUCTION OF CONSTRUCTION MATERIALS

Basalai I.A., Slesarenok E.V.
Belarusian National Technical University, Minsk, Belarus

This paper touches upon the main issues on current situation with different types of mineral deposits at various regions of Belarus. The authors would like to underline the fact that the raw materials are presented by numerous and various deposits. Besides, the paper gives a detailed description how these resources are exploited and, moreover, what each mineral is intended for. In conclusion, the authors express the future perspectives of increasing the volume of production if new enterprise will be built.

Combining a wide variety brunches and industries, the building materials industry is characterized by the unity of the purpose of the products. It is directly related to the construction and provides it with the necessary materials. Its important feature is the use of nonmetallic mineral resources as the main raw material.

In Belarus, this type of mineral raw material is represented by numerous and various deposits of sands and sand-gravel mixtures, clays, carbonate rocks, gypsum, as well as natural building stone. Despite the relative cheapness of this type of raw material, its importance in the country's modern economy can hardly be overestimated [1-2].

Due to the developed industrial base and significant reserves of these mineral resources located close to the surface, the development of their deposits is carried out in an open way, i.e. directly from the ground. Mine workings, called a quarry, are, in this case, an open contour in cross-section. In Belarus, this is the way ¾ of the whole volume of building rocks is mined.

Sands are used both in their natural state and after enriching them for the production of concrete, building mortar, in the glass industry and foun-

dry production. Sands are widespread in Belarus. Deposits of sands are related to the Quaternary strata, less often to deposits of the Paleogene and Neogene. They are usually of water-glacial and lacustrine-alluvial origin; in the south of the country there are also sands of aeolian genesis.

The raw material base of construction and silicate sands includes about 80 deposits (total reserves of about 350 million m^3), located throughout the country. Sands occur on the surface or close to it in the form of lenticular or sheet-like deposits of various sizes. The thickness of individual deposits reaches 15 m. Deposits of building sands are related to lakes, outwash plains, and river terraces. More than 35 fields are being developed. The annual production is 7–8 million m^3.

Deposits of molding sands were found in Zhlobin (Chetvernya deposit) and Dobrush (Lenino) districts of the Gomel region. The Chetvernya deposit is operated by the Zhlobin quarry-management department, and the Lenino is operated by Gomel mining and processing plant. About 0.6 million m^3 of molding sand is mined annually.

Deposits of glass sands have been explored in the Gomel (Loevskoye) and Brest (Gorodnoye) regions. Their total reserves comprise 15 million m^3. Glass sands are suitable for the production of window and container glass.

Sand-gravel mixtures are associated with moraine, less often alluvial deposits. Deposits of sand and gravel material are widespread in the northern and central parts of Belarus. They are usually small in size (up to 50 hectares). The thickness of the productive strata is from 1-3 to 10-20 m. The granulometric composition is variable. The content of the main components varies as follows: pebbles – from 0 to 55%, gravel – from 5-10 to 75%, sand – from 5-10 to 75%, clay particles – up to 5-7%. 136 fields have been explored with total reserves of over 700 million m^3; 82 deposits are in operation. About 3 million m^3 of sand and gravel materials are mined annually. They are mainly used for the preparation of concrete and mortars.

More than 210 deposits of low-melting clays with total reserves of about 200 million m3 have been explored. More than 110 deposits are being developed, 2.5-3.5 million m^3 of raw materials are extracted annually. There are also 9 explored deposits for the production of aggloporite and expanded clay with total reserves of about 60 million m^3. Six of them are exploited (production 0.6 million m^3). The reserves of clay rocks for cement production are over 110 million m^3. Deposits of low-melting clays are mainly associated with Quaternary deposits, high-melting clays – with Oligocene and Pliocene formations widespread in the south of Belarus [2]. Clays are considered to be a raw material for the production of coarse ceramics, light-

weight aggregates, and are also used as an essential component in the manufacture of various types of cement.

The raw material base of high-melting clays includes 6 deposits with total reserves over 50 million m^3 in categories A + B + Cj. The deposits are represented by sheet-like deposits with a thickness of 1.5 to 15 m. The occurrence depth does not exceed 7-8 m. The annual extraction of high-melting clays is 0.4-1 million m^3.

The group of industrially valuable clay rocks of Belarus also includes kaolins found within the Mikashevichy-Zhitkovichy uplift of the crystalline basement. They are products of weathering of granite gneisses and gneisses. Kaolins are usually light gray and white, micaceous, with an admixture of hydromica and montmorillonite. 4 deposits have been identified. The deposits are cape-like, their average thickness is 10 m, the occurence depth varies from 13 to 35 m. The predicted resources are estimated at almost 27 million tons. Kaolins contain increased amounts of coloring iron oxides. They are suitable for the production of porcelain and earthenware products that do not require high whiteness, as well as for the manufacture of chamotte wares [3].

Carbonate rocks, used mainly for the production of cement and lime, are represented by writing chalk stones and marls occurring in the Late Cretaceous strata. They are found both in bedrock and in detached mass. On the areas of their shallow occurrence, mainly in the Krichevsk, Klimovichy, Kostyukovichy and Cherikov districts of the Mogilev region, Volkovysk and Grodno districts of the Grodno region, a number of deposits have been explored. Some of them (for example, Krichevskoe) are represented by writing chalk stones, some of them (Kommunarskoe) by marl, and some of them (Kamenka) by marl and writing chalk stone. The thickness of the productive strata in the fields of deposits varies from 10-20 to 50 m with a stratification depth of 1 to 25 m. The $CaCO_3$ content ranges from 65% in marls up to 98% in writing chalk [4].

The raw material base of the cement industry includes 15 fields with total reserves of carbonate rocks in categories A + B + Cj 720 million tons. 8 fields are being developed, on the basis of which the RUE Volkovyskcementoshifer and Krichevcementoshifer, as well as Belarusian cement plant developing marl reserves of the Kommunarskoye field. The cement industry of Belarus is provided with carbonate raw materials for a long-term perspective. The raw material base for lime production is based on the use of writing chalk stone. There are 33 deposits of this mineral in the country with total reserves in categories A + B + Cj of about 210 million tons. Only in the Grodno region 24 pure chalk stone deposits have been identified,

mainly in Volkovysk, Grodno, Dyatlov and Novogrudok districts. 6 fields are in operation at the moment.

Gypsum in a platform case has been known on the territory of Belarus for a long time; it occurs in the form of sheet deposits, layers, interlayers, veinlets and nests in the Middle, Upper Devonian and Lower Permian deposits. Comparatively shallow (167-460 m) thick layers of gypsum are found among the deposits of the Famennian stage of the Upper Devonian in the west of the Pripyat trough. They are related to the raised block of the crystalline basement and form the Brinevskoe gypsum deposit. Up to 14 layers of gypsum have been found here, which are combined into four horizons. The thickness of the gypsum horizons ranges from 1-3 to 46 m. In the section of the lower one, thick lenses of gypsum-anhydrite and anhydrite rocks are observed. The content of gypsum in productive formations varies from 37 to 95%. The reserves of gypsum in the Cj + C2 categories are 340 million tons, anhydrite – 140 million tons. It is possible to organize the extraction of 1 million tons of gypsum per year.

Natural building stone on the territory of Belarus is represented by various rocks of the crystalline basement (granites, granodiorites, diorites, migmatites, etc.). In the Brest region, two deposits of building stone have been explored (Mikashevichi and Sitnitsa), in Gomel – region a deposit of building stone (Glushkevichi, the Krestyanskaya Niva site) and a deposit of facing materials (Nadezhdy's Quarry). The largest of them is the Mikashevichi field. The building stone lies here at a depth of 8 to 41 m. The mineral resources are represented by diorite, granodiorite and granite. Initial reserves of stone in categories A + B + Cj amounted to 168 million m^3. The deposit is exploited in an open way; the depth of the quarry is about 120 m.

The process of mining in the Mikashevichi quarry consists of three stages: opening of minerals (quarry), preparation of rocks for excavation, loading the blasted rock mass into vehicles, pumping out the inflow of groundwater (quarry). The thickness of the removed overburden mass varies from 8 to 60 meters. After the end of the dumping, the slopes are flattened and the areas are backfilled with a vegetation layer removed before overburden operations, in order to perform reclamation. At the Mikashevichi deposit, annual stone production is about 3.5 million m^3, crushed stone production is 5.5 million m^3.

The Glushkevichi deposit is also being developed. Annual stone production at the deposit is 0.1 million m^3, crushed stone production - 0.2 million m^3 [3-4].

At the Nadezhda Quarry facing stone deposit, the productive stratum is represented by gray and dark gray migmatites with good decorative prop-

erties. The occurrence depth of mineral resources makes up from several tens of centimeters to 7 m; raw material reserves here are 3.3 million m^3.

There are perspectives in our country to increase the production of building stone through the construction of a second enterprise on the basis of the Mikashevichi deposit, as well as expanding the production of facing materials at the Nadezhdy Quarry deposit [5]. Certain types of natural building stone can be used for stone casting and the production of mineral fibers. In this respect, the metadiabase of the Mikashevichi field are of great interest.

References

1. Полезные ископаемые Беларуси / Редкол.: П.З. Хомич и др. Минск: Адукацыя і выхаванне, – 2002.– 528 с.

2. Аношко Я.И., Унукович А.И., Варакса В.В. Минерально-сырьевые ресурсы в народнохозяйственном комплексе Республики Беларусь / Белорусский экономический журнал. 2010. № 4. - С. 133–142.

3. Айзберг Р.Е. Минерально-сырьевые ресурсы Беларуси: состояние и перспективы освоения / Р.Е.Айзберг, О.А. Березко, Р.Г. Гарецкий и др.// Материалы Международной научной конференции, посвященной 215-летию со дня рождения И. Домейко «Геология и минерально-сырьевые ресурсы запада восточно-европейской платформы: проблемы изучения и рационального использования»,– Минск.– 2017, – с. 74-83.

4. Киреева Ю.И. Строительные материалы / Ю.И.Киреева. – Минск: Новое знание, 2005. – 400 с.

5. Цюпак М.А. Проблемы расширения сырьевых баз для производства стройматериалов / Материалы Международной научно-технической конференции «Наука и технология строительных материалов: состояние и перспективы их развития», – Минск, – БГТУ, – 2017, – с.28-31.

УДК 622.693.2.004.4

ОТХОДЫ КАЛИЙНЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ: ПОЛУЧЕНИЕ НОВЫХ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ И ВОДНО-ФИЗИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ОТХОДОВ ОБОГАЩЕНИЯ КАЛИЙНЫХ РУД В ПРОЦЕССЕ ГИДРОНАМЫВА

Кологривко А.А., Астапенко Т.С.
Белорусский национальный технический университет,
г. Минск, Республика Беларусь

Изложены пространственно-временные закономерности изменения водно-физических и физико-механических свойств отходов обогащения калийных руд. Представлены результаты исследований в части особенностей получения отходами обогащения новых свойств при высотном складировании, позво-

ляющие строить геомеханическую модель исследуемой геосистемы

Выполненные ранее исследования по недопущению осложнения техногенеза в районе складирования отходов обогащения калийных руд, позволили считать эффективной реализацию способов складирования гидронамывом отходов обогащения при организации хвостовых хозяйств в условиях отсутствия возможностей роста и (или) резерва площадей под солеотвалы и шламохранилища. Особого внимания заслужили мероприятия по использованию отработанных шламохранилищ в качестве оснований при расширении солеотвалов способом гидронамыва, способствующие сокращению изъятия дополнительных сельскохозяйственных площадей под солеотвалы.

Так, в основе исследований дальнейшего складирования солеотходов (галитовых отходов, отходов обогащения) на участке отработанного шламохранилища ЗРУ ОАО «Беларуськалий» лежит оценка и практический опыт многолетней реализации проекта формирования солеотвала способом гидронамыва на отработанном шламохранилище в условиях ЗРУ.

Изучение физико-механических характеристик отходов обогащения калийного производства имеет практическое значение для прогнозирования развития хвостового хозяйства ЗРУ и, как следствие, снижения техногенеза в районе ведения работ по складированию галитовых отходов способом гидронамыва. Инженерно-геологические особенности галитовых отходов, складируемых гидронамывом в солеотвал, представляют практическое значение при проектировании, поскольку от их состава, водно-физических свойств, технологии гидронамыва в значительной степени зависят развивающиеся в солеотвале геологические процессы, вследствие чего формируются прочностные свойства галитовых отходов, изменяющиеся во времени и в пространстве.

Принимая во внимание основные технические решения и показатели по проектируемому солеотвалу выполнена прогнозная оценка изменения физико-механических свойств галитовых отходов, что позволило установить закономерности изменения их прочностных свойств для процесса гидронамыва и представить прогнозные характеристики физико-механических свойств галитовых отходов ЗРУ, складируемых в солеотвал.

Обобщение полученных результатов инженерно-геологических, физико-механических, геофизических исследований свойств галитовых отходов обогащения калийной руды, формируемой способом гид-

ронамыва в виде пласт-плиты на поверхности шламохранилища позволяет представить следующие выводы:

– параметры угла внутреннего трения по телу пласт-плиты имеет характер неравномерности распределения и заключены в пределах от 21,80 до 34,99° при среднем значении 28,12°;

– параметры влажности по телу пласт-плиты распределяются скачкообразно и заключены в пределах от 8,7 до 38,2 % при среднем значении 26,42 %;

– параметры плотности по телу пласт-плиты имеют изменчивый характер распределения, увеличиваясь с глубиной и заключены в пределах от 1,51 до 2,0 г/см^3 при среднем значении 1,83 г/см^3;

– параметры модуля общей деформации по телу пласт-плиты имеют равномерный характер распределения и заключены в пределах от 0,5 до 2,2 при среднем значении 1,16;

– параметры сцепления имеют неравномерный характер распределения по телу пласт-плиты и заключены в пределах от -0,010 до 0,028 МПа при среднем значении 0,0004 МПа;

– параметры пористости имеют неравномерный характер распределения по телу пласт-плиты и заключены в пределах от 26,3 до 45,3% при среднем значении 37,91 %;

– параметры консистенции имеют неравномерный характер распределения по телу пласт-плиты и заключены в пределах от 0,44 до 2,14% при среднем значении 1,15;

– параметры значений показателя границы текучести имеют относительную стабильность распределения по телу пласт-плиты и заключены в пределах от 24,8 до 34,8 при среднем значении 28,21 %;

– параметры числа пластичности имеют стабильный характер распределения по телу пласт-плиты и заключены в пределах от 1,6 до 15,7 % при среднем значении 10,11 %.

При формировании пласт-плиты имеет место сложная совокупность выявленных в процессе гидронамыва пространственно-временных особенностей строения тела пласт-плиты, которые впервые обнаруживаются уже после производства работ (геологические факторы), а также параметры гидронамыва и их влияние на активизацию процесса в период длительного срока эксплуатации шламохранилища с постоянным возрастанием объемов складирования отходов обогащения (техногенные факторы).

Установленные пространственно-временные закономерности изменения водно-физических и физико-механических свойств, анализ прогнозирования инженерно-геологических процессов в пласт-плите с момента складирования галитовых отходов, особенностей получения

ими новых свойств при высотном складировании позволяют строить геомеханическую модель поведения исследуемой геосистемы, описывающая ее напряженно-деформированное состояние, выполнить численные расчеты с оценкой общей прочности геосистемы по значениям интенсивности напряжений и выявлению зон нарушения сплошности, проявляющихся за счет сдвиговых деформаций в условиях прогнозируемого развития технологии складирования.

УДК 622.014.2: 550.835.41

ONLINE МОНИТОРИНГ РУД НА ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ КОНВЕЙЕРАХ ТОО «КОРПОРАЦИЯ КАЗАХМЫС» С ПОМОЩЬЮ ЭНЕРГОДИСПЕРСИОННЫХ РУДОКОНТРОЛИРУЮЩИХ СТАНЦИЙ

Абдрахманова З.Т., Кан А.Н., Юн Р.В., Ефименко С.А.
ТОО «Корпорация Казахмыс», Жезказган, Казахстан,

Статья посвящена исследованиям по решению важной производственной задачи online контроля за содержаниями в рудах, поставляемых на обогатительные фабрики (ОФ) ТОО «Корпорация Казахмыс», Cu, Pb, Zn, Ag, Cd, Mo, Fe. Базовый метод исследований – рентгенофлуоресцентный. Аппаратура – энергодисперсионная рентгенофлуоресцентная рудоконтролирующая станция РЛП–21Т. Объекты исследований – руды на технологических конвейерах ОФ (класс крупности – 300 мм) и подземных рудников. Обеспечено уверенное определение низких содержаний серебра (от 1+ г/т) и молибдена (от 10+ г/т).

ТОО «Корпорация Казахмыс» является крупнейшим производителем катодной меди в Казахстане. Шахты и карьеры ПО «Жезказганцветмет», ПО «Балхашцветмет» и ПО «Карагандацветмет» Горно–обогатительного комплекса (ГОК) разрабатывают месторождения медьсодержащих полиметаллических руд очень сложного вещественного состава: Жезказган, Жаман–Айбат, Жиландинская группа, Конырат, Саякская группа, Шатырколь, Нурказган, Абыз, Акбастау, Кусмурын.

Самые богатые участки запасов медных руд указанных месторождений преимущественно отработаны, добычные работы ведутся на флангах рудных залежей, поэтому содержания меди в руде падают из

года в год. В связи с этим, остро стоит задача online контроля содержаний меди в товарной руде.

Экономические потери от снижения содержаний меди в руде частично компенсируются попутной добычей серебра. Это обстоятельство обеспечивает приоритет задачи оперативного управления качеством добываемых медьсодержащих руд и попутной добычи серебра над другими производственными задачами.

Для эффективного решения заявленных выше задач необходимы современные аппаратурные средства online мониторинга содержаний меди и серебра в добываемых рудах, а также новейшее методическое и программное обеспечение к этим средствам.

В настоящее время шахты, карьеры и ОФ ТОО «Корпорация Казахмыс» оснащены самыми современными средствами online контроля химического состава руд: добываемых, подготавливаемых к отработке, перерабатываемых. Совершенствование аппаратурного обеспечения систем online контроля химического состава руд является приоритетной задачей в корпорации (заложено в проекты по модернизации и расширению производств ТОО «Корпорация Казахмыс» на 2017–2025 гг).

Базовым методом online контроля химического состава руд в ТОО «Корпорация Казахмыс» является рентгенофлуоресцентный метод (РФМ). РФМ применяется в корпорации с 1989 года.

Сейчас online контроль химического состава руд в ТОО «Корпорация Казахмыс» ведется по трем основным направлениям:

– рентгенофлуоресцентное опробование (РФО) руд по стенкам забоев и руд в отбитой горной массе с помощью носимых энергодисперсионных рентгенофлуоресцентных (EDXRF) спектрометров РПП–12, РПП–12П и РПП–12Т;

– рентгенофлуоресцентный анализ (РФА) истертых геологических и технологических проб с помощью EDXRF лабораторных спектрометров РПП–21Т;

– РФО руд на лентах технологических конвейеров обогатительных фабрик и подземных рудников с помощью EDXRF рудоконтролирующих станций (РКС) РЛП–21Т.

Многолетним поставщиком EDXRF спектрометров для ТОО «Корпорация Казахмыс» является ТОО «Аспап Гео» (г. Алматы). ТОО «Корпорация Казахмыс» последовательно ориентируется на использование аппаратуры казахстанского производства в области online контроля химического состава руд.

В данной статье мы подробно остановимся решении задач на направлении «РФО руд на лентах технологических конвейеров обога-

тительных фабрик и подземных рудников с помощью EDXRF РКС РЛП–21Т».

Основной задачей данного направления является организация эффективного online мониторинга содержаний меди, цинка, свинца, серебра, кадмия, молибдена, железа в рудах, направляемых шахтами и карьерами на ОФ за смену, сутки и с начала месяца, и своевременного внесения необходимых корректив в процесс добычи и отгрузки руд и металлов. Такой online мониторинг, помимо решения задачи online управления процессом отгрузки руды на ОФ, должен стать эффективным инструментом пропорционального и максимально точного распределения сливного металла между поставщиками руды (рудниками).

Поставленная аналитическая задача являлась очень сложной. Если по меди, свинцу и цинку имеются примеры успешного online мониторинга содержаний этих элементов в рудах, то примеры online мониторинга содержаний серебра от 1+ г/т (а именно такой уровень может обеспечить эффективное управление попутной добычей серебра) полностью отсутствовали.

В подтверждение сложности поставленной аналитической задачи, перечислим несколько основных неблагоприятных для РКС факторов, которые отрицательно влияют на точность online мониторинга химического состава руд серебро на входных ленточных технологических конвейерах обогатительных фабрик:

– переменная крупность кусков руды (от 1–2 до 300 мм);

– низкие средние содержания серебра (Жезказган – 15 ppm, Конырат и Нурказган – 2–3 ppm);

– грязь и пыль на поверхности кусков руды;

– переменная плотность руды (руда поступает с разных месторождений);

– неравномерность заполнения ленты конвейера рудой;

– смещение ленты относительно оси конвейера;

– поступление на Балхашскую обогатительную фабрику (БОФ) отвального шлака медеплавильного завода (БМЗ) с очень сложной для EDXRF спектрометров элементной матрицей содержаний;

– переменный зазор «поверхность руды – датчик РКС»;

– присутствие в материале конвейерной ленты цинка в количествах от 2 до 4 %.

Работа с литературными источниками показала: в цветной металлургии отсутствуют примеры эффективного решения задачи online мониторинга руд класса крупности –300 мм и содержаниями серебра и кадмия от 1+ г/т любыми физическими методами на ленточных технологических конвейерах с помощью подвешиваемых РКС.

При окончательном выборе типа РКС было учтено, что в габариты конвейерных галерей старых ОФ и транспортных штреков рудников ТОО «Корпорация Казахмыс» наилучшим образом вписываются только EDXRF РКС.

Также был учтен положительный опыт применения EDXRF РКС РЛП–3–02 (ООО «Геотех», С–Пб, Россия) на Жезказганских обогатительных фабриках №1 и №2 (ЖОФ–1 и ЖОФ–2) с 2014 года [1]. В процессе производственной эксплуатации выяснилось, что РКС РЛП–3–02 не может уверенно определять низкие содержания серебра, поэтому эта РКС не рассматривалась для использования в программе.

В результате, в качестве базовой была выбрана EDXRF РКС РЛП–21Т (ТОО «Аспап Гео», г. Алма–Ата). РКС РЛП–21Т проектировалась специально под задачу определения низких (1+ г/т) содержаний серебра (рис. 1). В РКС РЛП–21Т применены самые современные рентгеновские трубки, кремниевые дрейфовые детекторы (SDD), новейшая высокоскоростная электроника и мощное программное обеспечение, что в совокупности позволило уверенно выйти на уровень определения содержаний серебра и кадмия от 1+ г/т. Такой вывод был сделан по результатам стендовых исследований на эталонных порошковых и мелкодробленых пробах, выполненных на ЖОФ–1 и ЖОФ–2.

А. Датчик

В. Блок питания

Рис. 1 – РКС РЛП–21Т

Решение задач направления «РФО руд на лентах технологических конвейеров обогатительных фабрик и подземных рудников с помощью EDXRF РКС РЛП–21Т» было осуществлено в два этапа: этап №1 – ЖОФ–1 и ЖОФ–2 (на этом этапе уточнялись реальные возможности РКС РЛП–21Т в части устойчивой работы на низких содержаниях серебра и выдавались рекомендации по совершенствованию ап-

паратурного, методического и программного обеспечения РКС РЛП–21Т для гарантированного решения задач этапа №2); этап №2 – БОФ, Карагайлинская ОФ (КОФ), Нурказганский подземный рудник (НПР).

На ЖОФ–1 и ЖОФ–2 поступает руда с шахт и карьеров, разрабатывающих месторождения медистых песчаников Жезказган, Жаман–Айбат и Жиландинской группы (Итауз, Восточная Сарыоба, Западная Сарыоба, Кипшакпай, Карашошак). В рудах этих месторождений содержания серебра выше (15 г/т, в среднем), чем на других месторождениях, разрабатываемых ТОО «Корпорация Казахмыс».

После проведения полного цикла стендовых исследований и исследований непосредственно на конвейерах, РКС РЛП–21Т были запущены в работу: в октябре 2016 года на конвейере №1Т ЖОФ–2 (рис. 2А, слева); в январе 2017 года – на конвейерах №2Т ЖОФ–2 (рис. 2А, справа) и №1А ЖОФ–1 (рис. 2В, справа) [2–4].

Рис. 2 – EDXRF РКС РЛП–21Т на конвейерах ЖОФ–1 и ЖОФ–2

На экран монитора «АРМ оператора РКС» выводятся графики, отражающие динамику изменений содержаний элементов в руде, а также профиль руды на конвейерной ленте. Опция «Профиль руды» позволяет получить отчет о работе конвейера за смену: сколько конвейер двигался (стоял) с рудой, сколько двигался (стоял) без руды.

Главные результаты исследований этапа №1:

1. Выбрана и апробирована в производственных условиях оптимальная процедура измерений: единичные измерения (1 сек) выполняются одно за другим, без пропусков (это позволило контролировать небольшие порции руды (до 0,69т) и, следовательно, более точно определять средние содержания элементов по составам); содержания: меди, свинца, цинка и железа рассчитываются, как среднее из 20 единичных измерений; серебра, кадмия и молибдена – как среднее из 40 единичных измерений.

2. Отработана процедура учета содержаний цинка в материале конвейерной ленты: временные интервалы, когда конвейер без руды

стоит, или движется (есть датчик движения ленты), исключаются из обработки.

3. Доказана эффективность принятого принципа учета переменного зазора «руда – РКС» (в РКС РЛП–21Т учет переменного зазора производится двумя способами: по ультразвуковому датчику расстояния MaxBotix MB7067 (основной); по интенсивности рассеянного излучения элементов, содержащихся в руде).

4. Протестирована и признана весьма эффективной система «климат контроля» РКС, обеспечивающая подогрев (зимой) и охлаждение (летом) РКС РЛП–21Т;

5. Протестировано программное обеспечение «РКС–Клиент ЖОФ–1, 2» для регистрации и отображения в режиме online отчетов РКС о содержаниях элементов и количестве металла в железнодорожных составах руды с шахт и карьеров и консолидирования этих данных с базой данных весов SQL на железнодорожных весах станции «Верхняя». Система обеспечивает доступ к отчетам о работе РКС всем заинтересованным специалистам корпорации.

6. Ликвидированы пункты опробования отдела технического контроля (ОТК) железнодорожных составов с рудой на конусных дробилках ККД 800/160 (КД–1 ЖОФ–1) и ККД 1500/180 (КД–2 ЖОФ–2).

Результаты сходимости средних содержаний меди и серебра по РКС РЛП–21Т на конвейерах №1Т и №2Т ЖОФ–2 с начала эксплуатации приведены в табл. 1.

В связи с успешным завершением исследований этапа №1 было принято решение о переходе к реализации этапа №2.

На этапе № 2 самая сложная аналитическая задача была решена на БОФ, на которую поставляются руды золото–медно–порфирового месторождения Нурказган, Саякской группы медно–скарновых месторождений, золото–медно–порфирового (с ураном) месторождения Шатырколь, медно–порфирового месторождения Коныpат, золоторудных месторождений Акжал, Ашалы, а также отвальные шлаки БМЗ.

Руды, поступающие на БОФ, представлены всей палитрой содержаний меди: богатые (Шатырколь), средние (Саяк–1, Тастау, Нурказган, Абыз), бедные (Коныpат) и убогие (Акжал, Ашалы). Отвальный шлак БМЗ имеет очень сложную для рентгенофлуоресцентного метода элементную матрицу содержаний: Cu – до 1,15%, Zn – до 6,0%, Pb – до 0,70%, Fe – до 53,0%. Все руды и отвальный шлак имеют очень низкие содержания серебра (как правило, менее 10 г/т, а в Коныpате и Нурказгане – менее 3 г/т). Диапазон содержаний меди – от 0,2 до 4,0%. Крупность руды и отвального шлака, транспортируемых конвейерами

№2 и №2А, соответствует классу – 300 мм. Определяемые элементы медь, свинец, цинк, серебро, кадмий, железо.

Таблица 1

Сходимость данных РКС и слива ЖОФ–2 на конвейерах №1Т и №2Т

Год Мес	Медь, %				Серебро, г/т			
	Слив	РКС	Δ	σ, %	Слив	РКС	Δ	σ, %
2017	0,777	0,783	-0,006	0,82	12,39	12,78	-0,180	1,43
2018	0,832	0,839	-0,007	0,86	11,16	12,01	-0,853	7,64
2019	0,820	0,813	0,007	0,91	12,83	13,00	-0,175	1,37
1	0,818	0,812	0,006	0,73	15,08	14,50	0,577	3,83
2	0,834	0,838	-0,004	-0,48	16,63	16,49	0,144	0,87
3	0,804	0,813	-0,009	-1,12	16,57	15,17	1,401	8,46
4	0,781	0,777	0,004	0,51	13,34	13,93	-0,593	-4,45
5	0,802	0,795	0,007	0,87	14,57	14,79	-0,216	-1,48
6	0,842	0,819	0,023	2,73	14,96	14,76	0,194	1,30
7	0,840	0,807	0,033	3,93	13,94	14,13	-0,194	-1,39
8	0,885	0,883	0,002	0,23	16,65	14,99	1,654	9,94
9	0,845	0,823	0,022	2,60	12,27	12,16	0,110	0,90
10	0,800	0,790	0,009	1,14	11,79	12,07	-0,275	-2,33
2020	0,825	0,816	0,009	1,14	14,58	14,20	0,280	1,92

Обеспечение устойчивой работы РКС на рудах с предельно низкими для РФМ содержаниями серебра, кадмия и молибдена – это чрезвычайно сложная аппаратурная и методическая задача. Для ее гарантированного решения во все четыре РКС РЛП–21Т были установлены: более мощные рентгеновские трубки с рабочим напряжение 60кВ (за счет этого достигнута существенно более высокая загрузка спектрометрического тракта); кремниевые дрейфовые детекторы (SDD) большой площади (детекторы способны работать при загрузках до 1 Гб/с, что крайне важно, ибо только при таких загрузках РКС РЛП–21Т может работать на рудах с низкими содержаниями меди, серебра и молибдена); самая современная (высокоскоростная) электроника; коллиматоры (индивидуальные) пучка первичного излучения рентгеновской трубки (в площадь пятна «засветки» поверхности руды на ленте конвейера не должны попадать участки чистой ленты, содержащей цинк).

Под более сложные аналитические задачи был выполнен цикл исследований, в результате выполнения которых был существенно модернизирован пакет программного обеспечения (ПО) РКС РЛП–21Т. В пакете ПО, в частности, были серьезно усилены фрагменты, отвечающие за компенсацию: учета переменного профиля насыпки руды на

ленточный конвейер (переменный зазор «датчик–руда)»; влияния матричного эффекта и другие В пакетах ПО двух РКС РЛП–21Т, предназначенных для БОФ, пришлось отказаться от единой градуировки спектрометра РЛП–21Т и перейти к по–объектным градуировкам. Выбор нужной градуировки производится автоматически в зависимости от содержаний основных элементов (а также железа) и записей в весовых накладных.

Перед установкой на конвейеры все РКС РЛП–21Т прошли через стандартный этап стендовых исследований. При этом использовались наборы градуировочных проб руд с каждого месторождения с известными химическими анализами всех шести элементов. Каждый набор включал три вида проб: порошковые пробы, фракция после валковой дробилки, фракция после щековой дробилки. После подвески каждой РКС непосредственно на конвейерах весь цикл исследований на пробах повторялся, но с учетом ограничений по времени остановки конвейеров на исследования.

Результаты исследований второго этапа оказались следующими:

1. На БОФ РКС РЛП–21Т установлены на входных ленточных конвейерах №2 и №2А и введены в эксплуатацию 4 мая 2018 года (рис. 3). Определяемые элементы: медь, свинец, цинк, железо, серебро и кадмий. Крупность руды – 300 мм.

С июля 2018 года пункт вагонного опробования ОТК на конусной дробилке ККД 1500/180 был сокращен [3, 4] .

Результаты производственной эксплуатации РКС РЛП–21Т на БОФ с начала эксплуатации приведены в табл. 2.

Рис. 3. РКС РЛП–21Т на конвейерах №2 и №2А БОФ

2. На Карагайлинскую обогатительную фабрику (КОФ) поступает руда с золото–колчеданно–медно–свинцово–цинкового месторо-

ждения Абыз, стратиформных колчеданно–медно–свинцово–цинковых месторождений Кусмурын и Акбастау. На КОФ РКС РЛП–21Т установлена на ленточном конвейере № 4 и введена в эксплуатацию 27 июля 2018 года (рис. 4А). Определяемые элементы: медь, свинец, цинк, железо, серебро и кадмий. Крупность руды соответствует классу – 50 мм.

Таблица 2

Сходимость данных РКС и слива БОФ на конвейерах №2 и №2А

Год	Медь, %				Серебро, г/т			
Мес	Слив	РКС	Δ	σ, %	Слив	РКС	Δ	σ, %
2018	0,96	0,97	-0,003	0,39	5,30	4,79	0,51	9,69
2019	0,94	0,98	-0,04	-4,34	4,89	4,11	0,78	15,95
1	1,03	1,08	-0,05	4,85	6,35	4,71	1,64	25,83
2	1,10	1,16	-0,06	5,45	5,25	4,24	1,01	19,24
3	1,13	1,16	-0,03	2,65	5,25	3,87	1,38	26,29
4	1,12	1,13	-0,01	0,89	5,18	4,53	0,65	12,55
5	0,98	1,06	-0,08	8,16	4,94	4,46	0,48	9,72
6	1,13	1,08	0,05	4,42	5,12	4,03	1,09	21,29
7	1,07	0,97	0,10	9,35	4,83	3,68	1,15	23,81
8	1,07	1,12	-0,05	4,67	4,63	4,04	0,59	12,74
9	1,04	1,07	-0,03	2,88	4,69	3,80	0,89	18,98
10	1,09	1,06	0,03	2,75	6,62	5,09	1,53	23,11
2020	1,08	1,09	-0,01	-1,21	5,27	4,25	1,04	19,69

3. На Нурказганском подземном руднике (НПР), который отгружает руду на Нурказганскую ОФ и на БОФ, РКС РЛП–21Т установлена на магистральном ленточном конвейере №1 и введена в эксплуатацию 14 июня 2018 года (рис. 4В). Определяемые элементы: медь, свинец, цинк, железо, серебро и молибден. Крупность руды соответствует классу – 300 мм. Сейчас РКС перенесена на конвейер №2 и установлена рядом с весами.

А. РКС РЛП–21Т на КОФ **В. РКС РЛП–21Т на НПР**

Рис. 4. – РКС РЛП–21Т на КОФ и НПР

4. В августе 2019 года РКС РЛП–21Т последней модификации (как на БОФ, КОФ и НПР) была установлена на конвейер №1 ЖОФ–1 вместо РКС РЛП–3–02 (рис. 2В). Отличие этой РКС РЛП–21Т также в том, что для удобства технического обслуживания РКС складывается пол углом 90^0. На конвейере №1 ширина потока руды заметно уже, чем на конвейере №1А. В материале конвейерной ленты присутствует цинк, поэтому пришлось принять меры по сокращению у РКС РЛП–21Т «конуса обзора» поверхности руды на конвейере.

С момента введения в эксплуатацию РКС РЛП–21Т, отмечены следующие содержания серебра: на ЖОФ–1, 2: – 102,0 г/т (максимальное) и 3,2 г/т (минимальное); на БОФ: максимальные: 11,5 г/т (Тастау) и 12,3 г/т (отвальный шлак), минимальное – 1,9 г/т (Коныpат); на КОФ: 19,6 г/т (максимальное) и 6,5 г/т (минимальное); на НПР: 7,4 г/т (максимальное) и 1,1 г/т (минимальное); молибдена: 0,2437% (максимальное) и 0,0011% (минимальное). Таким образом, впервые в мировой практике EDXRF РКС смогла уверенно определить столь низкие содержания серебра в рудах крупностью –300мм. Это ещё одно подтверждение уникальности методического и математического фрагментов РКС РЛП–21Т. Следует отметить, что три РКС РЛП–21Т в 2019–2020 гг. были запущены в работу на двух ЗИФ ЗАО «Серебро Магадана» (Россия). Список определяемых элементов Ag, Pb, Fe, Cu, Zn, Sn.

Выводы

1. Разработан, всесторонне апробирован и внедрен в производство комплекс online мониторинга содержаний основных (медь, свинец, цинк) и сопутствующих (серебро, кадмий, молибден) элементов в медьсодержащих полиметаллических рудах, поступающих на ЖОФ–1, ЖОФ–2, БОФ, КОФ, и добываемых НПР. Основу комплекса составляют EDXRF РКС РЛП–21Т казахстанского производства. Всего внедрено в производство 8 РКС РЛП–21Т.

2. Впервые в цветной металлургии Казахстана в масштабах огромного горного предприятия (ТОО «Корпорация Казахмыс») решена задача достоверного online мониторинга на ленточных технологических конвейерах крупнодробленых руд класса –300 мм с очень низкими содержаниями серебра, кадмия (от 1+ г/т) и молибдена (от 10+ г/т). Созданы реальные предпосылки для оперативного управления попутной добычей этих металлов.

3. Задача решена с минимальными капиталовложениями (ряд фирм из Австралии и ЮАР предлагали решить задачу с помощью РКС, использующих метод гамма–нейтронного активационного анализа – PGNAA; стоимость одной такой РКС превышала стоимость всех восьми внедренных EDXRF РКС РЛП–21Т).

4. С внедрением РКС горняки обеспечены:

– оперативной online информацией об объемах металлов и содержаниях металлов в руде, поставленной на обогатительные фабрики за смену, сутки и с начала месяца (при необходимости выводится отчет за квартал, полугодие и год) по составам руды, по шахтам, карьерам, рудникам (по отчетам за смену можно оперативно вносить необходимые коррективы в процесс добычи и отгрузки руд и металлов:

– надежной доказательной базой для аргументированного отстаивания своих интересов по качеству поставленной руды при распределении сливного металла обогатительных фабрик по истечении календарного месяца.

5. В результате внедрения РКС на технологических конвейерах обогатительных фабрик были ликвидированы пункты традиционного опробования ОТК на конусных дробилках: ККД 800/160 (ЖОФ–1), ККД 1500/180 (ЖОФ–2), ККД 1500/180 (БОФ).

Библиографический список

1. Yefimenko S., Yefimenko O., Shakhanov A., Abdrakhmanova Z., Makarov D. Multi-component online analysis of coarse ore on conveyors of Kazakhmys LLC processing palnts // 21th Conference on Environment and Mineral Processing. Ostrava: VŠB-TU, 2017. P.245–249.

2. Nigmatulin A.M., Abdrakhmanova Z.T., Kan A.N., Yefimenko S.A. Nuclear-geophysical technologies of «on-line» control of the chemical composition of copper-containing polymetallic ores //Resource and resource-saving technologies in minerals mining and processing. Multi-authored monograph. – Petrosani. Romania: UNIVERSITAS Publishing. 2018. P.162–179.

3. Oliinyk, T., Yefimenko, S., Abdrakhmanova, Z., Kan, A., Issatayeva, F. (2020). Online ore monitoring using EDXRF method on process conveyor belts at Kazakhmys Corporation LLC operations E3S Web of Conferences, 166, art. no. 02006. https://doi.org/10.1051/e3sconf/202016602006.

4. Nigmatulin A., Abdrakhmanova Z., Kan A., Efimenko S., Makarov D. Online X-ray fluorescence monitoring of coarse ore for silver at the process conveyors at Kazakhmys Corporation LLC // Journal of the Polish Mineral Engineering Society (Inzynieria Mineralna). 2020. N1(45). V.2. P.145-148. http://doi.org/10.29227/IM-2020-01-56.

УДК 622.281.74

ЛАБОРАТОРНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ БЕЗКЛЕЕВОГО СПОСОБА УСТАНОВКИ АНКЕРА ПОД ДЕЙСТВИЕМ СТАТИЧЕСКОЙ НАГРУЗКИ

Новиков А.О., Шестопалов И.Н., Дрипан П.С.
Донецкий национальный технический университет,г. Донецк

Дан краткий анализ существующих способов и конструкций анкерной крепи. Предложен новый способ закрепления породного массива горной выработки анкером с диаметром большим, чем диаметр шпура при воздействии на него статической нагрузки. Описана методика проведенного полного факторного эксперимента, соблюдаемые критерии подобия при моделировании. Частично представлены результаты выполненных исследований.

Ключевые слова: породный массив, моделирование, критерии подобия, анкер, шпур, нагрузка.

1. Актуальность и цель исследований. За последние 50-70 лет проблема обеспечения устойчивости поддерживаемых горных выработок, несмотря на многочисленные исследования, проведенные как отечественными, так и зарубежными авторами, является актуальной. Одним из перспективных направлений ее решения является установка анкерной крепи сразу после выемки породы в забое. Технологичность и высокий уровень механизации при ее возведении позволяют не только повысить темпы работ, но и обеспечить высокий уровень безопасности производства. Наибольшее распространение в условиях шахт Донецкого угольного бассейна получили сталеполимерные анкеры [1], технология установки которых и параметры крепи определяются в соответствии с действующими нормативными документами [2,3]. Однако, до 50 % стоимости установки таких анкеров составляют затраты на ампулы с полимерными смолами, с помощью которых анкера закрепляются в шпурах. Снизить стоимость крепления выработок анкерами можно, применяя безклеевые технологии их установки.

В настоящее время в мировой практике применяются многочисленные безраспорные конструкции анкеров [4], которые, впрочем, не получили широкого применения в практике из-за необходимости изготовления анкеров из высокопрочных упругих сталей и дорогого, дополнительного оборудования для их установки. Предложенный в США способ установки анкеров путем их силового вдавливания в породный массив с помощью гидравлической установки не нашел про-

мышленного использования по тем же причинам, а также из-за не возможности обеспечить необходимое пространственное расположение устанавливаемого анкера [5]. В «ДонНТУ» был предложен и запатентован способ закрепления породного массива стальным анкером с диаметром большим, чем диаметр направляющего шпура [6]. При этом, особенности и закономерности изменения напряженно-деформированного (НДС) состояния пород, в которые устанавливаются анкера, изучены недостаточно полно.

В этой связи, исследования, направленные на разработку технологий и конструкций анкеров, устанавливаемых безраспорным (бесклеевым) способом, являются перспективными и актуальными.

Цель исследования – провести физическое моделирование установки стального анкера в реальную горную породу под действием статической нагрузки и оценить техническую возможность реализации предложенного способа [6], а также определить оптимальные соотношения диаметров анкера и шпура, при которых для установки потребуется минимальная нагрузка, а возникающие при этом напряжения в породах и анкере не превысят предельных значений. Результаты исследований позволят также оценить адекватность выполненного ранее математического моделирования [7,8].

Идея работы состоит в использовании теории физического моделирования и его критериев проведения полнофакторного эксперимента, позволяющей обосновать технические параметры способа.

Объектом исследования являются закономерности взаимодействия стального анкера и породного массива, при его установке в породу бесклеевым способом в направляющий шпур, меньшего, чем анкер диаметра под действием нагрузки, а **предметом** – геометрические параметры и механические характеристики анкера и породного массива.

Исходя из выше изложенного, **задачами исследований** являются:

– провести физическое моделирование установки стального анкера в реальную горную породу под действием статической нагрузки;

– оценить техническую возможность реализации способа установки анкера в направляющий шпур меньшего диаметра;

– определить оптимальные соотношения диаметров анкера и шпура, при которых для установки потребуется минимальная нагрузка, а возникающие при этом напряжения в породах и анкере не превысят предельных значений.

Экспериментальные исследования по определению статической нагрузки при закреплении анкера в горных породах с использованием физического моделирования, проведены в лабораторных условиях в

Физико-техническом институте им. А. А. Галкина и Национальном техническом университете (г. Донецк).

2. **Методика исследований.**

Для проведения лабораторного эксперимента по установке анкера в направляющий шпур меньшего диаметра с помощью статической нагрузки необходимо выполнить условия геометрического и механического подобия [9,10].

Обозначим индексом (1) параметры модели, индексом (2) – натуры. Тогда, условие геометрического подобия запишется виде:

$$\frac{l_1}{l_2} = \frac{d_1}{d_2} = C_e\,, \tag{1}$$

где l, d – длина и диаметр анкера, м; C_e – множитель подобия.

Условие механического подобия при статической нагрузке примет вид:

$$\frac{P_1 l_1^2}{E_1 I_1} = \frac{P_2 l_2^2}{E_2 I_2}\,. \tag{2}$$

В нашем случае модули упругости модели (E_1) и натуры (E_2) равны, отсюда определим силу, которую необходимо приложить к образцу при статической нагрузке

$$P_1 = P_2 \frac{l_2^2 I_1}{l_1^2 I_2}\,. \tag{3}$$

Моменты инерции модели (I_1) и натуры (I_2) определим из выражений:

$$I_1 = \frac{\pi d_1^4}{64}\,;\; I_2 = \frac{\pi d_2^4}{64}\,. \tag{4}$$

Тогда выражение (3) примет вид

$$P_1 = P_2 \frac{l_2^2}{l_1^2} \frac{d_1^4}{d_2^4}\,. \tag{5}$$

Для определения возможности использования данного способа на первом этапе установку анкеров в породные массивы провели под действием статической нагрузки с помощью пресса.

В качестве образцов использовали реальные образцы горных пород: песчаника, песчаного и глинистого сланцев с различными размерами: длиной от $0{,}30\cdot10^{-2}$ до $0{,}35\cdot10^{-2}$ м, шириной – $0{,}15\cdot10^{-2}$ до $0{,}20\cdot10^{-2}$ м, толщиной – $0{,}18\cdot10^{-2}$ до $0{,}25\cdot10^{-2}$ м.

При выполнении экспериментов значения трех искомых переменных изменялись в пределах: отношение диаметров анкера d и шпура $d_ш$ - $k_0 = d/d_ш$: 1,1; 1,13; 1,15; 1,17; 1,2; 1,3, механические ха-

рактеристики горных пород: модули упругости $E_п$=35,6·10^3; 18,9·10^3; 10,8·10^3 МПа (соответствующие предельные напряжения на сжатия $\sigma_{сж}$=60; 40,8; 30,3 МПа) и длина анкеров l=0,15 м.

В связи с тем, что при выполнении эксперимента имеет место перекрестное влияние исследуемых параметров, авторами предложено при планировании эксперимента применить полнофакторную матрицу, представленную на табл. 1.

Таблица 1

Матрица полного факторного эксперимента типа 2^3

Матрица ПФЭ – 2^3										Условия опыта			
Серия	Код опыта	x_0	x_1	x_2	x_3	Взаимодействия				Код уровня	Выход		
						x_1x_2	x_1x_3	x_2x_3	$x_1x_2x_3$		y_1	y_2	y_3
I	*d*	+	–	–	–	+	+	+	–	(1)			
	p	+	–	–	–	+	+	+	–	(1)			
	m	+	–	–	–	+	+	+	–	(1)			
II	*d*	+	+	–	–	–	–	+	+	*a*			
	p	+	+	–	–	–	–	+	+	*a*			
	m	+	+	–	–	–	–	+	+	*a*			
III	*d*	+	–	+	–	–	+	–	+	*b*			
	p	+	–	+	–	–	+	–	+	*b*			
	m	+	–	+	–	–	+	–	+	*b*			
IV	*d*	+	+	+	–	+	–	–	–	*ab*			
	p	+	+	+	–	+	–	–	–	*ab*			
	m	+	+	+	–	+	–	–	–	*ab*			
V	*d*	+	–	–	+	+	–	–	+	*c*			
	p	+	–	–	+	+	–	–	+	*c*			
	m	+	–	–	+	+	–	–	+	*c*			
VI	*d*	+	+	–	+	–	+	–	–	*ac*			
	p	+	+	–	+	–	+	–	–	*ac*			
	m	+	+	–	+	–	+	–	–	*ac*			
VII	*d*	+	–	+	+	–	–	+	–	*bc*			
	p	+	–	+	+	–	–	+	–	*bc*			
	m	+	–	+	+	–	–	+	–	*bc*			
VIII	*d*	+	+	+	+	+	+	+	+	*abc*			
	p	+	+	+	+	+	+	+	+	*abc*			
	m	+	+	+	+	+	+	+	+	*abc*			

При кодировании факторов линейно преобразуется факторное пространство с переносом начала координат в центр эксперимента и выбором масштаба по осям в единицах варьируемых факторов.

За x_1 примем отношение k_0, x_2– модули упругости $E_п$, x_2– длину анкеров l, y_1, y_2, y_3 – нагрузки P_1, P_2, P_3.

Факторы кодируем посредством зависимости

$$\tilde{x}_i = \frac{\bar{x}_i - \bar{x}_{i0}}{D\bar{x}_i}, \qquad (7)$$

где $\tilde{x}_i$ – кодированное значение фактора (безразмерная величина); $\bar{x}_i$ – значение фактора в именованных (натуральных) единицах; $\bar{x}_{i0}$ – натуральное значение фактора на нулевом уровне; $D\bar{x}_i$ – натуральное значение интервала варьирования.

Верхний уровень варьирования фактора обозначается (+1), нижний – (–1). В центре эксперимента фактор имеет базисный уровень (среднее значение). Границы варьирования факторов известны из априорной информации или имеют технические ограничения.

Рис. 1. Общий вид пресса

Для трех факторов все возможные их комбинации могут быть исчерпаны при реализации восьми серий опытов. Следовательно, число экспериментов для данного случая можно записать как $2^к$, где 2 – число уровней; *к* – число одновременно варьируемых факторов и записывается как ПФЭ – $2^к$.

В дальнейшем определяли коэффициенты уравнения регрессии, которое получили на основании обработки результатов эксперимента по методике, изложенной в работе [11].

Испытания проводились в следующей последовательности: в испытуемых образцах пород просверливали отверстия необходимого диаметра, причем расстояния между соседними превышали шесть диаметров шпура, что обеспечивало выполнение граничных условий. Затем, с помощью гидравлического пресса проводили установку анкеров, фиксируя глубину вдавливания и давление на манометре пресса. Внешний вид пресса приведен на рисунке 1. В качестве примера, в статье приведены фотографии состояния образцов после испытаний:

глинистого сланца – на рисунке 2, а песчаника – на рисунке 3.

В результате проведенных экспериментальных исследований установлены величины статической нагрузки при закрепления анкеров горных пород, которые приведены в таблице 2.

Рис. 2. Запрессовка анкера в образцы глинистого сланца

Рис. 3. Запрессовка анкера в образцы песчаника

4. Выводы.

1. Результаты проведенных исследований подтвердили техническую возможность применения нового способа их закрепления в горных породах, при котором анкер большего диаметра, устанавливается в направляющий шпур с меньшим диаметром.

2. Для различных горно-геологических и горнотехнических условий определены оптимальные соотношения диаметров анкера и шпура, при которых для установки потребуется минимальная нагрузка, а возникающие при этом напряжения в породах и анкере не превысят предельных значений.

В дальнейшем планируется использовать полученные результаты для проверки адекватности проведенных теоретических исследований по определению параметров способа установки анкера.

Таблица 2

Результаты экспериментальных исследований по определению статической нагрузки при закреплении анкеров в образцах горных пород

№ опыта	Тип горной породы	Длина l, мм, диаметр анкера D, мм и длина шпура $l_ш$, мм диаметр шпура d, мм (k_0),	Глубина вдавливания в породу $l_в$, мм	Статическая нагрузка $P_{ст}$, кН
Эксперимент №1				
1	Сланец глинистый	l=150мм,D=11мм, $l_ш$=180мм, d=10мм, k_0=1,1	50	31,7
2			100	64,7
3			150	87,1
Эксперимент №2				
1	Сланец глинистый	l=150мм, D=12мм, $l_ш$=180мм, d=10мм, k_0=1,2	50	88,7
2			100	173,8
3			135	223,7
Эксперимент №3				
1	Сланец глинистый	l=150мм, D=13мм, $l_ш$=180мм, d=10мм, k_0=1,3	50	136,1
2			100	238,1
3			120	305,6
Эксперимент №4				
1	Сланец песчаный	l=150мм,D=11мм, $l_ш$=160мм, d=10мм, k_0=1,1	50	47,8
2			100	92,3
3			135	116,6
Эксперимент №5				
1	Сланец песчаный	l=150мм,D=11,5мм, $l_ш$=160мм, d=10мм, k_0=1,15	50	83,5
2			100	153,2
3			130	187,2
Эксперимент №6				
1	Сланец песчаный	l=150мм, D=12мм, $l_ш$=160мм, d=10мм, k_0=1,2	50	125,6
2			100	235,5
3			125	260,8
Эксперимент №7				
1	Песчаник	l=150мм,D=11мм, $l_ш$=140мм, d=10мм, k_0=1,1	50	66,5
2			100	127,0
3			120	136,4
Эксперимент №8				
1	Песчаник	l=150мм,D=11,3мм, $l_ш$=140мм, d=10мм, k_0=1,13	50	105,3
2			100	203,1
3			115	197,2
Эксперимент №9				
1	Песчаник	l=150мм,D=11,7мм, $l_ш$=140мм, d=10мм, k_0=1,17	50	151,3
2			100	299,9
3			110	291,3

Библиографический список

1. Булат, А.Ф. Опорно-анкерное крепление горных выработок угольных шахт [Текст] / А.Ф. Булат, В.В. Виноградов - Днепропетровск. : Вильпо, 2010. - 372 с.

2. СОУ 10.1.05411357.010:2014. Система обеспечения надежного и безопасного функционирования горных выработок с анкерным креплением. Общие технические требования. - 84 с.

3. СТП (02070826) (26319481). Методика определения параметров анкерных породо-армирующих систем для обеспечения устойчивости горных выработок [Текст] / Н.Н. Касьян [и др.] - Донецк-Доброполье, 2010. – 27 с.

4. Широков, А.П. Теория и практика применения анкерной крепи [Текст] / А.П. Широков - М.: Недра, 2012. - 381 с.

5. Харрелл, М.В. Новый гидравлический способ установки анкерных болтов [Текст] / М.В. Харрелл // Mining Congress Journal. - 1971. - №6.

6. Пат. 55763 Україна, МПК E 21 D 20/00. Способ установки анкера / Касьян Н. Н., Новиков А. О., Петренко Ю. А., Дрипан П. С., Шестопалов И. Н., Гладкий С. Ю., Выговский Д. Д. / заявитель и патентообладатель Донецкий Национальный Технический Университет. - № u200901503; заявл. 23.02.2009; опубл. 25.06.2009; бюл. № 12. - 6 с.

7. Прочность. Устойчивость. Колебания [Текст] / Под общ. ред. И.А. Биргера и Я.Г. Пановко. - М.: Машиностроение, 1968 - Т.1. - 831 с.

8. Дрипан, П.С. Устойчивость анкера при установке в породный массив под действием динамической нагрузки [Текст] / П.С. Дрипан // Научный вестник НИИГД «Респиратор»: науч.-техн. журн. - Донецк, 2019. - № 3 (56). - С.37-45.

9. Петренко, Ю.А. Моделирование физических процессов в горном производстве/ Борщевский С.В., Калякин С.А., Лабинский К.Н., Марийчук И.Ф. и др.//Учебное пособие. - Донецк: НОУЛИДЖ, 2016 - 250 с.

10. Основы моделирования геомеханических процессов/ Под общей ред. Ефремова И.А. и Малеева Н.В. - Донецк: НОУЛИДЖ, 2012 - 263с

11. Основы научных исследований в геомеханике / Онопчук Б.Н., Подкопаев С.В., Марийчук И.Ф., Алексеенко С.А. и др. // Монография. - Донецк: НОУЛИДЖ, 2011 - 198с.

СТРОИТЕЛЬСТВО И АРХИТЕКТУРА

УДК 693.5

К ВОПРОСУ ПОЛУЧЕНИЯ ИЗДЕЛИЙ ИЗ КОНСТРУКЦИОННОГО ЛЕГКОГО БЕТОНЫ НА ПУСТОТЕЛОМ ЗАПОЛНИТЕЛЕ

Трофимов В.И., Ясюкович В.А., Желев Н.А.
Тверской государственный технический университет, г. Тверь, Россия

В статье рассматривается вопрос повышения эффективности работы бетонных перекрытий. Рассмотрены способы получения облегченных плит перекрытия и повышения их прочности. На основе выполненного анализа предлагается метод повышения пустотности бетонных изделий, в основе которого заложен принцип снижения массы при сохранении достаточной прочности. Выявлено, что наиболее эффективно использовать комбинированный метод получения облегченных бетонных перекрытий путем повышения пустотности при использовании микро-и макропустотелых элементов, реализуемый на двух стадиях изготовления.

Ключевые слова: бетон, облегченные перекрытия, пустотность, несущая способность, строительство, пустотелые элементы.

В современном строительстве широкое распространение получил бетон, который применяется почти на всех этапах возведения здания: устройство фундаментов, несущих конструкций, плит покрытия и систем коммуникации [1].

В настоящее время существует множество видов бетона, однако наиболее востребованным является конструкционный тяжелый бетон, широко используемый со второй половины 19 века. Несмотря на положительные качества, присущие тяжелым бетонам, у них есть и недостатки, в виде большой массы. При увеличении этажности нагрузка

на нижние этажи увеличивается очень сильно, соответственно требуется укрепление фундамента. Применение же легкого бетона позволяет решить этот недостаток, снизив массу конструкции, существенно уменьшив нагрузку на несущие элементы, при этом повысив тепло- и звукоизоляцию. Кроме этого, использование облегченных конструкций позволит уменьшить трудозатраты при строительстве, снизить расходы на транспортные, погрузочно-разгрузочные и другие сопутствующие работы, при этом повысив энергоэффективность конструкции [1,2].

Однако ведущее место при производстве легких конструкционных бетонов в России в качестве заполнителя занимает керамзит (около 80%), который является высокоэнергоемким материалом. Поэтому использование более эффективных пустотелых заполнителей и разработка бетонных составов для облегченных конструкций является актуальной задачей.

Снижение массы конструкции и конструктивных элементов зданий позволит решать сложные архитектурные задачи и расширит область применения конструкционных легких бетонов при строительстве многоэтажных и высотных зданий, возведении большепролетных сооружении, устройстве сложных строительных объектов. Не забывая при этом об экономической выгоде [1,2].

Существуют следующие способы производства облегченных бетонных изделий за счет применения керамических и стеклянных микросфер или за счет применения пустотелых вкладышей и макросфер.

В настоящее время общепризнанной мировой тенденцией является решение задачи по комбинированию положительных качеств тяжёлых и легких цементных бетонов. В России для решения такой задачи предложено использовать полые стеклянные и алюмосиликатные микросферы. Которые представляют собой полые, почти идеальной формы силикатные шарики (рис. 1) с гладкой поверхностью, диаметром от 10 до 600 микрометров [5].

Микросферы отличаются высокой прочностью - при объемном сжатии до 280 кг/см, высокой температурой плавления 1400- 1500 °С, инертностью, низкой теплопроводностью - коэффициент теплопроводности микросфер при температуре 20°С составляет 0,08 Вт/(м °С), и малой насыпной плотностью 320-370 кг/м^3, что позволяет существенно улучшить качество бетона при их применении. При этом значительно снизить массу бетона [3,4].

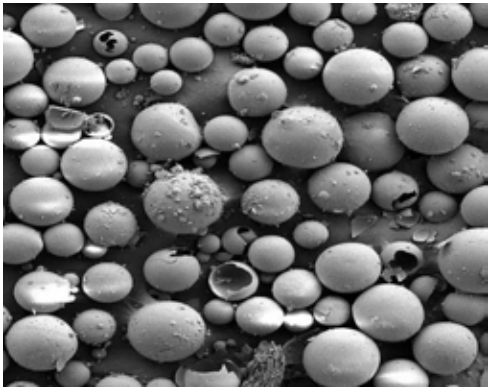


Рис.1. Алюмосиликатные микросферы

Кроме этого использование алюмосиликатных микросфер в производстве энергоэффективных строительных изделий, содержащихся в составе золошлаковых отходов, (образующихся при сжигании угля), (в разработке энергоэффективных строительных материалов) позволит (также) утилизировать часть отходов ТЭЦ. При этом в сравнении со стеклянными микросферами алюмосиликатные микросферы дешевле. И хотя на данный момент большинство предприятий переходит на природный газ в качестве топлива, многие предприятия в России, КНР, Казахстане и других странах в котельных используют уголь. Следовательно, образуется большое количество золошлаковых отходов. Поэтому там, где требуется снижение массы конструкций при обеспечении низкой теплопроводности, высокой прочности и экономии объёма, повышенной устойчивости к эрозии и агрессивным средам, с успехом могут быть применены алюмосиликатные микросферы [5].

Однако, говоря о достоинствах микросфер нельзя не отметить и их недостатки. В работах [3,4] установлено, что при увеличение содержания микросфер в составе бетона происходит формирование плотноупакованной структуры, в которой близко расположенные микросферы приводят к появлению трещин. Поэтому появляется необходимость использования добавок, суть которых состоит в создании на поверхности полого заполнителя активной железисто-кремнистой оболочки, вступающей во взаимодействие с основными компонентами и продуктами гидратации цемента, упрочняя границу раздела фаз. Помимо этого, сама технология извлечения микросфер из золошлаковых

отходов является весьма дорогостоящей и требует организации отдельного производства [4].

Другим способом получения облегченных конструкций является применение пустотелых вкладышей и макросфер.

В настоящее время использование облегченных конструкций в строительной практике становится все более популярным. Разновидностью таких конструкций являются монолитные перекрытия с неизвлекаемыми пустотными вкладышами. Использование этих изделий позволяет заметно уменьшить расход применяемых материалов (не ухудшив при этом прочностные характеристики материала) и за счет этого уменьшить нагрузку на фундамент сооружения. На сегодняшний день наиболее популярными является применение пустотных вкладышей по таким технологиям как Airdeck, BubbleDeck, Cobiax и DaliformGroup (рис. 2) [6].Все они во многом схожи между собой.

По таким технологиям часть плиты перекрытия изготавливают в заводских условиях. Пустотообразователи укладываются в ячейки, которые образуются при изготовлении арматуры, после чего идет отправка на стройплощадку для укладки в опалубку и заполнения бетоном. Разница состоит только в форме и размерах вкладышей у Airdeck это полипропиленовые коробки (шаг 300 мм) сечением 200х200 мм, высота меняется в границах от 120 до 350 мм. У BubbleDeck вкладыши имеют форму сферы или эллипса, размеры варьируются от 1800 до 360 мм, в зависимости от толщины будущей конструкции [6].

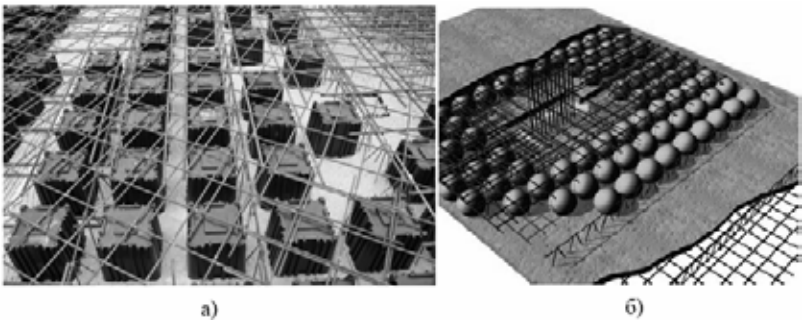


Рис. 2.Облегченные конструкции с использованием пустотелых вкладышей Airdeck - а); макросфер BubbleDeck - б)

Другая технология - Cobiax несколько отличается от предыдущих тем, что здесь формируются арматурные модули (рис. 3), которые отправляются на стройплощадку для последующего их бетонирования. По форме вкладышей Cobiax схожи с BubbleDeck, также используется

два типа, в виде сферы и эллипса, различие только в размерах. Eco-line – сферические для перекрытий толщиной от 40 до 70 см; и более плоские Slim-line для перекрытий от 20 до 45 см [7].

Рис. 3.Технология Cobiax

Известна также технология DaliformGroup, где используются системы U-BootBeton и U-BahnBeton (рис. 4).

Рис. 4. Технология DaliformGroup

Система U-BootBeton применяет вкладыши блочной формы из рециклированного полипропилена, с рабочими размерами 52×52 см и высотой от 10 до 56 см. Система U-BahnBeton отличается от предыдущей только размерами и формой вкладышей, они представляют собой П-образные элементы с рабочими размерами 120×40 см и высотой 20 см. Использование вкладышей позволяет бетонировать плиты перекрытия толщиной от 20 до 76 см. [8].

Выше перечисленные технологии обладают такими преимуществами в сравнении с конструкциями из сплошного бетона как уменьшение веса этажа до 35%, сокращение расходов бетона приблизительно на 30% и стали на 20%, сокращение времени опалубочных работ на 35%. Плюс пустотообразователи изготавливают из реплицированного полипропилена, имеют высокие показатели по экологичности. Однако все рассмотренные технологии с использованием пустотелых элементов, например, макросфер при производстве облегченных бетонных конструкций, так или иначе, привязаны к арматуре, что снижает ее эффективность работы при восприятии нагрузки. [6,7]. При этом пустотелые элементы распределены в одной плоскости – плоскости арматурных элементов, а не в объеме, что ослабляет эту зону конструкции.

Учитывая отмеченные недостатки в производстве облегченных конструкций с применением пустотелых элементов в одном случае микросфер, а в другом случае макросфер, считаем целесообразным использовать их совместно. На стадии приготовления смеси - приготавливать облегченную бетонную смесь на основе микросфер, которая при затвердении образует облегченную бетонную матрицу, а на стадии формования устанавливать макросферы с использованием разработанной нами ранее технологией [9].

В отличие от технологии BubbleDeck макросферы могут быть различного диаметра и устанавливаются свободно, не фиксируясь в арматурном каркасе. Для этого используется специальный шаблон с отверстиями под макросферы. Через эти отверстия производится погружение макросфер в заданные слои бетонной смеси. Это позволит значительно упростить технологию изготовления многопустотной плиты.

Эффективность применения такого технического решения обеспечивается возможностью организации в бетонной матрице строго равномерного распределения дискретных пустот. Это приводит к образованию непрерывных структурных связей между пустотами и, соответственно, повышает прочность плиты на изгиб.

В заключение можно сказать, в отличие от существующих технологий производства облегченных панелей на основе использования микросфер или макросфер предлагается технология производства облегченных панелей путем совместного использования микро-и макросфер на стадиях получения бетонной матрицы и формования. При этом предложена боле простая технология формования с включением макросфер, которая отличается свободной их установкой в объеме панели без привязки к арматурному каркасу. В целом, использование

предложенных технических решений позволит повысить эффективность производства многопустотных панелей.

Библиографический список:

1. *Иноземцев А.С., Королев Е.В. Динамика развития высокопрочных лёгких бетонов. Анализ мировых достижений / А.С. Иноземцев, Е.В. Королев // Международный научно-исследовательский журнал = Researchjournalofinternationalstudies, 2013. – №12-1 (19). – С. 87-94.*
2. *Максименко А.Т., Митропольская А.С., Жаров М.А. Опыт применения конструкций из легкого бетона в современном строительстве / А.Т. Максименко, А.С. Митропольская, М.А. Жаров // Фундаментальные и прикладные научные исследования: Актуальные вопросы, достижения и инновации сборник статей VIII Международной научно-практической конференции: в 4 ч. Пенза. 2017. С.111-114.*
3. *Гринь О.В. Применение ячеистых бетонов с полыми керамическими микросферами // Устойчивое развитие науки и образования. 2019. №7. С. 111-114.*
4. *Иноземцев А.С., Королев Е.В. Деформации высокопрочных легких бетонов на полых микросферах и способ их снижения / А.С. Иноземцев, Е.В. Королев // Строительные материалы. 2015. №9. С. 23-30.*
5. *Кудерин М.К., Бабиев К.Д. Алюмосиликатная микросфера в решении задач энергосбережения и повышения эффективности зданий и сооружений / М.К. Кудерин, К.Д. Бабиев // Журн. Наука и техника Казахстана. 2019. №1. С. 94-101.*
6. *Аралов Р.С., Римшин В.И. Анализ использования облегченных конструкций монолитных плит в российской и зарубежной практике / Р.С. Аралов, В.И. Римшин // Проблемы науки. 2017. №7. С. 24-29.*
7. *Топчий Д.В., Болотова А.С., Васильева Ю.А. Технологический процесс устройства монолитных железобетонных перекрытий с вкладышами-пустотообразователями на примере технологии "Cobiax" / Д.В. Топчий, А.С. Болотова, Ю.А. Васильева // Перспективы науки. 2019. №2. С. 61-67.*
8. *Староста Н.А. Современные технологии получения облегченных железобетонных перекрытий // Актуальные вопросы современной науки: сборник статей по материалам XVII международной научно-практической конференции. Томск. 2018. С.109-120.*
9. *Патент РФ 2422269. МПК E01C 13/00. Способ изготовления дорожной плиты / Трофимов В.И., Белов В.В., Степанов Е.А., 2011.*

УДК: 691.539.216

ОПТИМИЗАЦИЯ ГРАНУЛОМЕТРИЧЕСКОГО СОСТАВА МИНЕРАЛЬНОЙ ЧАСТИ МЕЛКОЗЕРНИСТЫХ БЕТОНОВ, МОДИФИЦИРОВАННЫХ УЛЬТРАЗВУКОМ

Белов В.В., Куляев П.В., Артемьев А.А.
Тверской государственный технический университет, г. Тверь, Россия

Ультразвуковые методы широко используются в строительной отрасли как методы дефектоскопии и неразрушающе-

го контроля физико-механических характеристик бетона в конструкциях. В то же время ультразвуковая обработка бетонной смеси и свежеуложенного бетона может быть использована и для изменения ее структуры и свойств. Актуальность темы напрямую связана с рассмотрением вопросов, связанных с экономией в строительстве, поскольку позволяет снизить затраты на дорогостоящие цементы в составе бетона.

Ультразвуковые методы нашли широкое применение в строительной отрасли, как способы дефектоскопии и неразрушающего контроля физико-механических характеристик бетона в конструкциях. В то же время ультразвуковая обработка бетонной смеси и свежеуложенного бетона может применяться для целей модификации его структуры и свойств [1,2]. В акустическом ультразвуковом поле под влиянием волнового давления возникают очаги коагуляционного уплотнения цементного теста и при слиянии в сплошной слой вытесняется вода вместе со взвешенными в ней высокодисперсными фракциями цемента, образующимися в результате кавитационного разрушения крупных частиц. Кавитация активизирует силы внутреннего сцепления между частицами цемента и микрочастицами известняка, что способствует компактному пространственному взаиморасположению частиц твердой фазы и повышению количества контактов между частицами – увеличению координационного числа [2].

При этом следует ожидать и обратного эффекта – повышения эффективности самой ультразвуковой обработки, так как очевидно, что чем больше контактов между частицами и чем рациональнее их взаимное распределение внутри исходной структуры, зависящие в том числе от гранулометрического состава минеральной части бетона, тем выше степень кавитационного схлопывания пузырьков внутри смеси и меньше дефектность структуры бетонной смеси и самого бетона. Причем, эффективность ультразвуковой обработки кроме того будет определяться и ее параметрами (режимом и временем).

На первом этапе работы производили оптимизацию зернового состава минеральной части мелкозернистого бетона (пескобетона), на котором проверяли влияние ультразвуковой обработки.

Чтобы заполнитель полностью выполнял отведенную ему роль твердого скелета мелкозернистого композита, необходимо распределить его частицы таким образом, чтобы более мелкие фракции располагались в промежутках между крупными частицами, не раздвигая их. Это возможно только при наличии в заполнителе в оптимальном количестве как минимум трех песчаных фракций, средние размеры кото-

рых должны соотноситься в определенной пропорции [3]. Данные по исходному грансоставу песков крупных и средней крупности показывают, что наиболее эффективным с точки зрения технологии и затрат на просеивание, является разделение песка на фракции с размерами частиц: 0-0,5 мм; 0,5-1,25 мм; 1,25-3,2 мм, и их смешение в оптимальном соотношении.

В данной работе определяли область соотношений указанных фракций песка, обеспечивающих наиболее плотную упаковку частиц заполнителя, как путем теоретических выкладок, так и экспериментальным способом, при этом критерием плотной упаковки служило максимальное значение насыпной плотности заполнителя. В расчетном способе используется физическая модель рассматриваемой смеси трех фракций и делается попытка расчетным путем прийти к оптимальному гранулометрическому составу минеральной части.

Рассмотрение физических моделей упаковки сыпучих материалов удобно начинать с систем, составленных из геометрических тел шарообразной формы, поэтому ниже приведен расчет тернарной (сухой сыпучей смеси, состоящей из трех фракций) смеси, где частицы фракций приняты за шары. В процессе формирования сыпучих заполненных систем на основе нескольких фракций с различными диаметрами сфер, фракция с максимальными размерами тел выбирается как скелетная, которой в первоочередном порядке условно заполняется единица объема сыпучей заполненной системы. Расчет составов сферозаполненных сыпучих систем произведен с учетом явлений раздвижки сфер сферами и заполнения межсферических пустот сферами меньших размеров. Объем монолитного материала в единице объема сферофракции равен 0,6, а объем пустот – 0,4.

Средние диаметры сфер для указанных выше трех фракции кварцевого песка равны: d_1 = 2,725 мм, d_2 = 0,875 мм, d_3 = 0,25 мм. Для приготовления 1 м^3 состава тернарной сыпучей смеси расход указанных сферо-фракций определяется следующим образом.

Определяются объемные коэффициенты раздвижки сфер большого диаметра сферами меньших размеров и находят их произведение:

$$a_1 = \left(1 + \frac{d_2}{d_1}\right)^3;\ a_2 = \left(1 + \frac{d_3}{d_1}\right)^3;\ a_3 = \left(1 + \frac{d_3}{d_2}\right)^3;\ X_1 = a_1 a_2;\ X_2 = a_2 a_3,$$

где a_1, a_2, a_3 – объемные коэффициенты раздвижки, d_1, d_2, d_3 – средние диаметры сфер указанных фракций, X_1, X_2 – произведения коэффициентов раздвижки сфер большего диаметра сферами меньших размеров.

Расход каждой фракции в м^3 определяется в последовательности:

$V_1 = 1м^3 \times X_1^{-1}$; $V_2 = (X_1 - 0{,}6) \times (X_1 \times X_2)^{-1}$;

$V_3 = (X_1 - 0{,}6) \times (X_2 - 0{,}6) \times (X_1 \times X_2)^{-1}$,

где V_1, V_2, V_3 – расход указанных фракций.

Объем монолитных сфер определяется по формуле

$V_{мон} = V_{нас} - V_{нас} \times V_{пус}$,

где $V_{нас}$ - расход сферофракций, $м^3$, $V_{пус}$ – объем пустот.

Окончательно, насыпной объем сыпучей смеси трех фракций в м^3 равен

$V_{нас} = V_{мон1} + V_{мон2} + V_{мон3} + V_3 \times V_{пус}$

Исходя из приведенного расчета, получаем:

$a_1 = \left(1 + \frac{0{,}875}{2{,}725}\right)^3 = 2{,}306$; $a_2 = \left(1 + \frac{0{,}25}{2{,}725}\right)^3 = 1{,}302$;

$a_3 = \left(1 + \frac{0{,}25}{0{,}875}\right)^3 = 2{,}126$; $X_1 = 2{,}306 \times 1{,}302 = 3{,}002$;

$X_2 = 1{,}302 \times 2{,}126 = 2{,}768$; $V_1 = 1 \times 3{,}002^{-1} = 0{,}333м^3$;

$V_2 = (3{,}002 - 0{,}6) \times (3{,}002 \times 2{,}786)^{-1} = 0{,}289м^3$;

$V_3 = (3{,}002 - 0{,}6) \times (2{,}768 - 0{,}6)(3{,}002 \times 2{,}768) = 0{,}627м^3$;

$V_{мон1} = 0{,}333 - 0{,}333 \times 0{,}4 = 0{,}200м^3$;

$V_{мон2} = 0{,}289 - 0{,}289 \times 0{,}4 = 0{,}173м^3$;

$V_{мон3} = 0{,}627 - 0{,}627 \times 0{,}4 = 0{,}376м^3$;

$V_{нас} = 0{,}200 + 0{,}173 + 0{,}376 + 0{,}627 \times 0{,}4 = 1м^3$.

Таким образом, расчетный оптимальный гранулометрический состав, обеспечивающий максимальную упаковку зерен заполнителя, составил: 26,7 % фракции 0-0,5 мм, 23,1 % фракции 0,5-1,25 мм, 50,2 % фракции 1,25-3,2 мм.

Для экспериментального подбора оптимального соотношения песчаных фракций в заполнителе мелкозернистого бетона поставлен нелинейный планированный эксперимент с одновременным варьированием содержания этих фракций в пределах: отношение фракции 0,5-1,25 мм к фракции 0-0,5 мм - X_1 – 0,67…4; отношение фракции 1,25-3,2 мм к фракции 0-0,5 мм - X_2 – 1,67…7, и измерением насыпной

плотности полученных смесей в сухом состоянии. Полученные по математическим моделям зависимости насыпной плотности заполнителя от его фракционного состава в виде линий равного уровня представлены на рис.1.

Полученные данные позволяют наметить состав смеси оптимальной гранулометрии, соответствующий наибольшей насыпной плотности, а именно: 30 % фракции 0-0,5 мм, 20 % фракции 0,5-1,25 мм, 50 % фракции 1,25-3,2 мм. Теоретические расчеты, приведенные выше, согласуются с экспериментальными значениями, что свидетельствует о корректности используемой модели.

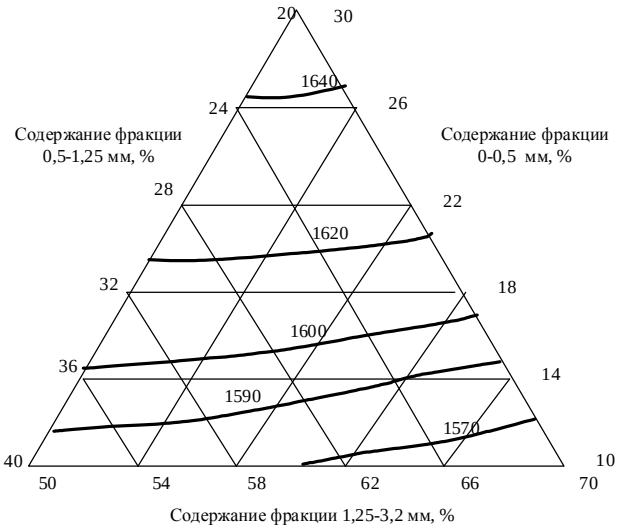


Рис. 1. Диаграмма линий равного уровня насыпной плотности заполнителя (кг/м^3) в зависимости от его гранулометрического состава

Более глубокую оптимизацию гранулометрического состава минеральной части мелкозернистого бетона можно получить за счет введения в оптимальном количестве различных тонкомолотых добавок – наполнителей [4]. Влияние наполнителей на свойства бетонов рассматривалось в предыдущих публикациях [5, 6], где было показано, что применение в качестве наполнителя цементных систем молотого известняка в сочетании с суперпластификатором позволяет целенаправленно регулировать свойства мелкозернистых бетонов. Исходя из этих предпосылок в данной работе поставлена задача проверки влия-

ния ультразвуковой обработки оптимизированных по грансоставу мелкозернистых композиций, в состав тонкодисперсной части которых вводился карбонатный микронаполнитель в различном количестве (взамен соответствующей части цемента), на структуру твердеющих систем.

Использовалась следующие параметры ультразвуковой обработки (таблица).

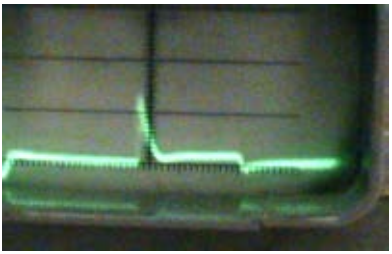
Общие параметры и условия обработки (УЗ генератор УДМ)

Общие параметры и условия обработки (УЗ генератор УДМ)	
Полосы частот	0,62-1,8-2,5-5 МГц
Мощность	80-250 Вт
Время обработки	t =30 мин

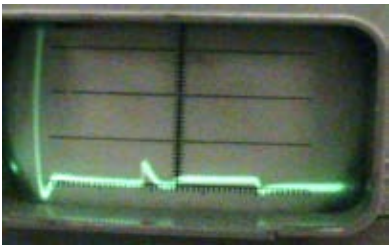
Ультразвуковая обработка осуществлялась в процессе приготовления смеси (при частоте 0,62 МГц – уровень средней фракции) и твердения кубов-образцов 100х100х100 мм из мелкозернистого бетона, изготовленного на основе данной цементно-песчаной смеси (при частоте 1,8 МГц – уровень микрофракций). Приложение трансдюсера УДМ генератора к образцу-кубу во время его твердения и сканирования гомогенности внутренней структуры композита показано на рис. 2.

Рис. 2. Приложение трансдюсера УДМ генератора к образцу во время его твердения и сканирования гомогенности внутренней структуры композита

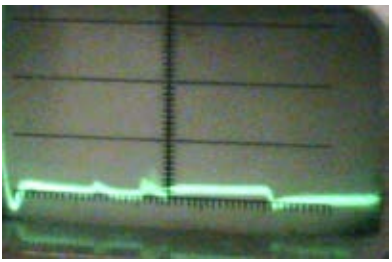
На рисунке 3 приведены осциллограммы трех образцов мелкозернистого бетона с содержанием в тонкодисперсной части 0, 30 и 50 % известнякового молотого порошка с удельной поверхностью, равной 450 м^2/кг (взамен соответствующей части цемента) и суперпластификатора СП-1 в дозировке 0,5 и 0,75% от массы тонкодисперсной части (цемент и известняковый порошок) по сухому веществу.



Известняк 0 %,
цемент 100 %,
СП-1 = 0,75 %



Известняк 25 %,
цемент 75 %,
СП-1 = 0,5 %



Известняк 50 %,
цемент 50 %,
СП-1 = 0,5 %

Рис. 3. Осциллограммы ультразвукового сканирования внутренней глубинной структуры образцов бетона с целью выяснения ее однородности прибором УДМ при средних значениях мощности и чувствительности сигнала и максимальном диапазоне прозвучивания (100мм), на частоте 1,8 МГц.

Рис. 3 показывает, что образцы с содержанием известнякового тонкодисперсного порошка в количестве 50 % в суммарном содержании цемента и наполнителя и суперпластификатора в количестве 0,5

% от массы тонкодисперсной части (цемент и известняковый тонкодисперсный порошок), подвергшиеся ультразвуковому воздействию, имеют более гомогенную структуру (строб выбран в пределах 8 процентов полосы мерной шкалы). Это свидетельствует о вкладе ультразвуковой обработки в более равномерное распределение частиц по массе композита. Имеет место кавитационный эффект разглобулирования смеси на микроуровне при оптимальной частоте для ультрадисперсных частиц наполнителя в районе 1,8 МГц. При этом следует ожидать улучшения эксплуатационных свойств такого бетона, в том числе трещиностойкости и долговечности без существенной потери прочности даже в случае обедненной по расходу цемента сырьевой смеси.

Анализ полученных результатов на данном этапе исследований показывает, что использование ультразвукового генератора-модификатора УДМ позволяет целенаправленно влиять на структуру мелкозернистого бетона с целью повышения его эксплуатационных свойств.

Механизм формирования гомогенной структуры цементного камня, содержащего добавку на основе микродисперсного карбонатного порошка и суперпластификатора, при ультразвуковом модифицировании, связан, преимущественно, с процессом схлопывания газовых пузырьков при кавитации, что ведет к разглобулированию смеси на микро- и мезоуровне.

Совместный эффект ультразвуковой обработки и оптимизации гранулометрического состава минеральной части мелкозернистого бетона может способствовать синергии при улучшении эксплуатационных свойств мелкозернистого бетона за счет активизации в смеси активных центров микрокавитации и наиболее равномерного распределения частиц в объеме смеси, что делает ее более однородной, гомогенной, связной и плотной.

Библиографический список:

1. Ахвердов И.Н. Основы физики бетона. М., Стройиздат, 1981. С. 47-51.

2. Балдев Радж, Раджендран В., Паланичами П. Применение ультразвука. М.. Техносфера, 2006. 248 с.

3. Величко Е.Г., Белякова Ж.С. Физико-химические и методологические основы получения многокомпонентных систем оптимизированного состава // Строительные материалы. 1996. № 3. С. 27-30.

4. Калашников В.И., Демьянова В.С., Дубошина Н.М. Сухие строительные смеси на основе карбонатоцементного смешенного вяжущего // Изв. вузов. Строительство. 2000. № 6. С. 52-58.

5. Белов В.В., Образцов И.В., Смирнов М.А. Проектирование зерновых составов минеральных вяжущих систем // Вестник Тверского государственного технического универси-

тета. Серия «Строительство. Электротехника и химические технологии». 2020. № 2 (6). С. 7-15.

6. Belov V., Kuliaev P. Limestone filler as one of the cheapest and best additive to concrete. В сб.: IOP Conference Series: Materials Science and Engineering 21, Construction - The Formation of Living Environment. 2018. С. 032054.

УДК 622.235.

МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЙ ВЛИЯНИЯ НЕРАЗРУШАЮЩИХ ДИНАМИЧЕСКИХ ВОЗДЕЙСТВИЙ НА ОСТАТОЧНУЮ ПРОЧНОСТЬ МАТЕРИАЛА

Пеева И. Э., Кулинич В. Д.
Кременчугский национальный университет имени Михаила Остроградского, Украина

Представлена методика исследований влияния неразрушающих динамических воздействий на остаточную прочность материала, которая позволила изучить влияние параметров зарядов взрывчатых веществ и различных технологических факторов на энергетические затраты, связанные с разупрочнением материала.

Прочностные свойства готовой продукции и энергетические затраты при механической обработке нерудных стройматериалов значительно зависят от свойств кусков горной массы. Поэтому изучение влияния взрывного и механического неразрушающего воздействия на изменение прочностных характеристик нерудных горных пород представляет большой научный и практический интерес[1].

Показатель сопротивления пород одноосному сжатию является наиболее распространенной оценкой механических свойств пород и определяется как частное от деления максимальной разрушающей силы P_{max}, полученной при одноосном раздавливании на прессе образца горной породы (правильной геометрической формы), на начальную площадь поперечного сечения F_o образца:

$$s_{сж} = \frac{P_{max}}{F_o} \qquad (1)$$

Отбойка скальных горных пород с помощью взрыва и последующее механическое дробление сопряжены не только с их дезинте-

грацией, но и обуславливает дополнительную наведенную микротрещиноватость в образующихся кусках. Приведеннаямикротрещиноватость является причиной снижения прочностных характеристик кусков горной породы и может существенно повлиять на энергетические затраты последующих технологических процессов. В связи с этим исследование влияния неразрушающих динамических нагрузок на прочностные свойства хрупких материалов представляет большой научный и практический интерес, однако до настоящего времени нет приемлемой методики, позволяющей осуществить количественную оценку этого влияния.

Для исследования влияния неразрушающих динамических воздействий на предел прочности материала была предложена и использована следующая методика [2].

Динамическая механическая нагрузка была создана с помощью падающего груза, для чего на одной из торцовых поверхностей образца была сформирована лунка, в которой размещался шарик (материал – сталь ШХ – 15) диаметром 5…8 мм. С определенной высоты h на шарик, находящийся в лунке, был сброшен груз массой m (рис. 1).

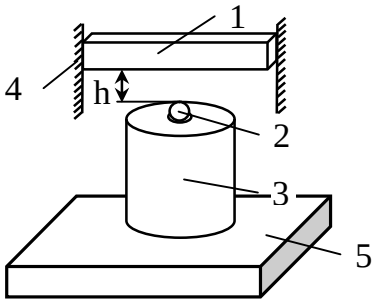


Рис. 1 Схема ударного нагружения образца: 1 – груз; 2 – шарик; 3 – образец; 4 – направляющие; 5 – плита

Энергия удара определялась по известной формуле

$$U = mgh. \qquad (2)$$

Экспериментальные исследования начинались с минимальной высоты падения груза, увеличивая ее до появления в образце первой макротрещины, тем самым устанавливалась предельная неразрушающая механическая (ударная) нагрузка.После неразрушающих ударных воздействий на образцы были проведены испытания для определения остаточной прочности.

На степень разупрочнения образцов при динамическом воздействии может оказывать влияние скорость приложения ударной нагрузки; поскольку она зависит от скорости соударяющихся тел, то с помощью измерения массы груза и высоты его падения при постоянной энергии удара можно исследовать изменение прочностных характеристик образца в зависимости от скорости нагружения. Количество требуемых опытов определяется тщательностью подготовки образцов и проведения эксперимента.

Для оценки приемлемости данной методики была поставлена серия экспериментов по исследованию влияния механического воздействия на изменение прочностных свойств песчано-цементных цилиндрических образцов. Образцы были изготовлены из песчано-цементной смеси при соотношении цемента и песка 1:2. Ударная нагрузка создавалась при падении на образец груза массой 5 кг с высоты, меняющейся в диапазоне от 80 до 115 мм. При высоте падения груза более 115 мм образцы разрушались. После ударной неразрушающей нагрузки образцы были испытаны при статическом сжатии для определения их остаточной прочности. В каждой серии экспериментов при одной высоте падения груза опыты повторяли по три раза.Результаты исследований после их обработки приведены в табл. 1.

Таблица 1 – влияние неразрушающего механического нагружения на прочностные свойства песчано-цементных образцов

Высота падения груза, мм	Энергия удара, Дж	Прочность на одноосное сжатие, МПа			Средняя прочность на сжатие σ, МПа	Относительная ср.прочность, $\sigma_i/\sigma_0 \cdot 100\%$
		1	2	3		
0	0	11,01	10,38	9,44	σ_0=10,275	$\bar{S}_0$=100
80	4	7,86	9,44	8,49	σ_1=8,6	$\bar{S}_1$=83,7
90	4,5	10,07	6,61	7,86	σ_2=8,18	$\bar{S}_2$=79,61
100	5	8,18	9,44	6,61	σ_3=8,07	$\bar{S}_3$=78,54
105	5,25	6,61	9,12	7,55	σ_4=7,76	$\bar{S}_4$=75,52
110	5,5	9,12	6,61	6,92	σ_5=7,55	$\bar{S}_5$=73,48
115	5,75	7,86	7,55	6,61	σ_6=7,34	$\bar{S}_6$=71,43

Как следует из табл. 1 увеличение энергии ударной неразрушающей нагрузки уменьшает остаточную прочность образцов. Зависимость относительной остаточной прочности от энергии удара в первом приближении можно считать линейной с поправкой на небольшие флуктуации, обусловленные случайными факторами.

Библиографический список:

1. Кутузов Б.Н. Проблемы взрывногоразрушения скальных пород в горной промышленности/ Б.Н. Кутузов // Изв. вузов. Горный журнал. – 1997. – №10. – С. 31–33.

2. Пеева И.Э.Методика исследований влияния взрывного и механического нагружений на изменение прочностных свойств хрупких материалов / И.Э. Пеева, А.М. Пеев, С.М. Мыслицкий // Вісник Кременчуцького державного політехнічного університету: Наукові праці КДПУ. – Кременчук: КДПУ, 2002.–Вип.6(17). – С. 40 – 44.

3. Лемижанская В. Д., Комир В. М., Комир А. И., Долударева Я. С., Долударев В. Н., Козловская Т. Ф. Особенности поведения крепких скальных пород при импульсном воздействии взрыва зарядов промышленных взрывчатых веществ. Вісник КрНУ імені Михайла Остроградського. Кременчук: КрНУ, 2011. –Вип. 6(71).–С. 123–127.

УДК 692.412

ПРОБЛЕМЫ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ СОВРЕМЕННЫХ СТЕНОВЫХ КОНСТРУКЦИЙ ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ КОМФОРТНОГО РЕЖИМА В ЗДАНИЯХ

Прохорова А.В., Сычева Т.Н., Копылов А.Б.
Тульский государственный университет, г.Тула, Россия

Обсуждаются вопросы применения современных конструкций и материалов наружных стен с точки зрения энергосбережения и создания благоприятного температурного и влажностного режима в помещениях.

Создание оптимального температурно-влажностного режима в помещениях с помощью кондиционеров требуют больших затрат энергоресурсов. Рекомендуются более дешевые способы поддержания микроклимата внутри помещения, такие, как увеличение тепловой инерции зданий и вентиляция. Задача обеспечения человека комфортными условиями проживания решается параллельно с проблемой экономии энергетических ресурсов и денежных средств.

Теплотехнические требования могут быть удовлетворены применением ограждающих конструкций зданий с увеличенным сопротивлением теплопередаче и существенным уменьшением теплопотерь.

Основная доля потерь тепла ограждающими конструкциями здания приходится на вертикальные ограждения, то есть наружные стены и окна, примерно по 35% [1].

Анализ состояния и методов современного строительного процесса позволяет обозначить некоторые проблемы [2, 3].

Использование строительных материалов должно позволять наиболее полно реализовать их свойства: прочностные, изоляционные, защитные от различных воздействий. Например, высокопрочные материалы рекомендуется использовать для несущих конструкций; легкие с хорошими изоляционными свойствами – для ограждающих конструкций.

Целесообразным становится применение многослойных ограждающих конструкций, состоящих из несущего слоя и дополнительных слоев тепло-, звуко-, влагоизоляции и отделочного.

При выборе конструкции стеновых ограждений руководствуются параметрами несущего остова здания и функционального назначения стен (несущих, самонесущих или ограждающих). Конечно, предпочтение должно быть отдано материалам, отвечающих повышенным требованиям экологии, пожарной безопасности, доступности исходных компонентов, малой энергоемкости технологии производства.

Здания с несущими стенами из кирпича и мелких блоков имеют отличительный внешний вид, разнообразные детали. Изменение нормативов по теплозащите потребовало в большинстве районов России перехода к трехслойным конструкциям кирпичных стен. Современные кирпичные материалы имеют разнообразное цветовое решение, могут быть выполнены с эффективными пустотами. В зданиях высотой до 16 этажей эффективным является также применение крупноблочных стен из легкого бетона.

Бескаркасные здания высотой до 30 этажей можно успешно возводить из трехслойных стеновых панелей, которые изготавливают на длинных стендах или по поточно-агрегатной технологии [4]. Крупнопанельное домостроение все также сохраняет определенные преимущества перед традиционным. Оно позволяет снизить массу конструкций на 30-40%, уменьшить суммарные трудозатраты, сократить срока строительства примерно на 30%, при этом повысить пространственную жесткость.

Общественные здания высотой от 1 до 30 этажей эффективно сооружать по каркасно-панельной технологии. Для элементов каркаса используют тяжелый бетон или сталь, а навесные панели стен выполняют из облегченных конструкций. Перспективными являются конструкции зданий со скрытым каркасом, когда стальные прокатные эле-

менты по бокам панелей соединяют в вертикальном стыке и образуют стальные стойки.

В условиях умеренного климата средней полосы России целесообразной является теплосберегающая технология строительства зданий с ограждающими конструкциями из монолитного железобетона, изготавливаемыми в неснимаемой опалубке из полимерных материалов. В таких сборно-монолитных зданиях сборными являются не части несущих конструкций, а их опалубка. Блоки опалубки выполняются из пенополистирола, арболита или полистиролбетона.

Для строительства зданий предприятий торговли, общественного питания и услуг рекомендуется применять трехслойные легкометаллические конструкции стеновых панелей в сочетании современными стальными структурными конструкциями покрытия и колоннами. Утеплителем в таких случаях служат минеральная базальтовая вата, пенополистирол, пенополиуретан и др.

Прогрессивным будет применение стеновых конструкций, в которых наиболее полно реализуются свойства материалов. При этом толщина ограждений получается минимальной, уменьшается общая масса конструкций и строительный объем зданий.

Сокращение общих теплопотерь здания можно обеспечить рациональным решением объема здания, компактной формой плана [2]. В результате будет обеспечено уменьшение площади застройки. Это обстоятельство особенно важно при ведении строительства в условиях стесненной застройки, в центре города. Можно создать возможность экономичнее использовать городскую территорию, более рационально решать вопросы транспортных путей, полнее осуществлять программу благоустройства, обеспечивая условия наибольшего комфорта внутри зданий и окружающей среды.

Библиографический список

1. Монастырев П.В. Технология устройства дополнительной теплозащиты стен жилых зданий: Учебное пособие.-М.:Издательство АСВ, 2000.

2. МГСН 2.01-99. Энергосбережение в зданиях. Нормативы по теплозащите и тепловодоэлектроснабжению.-М.,1999.

3. Маклакова Т.Г., Нанасова С.М. Конструкции гражданских зданий: Учебник. – М.:Издательство АСВ, 2002.

4. Моисеев В.А., Сычева Т.Н. Конструктивные решения теплоизоляции фасадов зданий для повышения сопротивления теплопередаче ограждающих конструкций // Изв. ТулГУ. Сер. Строительство и архитектура. Вып. 2 / ТулГУ. – Тула, 2002.

УДК 691.32

ДОРОЖНАЯ ПЛИТА С КОМПОЗИТНЫМ НЕСУЩИМ СЛОЕМ

Трофимов В.И., Джабаров А.С., Желев Н.А., Ясюкович В.А.
Тверской государственный технический университет, г. Тверь, Россия

В представленной статье рассматривается актуальная проблема повышения эффективности работы бетонных дорожных плит в арктических зонах. Решение проблемы реализуется путем исполнения дорожной плиты комбинированной – двухслойной или трехслойной, где нижний и верхний слои выполняется из готовой композитной плиты. В строительстве для изготовления дорожных изделий начинают все больше применять композитные материалы для улучшения характеристик: прочности, трещиностойкости, коррозионной стойкости, снижения массы. Получены положительные результаты комплексных испытаний комбинированных двухслойных бетонных образцов - балочек с нижним слоем из композитной пластины.

Ключевые слова: арктические зоны, трещиностойкость, композитная плита, арматура, дорожная плита.

В настоящее время на Севере при строительстве дорог широко используются дорожные цементобетонные плиты.

Работоспособность и долговечность цементобетона определяется кинетикой процессов разрушения при различных видах внешних воздействий. Эти характеристики зависят от множества факторов, доминирующими среди которых являются начальная структура конгломератного материала и интенсивность внешних воздействий.

В настоящее время значительно увеличилась грузоподъемность транспортных средств и их напряженность потоков, увеличилась удельная расчетная нагрузка на дорожные и мостовые покрытия, повысился уровень динамических и ударных нагрузок [1].

Таким образом, за счет того, что интенсивность внешних воздействий на цементобетон транспортных сооружений существенно увеличилась, соответственно, повысились и требования к начальной структуре и свойствам цементобетона.

На сегодняшний день оценка качества бетона при его проектировании ведется в основном по физико-механическим показателям прочности и морозостойкости. В то же время такие характеристики, как трещиностойкость, ударная и коррозионная стойкость не входят в ряд обязательных требований.

В БелдорНИИ были проанализированы основные виды дефектов, возникающих на цементобетонных покрытиях автомобильной дорог (начиная с 1996 г.):сколы и разрушения углов и кромок плит, выбоины, поперечные и продольные трещины, нарушение герметизации швов и полное разрушение плит с потерей несущей способности.

Кроме этого было отмечено увеличение скорости разрушений с увеличением интенсивности движения и грузоподъемности автотранспорта [2].

Дорожные покрытия при движении автотранспорта подвергаются существенным динамическим нагрузкам [3,4]. При существенном увеличении в настоящее время скорости и грузонапряженности движения интенсивность динамического воздействия на покрытие, а соответственно на цементобетон, существенно выше.

Нами была предложена новая конструкция дорожной цементобетонной плиты – двухслойной комбинированной [5].

Для изготовления новой дорожной плиты предлагается использовать готовые армирующие полимерные композитные элементы: дисперсные – фибру, линейные – сетку (стержни), а также готовую полимерную композитную плиту в качестве нижнего слоя. При этом готовую композитную плиту можно изготовить из плит типа МДП «МОБИСТЕК», которые являются композитными изделиями, обладающие хорошими деформационными свойствами и, состоящие из стеклопластика с наполнителем. Из таких мобильных плит монтируют временные дорожные покрытия.

Конструктивнаяновизна заключается в изготовлении комбинированной дорожной плиты, состоящей из двух композитных слоев: верхний - на минеральной основе - фибробетонный слой, а нижний – на полимерной основе в виде готовойполимернойкомпозитной плиты, без использования стальных арматурных элементов [6]. При этом для повышения трещиностойкости дорожной плиты предлагается матрицу бетонного слоя усиливать новой фиброй – полимерной композитной микросеткой (патент № 2490406).

Ранее были выполнены пробные лабораторные испытания [5]. Были выполнены модельные испытания комбинированных дорожных плит с усиленным фибробетонным верхним слоем. В качестве модели дорожной плиты была принята стандартная бетонная балочка 40 × 40 × 160 мм. Комбинированные балочки - двухслойные изготавливались из цементо-песчаной смеси в соотношении 1:3 с нижним слоем из полимерной композитной пластины (рис. 1). Песок использовался карьерный, средней крупности, вяжущее – портландцемент М500. Водоцементное отношение задавалось 0,5.

Балочки формовались на виброплощадке с вертикально направленными колебаниями с последующей тепловой обработкой в пропарочной камере. Испытания образцов балочек выполнялись на испытательной машине МИИ-100.

а) б)

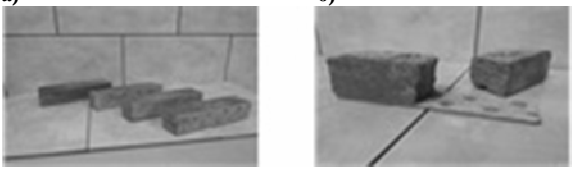


Рис. 1. Образцы комбинированных бетонных балочек с композитной пластиной: до испытаний – а); после испытаний – б).

В результате проведенных испытаний были выявлены прирост прочности образцов на 27 % (образец 2 – комбинированные балочки) и увеличение времени деформирования образцов на 35 %. Последнее, косвенно говорит о том, что улучшаются деформативные свойства нижнего слоя комбинированной плиты и, соответственно, снижается степень развития хрупкого разрушения материала (рис. 2).

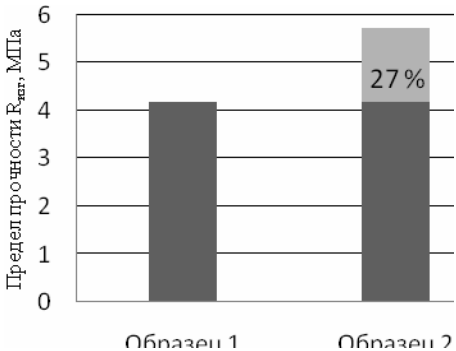


Рис. 2. Гистограмма прочности модельных образцов.

По результатам испытаний модельных образцов были предложены и запатентованы новые конструкции дорожной плиты с улучшенными эксплуатационными свойствами(рис. 3). В частности, разработана двухслойной плита с нижним слоем из полимеркомпозитной плиты (рис. 3б) и трехслойная плита с верхним и нижним слоемиз полимеркомпозитной плиты (рис. 3в).

а) б) в)

Рис. 3. Дорожные плиты: стандартная дорожная железобетонная плита – а); комбинированная двухслойная дорожная плита с нижним композитным слоем – б); комбинированная трехслойнаяплита с нижним и верхним композитными слоями - в).

Можно выделить следующие преимущества разработанных комбинированных двухслойных и трехслойных дорожных плит перед стандартными дорожными плитами:

- более высокие прочностные показатели на сжатие и растяжение при изгибе;
- повышенная трещиностойкость;
- повышенная стойкость к динамическим нагрузкам;
- возможен отказ от использования стальной арматуры;
- снижение массы изделия;
- повышенная коррозионная стойкость.

Комбинированные двухслойныеи трехслойныедорожные плиты повышенной трещиностойкостимогут найти широкое применение при строительстве дорог в сложных природно-климатических условиях арктических зон особенно на тяжёлонагруженных участках дорог с интенсивным движением при обустройстве нефтегазовых месторождений, а также при организации строительных площадок и выполнении ремонтных работ.

В заключение можно сказать, что выполненные предварительные модельные испытания новой конструкции комбинированной двухслойнойдорожной плиты позволяют сделать вывод, что ее исполнение с нижним слоем из готовой полимеркомпозитной плиты с использованием полимерной композитной арматуры**позволит** полностью отказаться от стальной арматуры, что улучшит физико-механические свойства дорожной бетонной плиты и снизит ее массу на 30-40%.

Библиографический список

1. Паткина И.А. К вопросу о новых методах оценки работоспособности цементобетона для дорожных и мостовых сооружений / И.А. Паткина, Т.А. Пошехонова, П.Н. Рогачев // Дороги и мосты.Т. 26, № 2, 2011. – С. 295-310.

2. Яромко В.Н. Новая технология ремонта цементобетонных покрытий // Наука и техника в дорожной отрасли. 2001. №2. - С. 12.

3. Ахундов М.Б. Кинетическая модель развития трещины в повреждающейся среде / М.Б. Ахундов, Л.В. Никитин, Ю.В. Суворова // Механика твердого тела. 1986. №5. С. 128-138.

4. Парфенов А.В. Ударная выносливость бетонов на основе стальной и синтетической фибры: Автореф. дис. … канд. тех. наук. Уфа, 2004. - С. 42.

5. Трофимов В.И. Комбинированная дорожная плита для строительства на мерзлых грунтах / В.И. Трофимов, А.С. Джабаров, В.Ю. Лёушкин // Сборник материалов XX Межд. научно-техн. конф.: Актуальные проблемы строительства, строительной индустрии и архитектуры. – Тула: ТулГУ, 2019. – С. 294-296.

6. Патент РФ № 2730166. МПК E01C 5/08. Дорожная плита / Трофимов В.И. Заявка №2018144900 от 17.12.2018.Опубликовано 19.08.2020 Бюл. № 23. Заявитель и патентообладатель ТвГТУ. – 5 с.

УДК 624.04

К ВОПРОСУ ОБ ОЦЕНКЕ ДОЛГОВЕЧНОСТИ СООРУЖЕНИЙ И ИХ ЧАСТЕЙ

Овчинников И.И.,
Тюменский индустриальный университет, г. Тюмень, Россия
Овчинников И.Г.,
Тюменский индустриальный университет, г. Тюмень, Россия
Уральский государственный университет путей сообщения, г. Екатеринбург, Россия
Караханян В.Б.,
Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А., г. Самара, Россия

Рассматривается проблема организации экспериментальных и теоретических исследований долговечности конструкций транспортных сооружений и их элементов с учетом напряженного состояния, режима нагружения и условий эксплуатации. Указывается, что без решения этой проблемы внедрение инновационных решений и технологий не будет экономически обосновано

Статья 5 п. 1 Федерального закона от 30 декабря 2009 г. № 384 – ФЗ «Технический регламент о безопасности зданий и сооружений» гласит: безопасность зданий и сооружений, а также связанных и с зданиями и с сооружениями процессов проектирования (включая изыскания), строительства, монтажа, наладки, эксплуатации и утилизации

(сноса) обеспечивается посредством установления соответствующих требованиям безопасности проектных значений параметров зданий и сооружений и качественных характеристик в течение всего жизненного цикла здания или сооружения, реализации указанных значений и характеристик в процессе строительства, реконструкции, капитального ремонта (далее также – строительство) и поддержания состояния таких параметров и характеристик на требуемом уровне в процессе эксплуатации, консервации и сноса.

В соответствии со статьей 39 п. 2 проектная документация должна отвечать требованиям этого закона и об этом должно быть составлено заверение лицом, осуществившим подготовку проектной документации. Статья 33 п. 2 этого закона гласит «… в проектной документации здания или сооружения должна содержаться следующая информация: срок эксплуатации здания или сооружения и их частей».

Важно отметить, что Главгосэкспертиза должна принимать проектную документацию в соответствии с указанным ФЗ, а заказчик в своем техническом задании должен формулировать требования, соответствующие статье 33 п.2. Однако проведенный нами анализ ряда технических заданий показал, что в них практически не упоминается требование об указании срока эксплуатации запроектированных сооружений и их частей. Правда некоторые организации ссылались на то, что мол в перечне нормативной документации, на которую ссылается техническое задание, указывается № 384 – ФЗ «Технический регламент о безопасности зданий и сооружений». Но при этом на вопрос о том, а есть ли конкретизация требований, соответствующих статье 33 п.2 ответ получаем отрицательный. То есть в настоящее время проектные организации практически ничего не сообщают заказчику о сроках эксплуатации сооружений и их частей.

Мы полагаем, что одна из основных причин сложившегося положения вещей заключается в том, что в последнее время резко снизилась интенсивность экспериментальных и теоретических научных работ, посвященных исследованию долговечности материалов и конструкций. Но если в области исследования долговечности строительных материалов специалисты по строительным материалам еще проводят какие-то исследования (правда с измерением примитивных нормативных характеристик материалов на образцах, чаще всего находящихся в одноосном напряженном состоянии при простых программах нагружения), то исследований долговечности конструктивных элементов транспортных сооружений с учетом и сложного и неоднородного напряженного состояния и реальных программ нагружения и реальных условий эксплуатации проводится весьма мало. А ведь дан-

ные по долговечности сооружений и их частей или элементов весьма нужны, особенно в настоящее время, в связи с необходимостью интенсивного внедрения инновационных технологий. Проиллюстрируем это, рассмотрев понятия гарантийного срока и эффективности вложения капитала – очень важные характеристики, особенно в свете решения задачи инновационного развития отрасли транспортного строительства.

Что такое гарантийный срок? Это срок, в течение которого подрядная организация обязана за свой счет устранить скрытый брак, допущенный еще при производстве строительно-монтажных работ. Статьей 756 Гражданского кодекса РФ «Сроки обнаружения ненадлежащего качества строительных работ» определен предельный срок обнаружения ненадлежащего качества результатов работ в пять лет. Такой же срок предусмотрен и в нормативных документах Евросоюза. При установлении этого срока исходили из того, что, как показала практика, за 5 лет практически все недостатки, которые были допущены при строительстве, должны проявиться. Статья 755 Гражданского кодекса РФ предусматривает возможность увеличения гарантийного срока по соглашению сторон. На практике в Европе увеличение гарантийного срока применяется очень редко и только в случае применения при строительстве новых, ранее не применяемых материалов и технологий (которые мы стали называть инновационными). Увеличение гарантийного срока в Европе сдерживается таким фактором, как увеличение стоимости строительной продукции с увеличением гарантийного срока. Дело в том, что для обеспечения выполнения гарантийных обязательств там требуется обязательное страхование риска в страховых компаниях, а стоимость страховки включается в стоимость строительной продукции и стоимость страховых взносов резко возрастает при превышении сроков гарантии, выходящих за пределы 5 лет.

В России же распространена непонятная тенденция к увеличению гарантийных сроков, а в некоторых случаях даже и к уменьшению сроков гарантии, предусмотренных Гражданским кодексом РФ. И если увеличение гарантийного срока допускается по согласованию сторон, то уменьшение гарантийного срока не допустимо. Например, согласно одному из документов, в гарантийном паспорте устанавливались следующие гарантийные сроки: для искусственных сооружений от 8 лет, основания дорожной одежды – от 6 лет, нижнего слоя покрытия – от 5 лет, верхнего слоя покрытия – от 4 лет, барьерных ограждений – от 5 лет, сигнальных столбиков – от 2 лет, дорожных знаков – от 2 лет, зда-

ний и сооружений эксплуатационной и автотранспортной службы – от 8 лет.

Трудно понять, чем руководствовались при назначении указанных гарантийных сроков, но можно отметить следующее. Как уже говорилось выше, гарантийный срок на строительную продукцию не может быть менее предусмотренного Гражданским кодексом РФ - здесь же прямое нарушение требований Гражданского кодекса РФ.

Теперь рассмотрим вопрос увеличения гарантийного срока относительно предусмотренного в Гражданском кодексе РФ. Во-первых, увеличение срока возможно только по согласованию сторон, а не по ультимативному требованию заказчика, как это имеет место в ряде случаев. Во-вторых, какова цель увеличения гарантийного срока и почему заказчик и подрядчик так легко идут на увеличение срока гарантии?

Очевидным стремлением заказчика, связанным с увеличением гарантийного срока, является провозглашаемое стремление повысить качество выполняемых строительных работ.

Но увеличение гарантийных сроков никак не влияет на качество работ по нескольким причинам. Во-первых, в случае разрушения какой-либо части или всего сооружения в пределах гарантийного срока заказчик обязан доказать в суде, что разрушение произошло по вине подрядчика, а это в большинстве случаев практически нереальная вещь. В обоснование своей правоты стороны конфликта обычно представляют в суд заключения экспертов о причине разрушения (вот здесь оказывается только и нужна наука – когда нужно оправдать чьи-то промахи, неквалифицированные решения) и здесь приходится сталкиваться с такими случаями, когда в суд представляются диаметрально противоположные заключения экспертов, привлекаемых конфликтующими сторонами, и суду определить виновного практически не представляется возможным. Во-вторых, поскольку по существующей в России практике гарантийные обязательства не страхуются страховыми компаниями, то подрядчик может уклониться от выполнения своих обязательств путем ликвидации своей организации и создания нового предприятия, ничем не связанного с ликвидированной организацией; наконец, организация, выполнявшая строительные работы и имеющая обязательства по гарантии, может быть ликвидирована и по ряду других причин, и кто тогда будет исполнять обязательства по гарантии?

Отсюда очевидно почему и заказчик, и подрядчик так легко идут на увеличение гарантийного срока: заказчик - потому, что увеличение гарантийного срока не увеличивает стоимость выполняемых работ, но создает иллюзию повышенных требований к качеству работ, а

подрядчик - потому, что если он не захочет исправлять брак за свой счет, то у него есть полная и официальная возможность уклониться от этого.

Но здесь возникает еще один очень серьезный вопрос. И он должен бы обязательно возникнуть у заказчика. Это вопрос связан как с гарантийным сроком, так и с эффективностью вложения капитала и возможностью внедрения в практику транспортного строительства новых передовых инновационных решений. Это вопрос о сроке службы отдельных конструктивных элементов сооружения в зависимости от применяемых материалов и технологий. Как этот вопрос увязывается с гарантийным сроком? Дело в том, что некоторые конструктивные элементы имеют срок службы меньше, чем установленный Гражданским кодексом РФ гарантийный срок (разметка, поверхностная обработка, верхний слой покрытия, сигнальные столбики, и т.п.). И как быть в этом случае? В проектах на строительство должны быть указаны сроки службы отдельных конструктивных элементов в зависимости от конкретных применяемых материалов, технологий, условий работы. Так, например, разметка может быть выполнена из краски с разными сроками службы или из пластика, асфальтобетон может быть приготовлен из разных каменных материалов, и от этого также может зависеть срок службы, хотя марка у них будет одна и та же. Поэтому в проектах должны быть указаны сроки службы и оговорено, что на конструктивные элементы, срок службы которых меньше, чем гарантийный срок, предусмотренный Гражданским кодексом РФ, гарантия не распространяется.

Но это не самое сложное. Дело в том, что новые материалы, конструкции и технологии обычно дороже старых, традиционных и обосновать применение инновационных решений можно только путем сравнения приведенных затрат. Но для того, чтобы сделать такое сравнение, необходимо знать стоимость, срок службы и эксплуатационные затраты по сравниваемым вариантам. К нашему глубокому сожалению, по нашему мнению, в отрасли транспортного строительства такое сравнение возможно только для систем антикоррозионной защиты, ибо здесь известны сроки службы различных схем окраски в зависимости от применяемых красок, подтвержденные испытаниями ОАО ЦНИИС и других организаций.

Для обоснования применения инновационных решений в отрасли транспортного строительства государственному заказчику необходимо поручить ведущим научным, проектным организациям и вузам провести огромную работу по разработке методик и определению сроков службы различных конструктивных элементов транспортных со-

оружений в зависимости от конкретных применяемых материалов, технологий, условий эксплуатации. Эта работа должна быть проделана как можно скорее, поскольку без определения сроков службы отдельных конструктивных элементов в зависимости от используемых материалов и условий их эксплуатации, применяемых технологий, практически невозможно обосновать применение более дорогих инновационных материалов и технологий, а это, в свою очередь, не позволит вывести отрасль транспортного строительства на уровень, соответствующий мировым стандартам, современному уровню развития транспортной науки.

УДК 624.075

ЭКОНОМИЧЕСКИЙ ЭФФЕКТ УЧЕТА ПРОГРЕССИРУЮЩЕГО ОБРУШЕНИЯ

Апухтина Д.В., Колесников А.Г.
Юго-западный государственный университет, г. Курск, Россия

В статье рассматривается экономический эффект учета прогрессирующего обрушения на примере одноэтажного здания актового зала общеобразовательной школы. Приведены результаты расчета, выполненного методом конечных элементов в программном комплексе ЛИРА-САПР. Определен процент удорожания первоначальной стоимости строительства при применении дополнительных конструктивных мероприятий по защите здания от прогрессирующего обрушения.

В настоящее время вопрос обеспечения безопасности зданий и сооружений при аварийных воздействиях возникает все чаще. Аварии на объектах капитального строительства влекут за собой значительный материальный ущерб, а также опасность жизни и здоровью людей.

Согласно Федеральному закону №384-ФЗ [1], аварийная расчетная ситуация должна учитываться при проектировании здания или сооружения повышенного уровня ответственности. Однако, после многочисленных событий, связанных с авариями в жилых домах и общественных зданиях в нормативных документах, появляются поправки и дополнения, которые содержат требования о необходимости

защиты зданий и сооружений всех типов от прогрессирующего обрушения. Введенный только в 2019 году СП 385.1325800.2018 «Защита зданий и сооружений от прогрессирующего обрушения. Правила проектирования. Основные положения» [2] содержит основные требования к проектированию защиты зданий нормального и повышенного уровня ответственности от прогрессирующего обрушения при аварийной расчетной ситуации.

В основу данного нормативного документа вошли рекомендации [3-8]. В нём рассмотрены требования к составу и методам расчета живучести зданий, приведены основные конструктивные мероприятия по защите сооружений различных конструктивных систем от прогрессирующего обрушения.

Наряду с конструктивными требованиями к решению задач прогрессирующего разрушения, возникают и экономические вопросы устройства дополнительных конструкций. Полностью учесть экономический эффект от спасения человеческой жизни не представляется возможным. Однако, можно учесть затраты на восстановление конструкций после разрушения и приблизительную оценку выплат пострадавшим.

Рассмотрим экономический эффект учета прогрессирующего разрушения на примере общественного здания – одноэтажного актового зала общеобразовательной школы.

Конструктивная схема актового зала – каркасная (металлический каркас). Устойчивость каркаса обеспечивается в поперечном направлении – жестким креплением колонн в фундаментах, в продольном направлении – связями. Пространственная жесткость каркаса здания в целом обеспечивается системой ферм, прогонов покрытия и связей по ним.

Размеры здания в плане: 30,0 х 24,0 м (в осях), высота 6,3 м (до низа выступающих конструкций) (рис. 1).

Колонны актового зала приняты из коробчатого сечения 200х200х6, покрытие – металлические сварные фермы. Верхний пояс – 180х140х6, нижний пояс – 140х140х6, опорный раскос – 140х140х6, раскос – 100х100х6 [9].

Рассматриваемый остов каркаса здания относится к нормальному уровню ответственности. Согласно [2] для зданий с массовым пребыванием людей требуется расчет на прогрессирующее обрушение. В соответствии с п. 4.4 [2] требования по защите от прогрессирующего обрушения включает проверку по особому предельному состоянию, при удалении из конструктивной системы одного из несущих элементов.

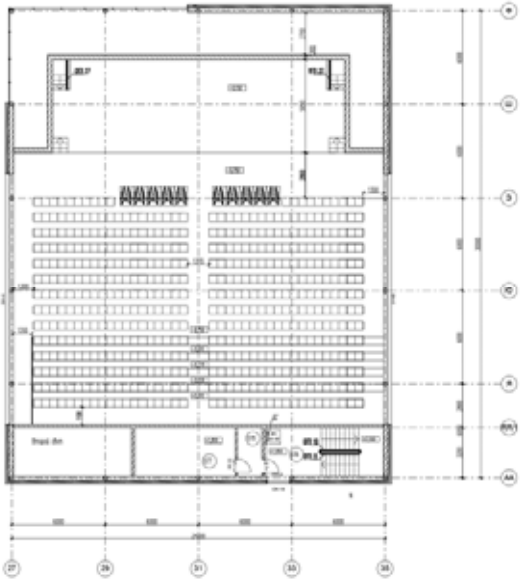


Рис. 1 План актового зала

Зона локального разрушения однопролетного здания принимается в соответствии с [10]. При пролете 24 м и шаге колонн 6 м в продольном направлении следует рассматривать разрушение или удаление несущей конструкции на участке двух смежных шагов.

При расчете сначала моделируется состояние системы, соответствующее нормальной эксплуатации (первичное состояние системы), затем моделируется особое состояние системы, когда удаляют одну или несколько вертикальных конструкций (вторичное состояние).

Расчет здания по защите от прогрессирующего обрушения, в соответствии с п. 6 [2] выполнен на сочетание нагрузок POS C, состоящее из постоянных Pd и длительных Pl, с учетом изменения расчетной схемы, вызванного локальным разрушением.

В качестве вторичной расчетной модели, после анализа первичной расчетной схемы каркаса сооружения, принято удаление рядовой колонны по оси 27 (рис.2).

Расчет здания на прогрессирующее обрушение выполнен с использованием программного комплекса ЛИРА-САПР по деформированной схеме (рис.3, 4). Мгновенное удаление выключаемого элемента моделируется усилиями, определенными в этом элементе при расчете

по первичной расчетной схеме, прикладываемыми во вторичной расчетной схеме с обратным знаком.

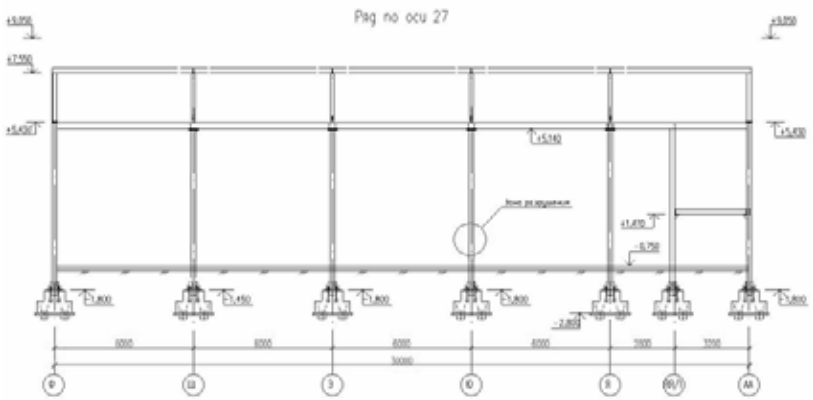


Рис. 2. Разрушение колонны промежуточного ряда

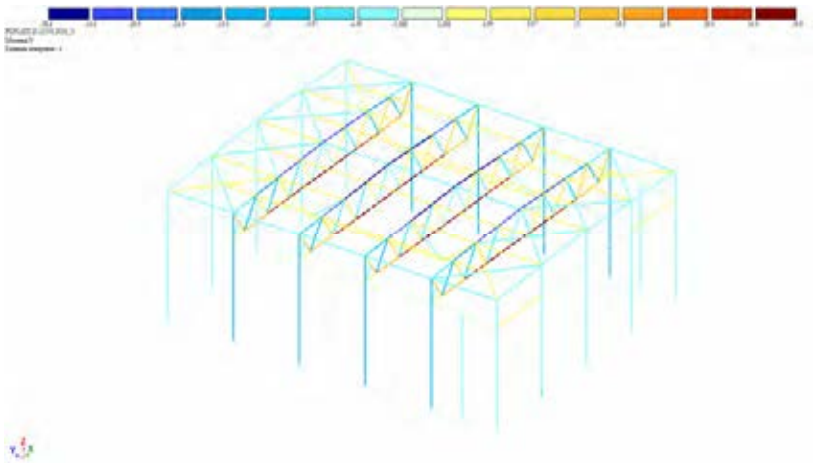


Рис. 3. Распределение продольных усилий N,т (первичная расчетная схема)

Оценка несущей способности производилась путем сравнения действующих усилий в конструкциях с несущей способностью сечений.

Усилие в рассматриваемой колонне – 162,8 кН. Во вторичной схеме приложим его с обратным знаком.

В качестве конструктивного мероприятия против прогрессирующего обрушения устроена обвязочная металлическая неразрезная балка из 2-х сваренных в короб двутавров 35Б1 по [11], таким образом, чтобы фермы опирались на балку, а не на колонны.

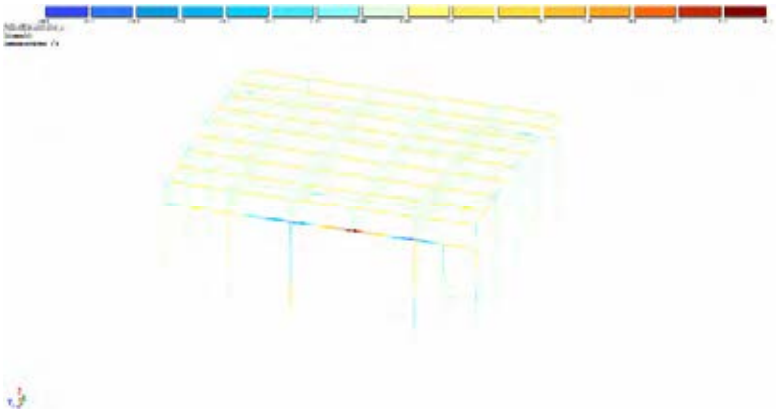


Рис. 4. Распределение моментов My, т·м (вторичная расчетная схема)

Просчитаем экономический эффект от устройства дополнительных конструкций. В таблице 1 приведены затраты на устройство дополнительных конструкций актового зала в ценах 2019 года. Локальные сметные расчеты выполнялись в программе ГРАНД-Смета.

Аналогично можно просчитать затраты на восстановление здания после возможного обрушения с учетом демонтажа вышедших из строя конструкций.

Стоимость человеческой жизни – условный показатель качества жизни в стране, который определяется той ценой, в которую государство оценивает жизнь своего гражданина, теми расходами, которые готово понести для обеспечения безопасности, жизни и здоровья своих граждан.

В настоящий момент в России и за рубежом существует несколько методов [12-14] на основании которых, оценивается стоимость человеческой жизни, но ни один из низ нельзя считать абсолютно верным.

Методы можно разделить на субъективные и объективные. К субъективным методам относятся оценки стоимости жизни человека, которые опираются на социально-экономические исследования, данные с рынка труда и опросов населения. Арифметически обоснованные расчетные данные являются базисными для объективных методов, таких как доходный, затратный и актуарный.

Таблица 1

Сравнение стоимости каркаса актового зала

Итоги по смете	Без конструктивных мероприятий по защите от прогрессирующего обрушения (руб.)	С устройством неразрезной обвязочной балки (руб.)	Удорожание (%)
Строительные металлические конструкции	159 404	244 495	53,4
Защита строительных конструкций и оборудования от коррозии	12 247	12 247	-
Бетонные и железобетонные монолитные конструкции в промышленном строительстве	5 969	5 969	-
Теплоизоляционные работы	173 296	173 296	-
Итого	350 916	436 007	24,2
Всего с учетом индекса на 4 квартал 2019 г. по Курской области для объектов образования СМР=6,84	2 400 265	2 982 288	24,2
Материалы	130 485	206 448	58,2
Машины и механизмы	22 776	26 913	18,2
ФОТ	35 854	37 808	5,4
Накладные расходы	34 421	36 179	5,1
Сметная прибыль	27 032	28 692	6,1
НДС 20%	480 053	596 457,6	-
ВСЕГО по смете	2 880 318	3 578 745,6	24,2

Главными преимуществами субъективных методов являются соответствие ожиданиям населения, общественное представление о справедливости и простота получения данных [15]. Данным методом пользуется Центр стратегических исследований компании «Росгосстрах» с целью мониторинга стоимости человеческой жизни в России с 2007 г (рис.5).

Недостатком данного метода оценки является субъективность полученных данных, поскольку отражает мнение общества о социальной справедливости. Кроме того, отсутствует математическая обоснованность показателей.

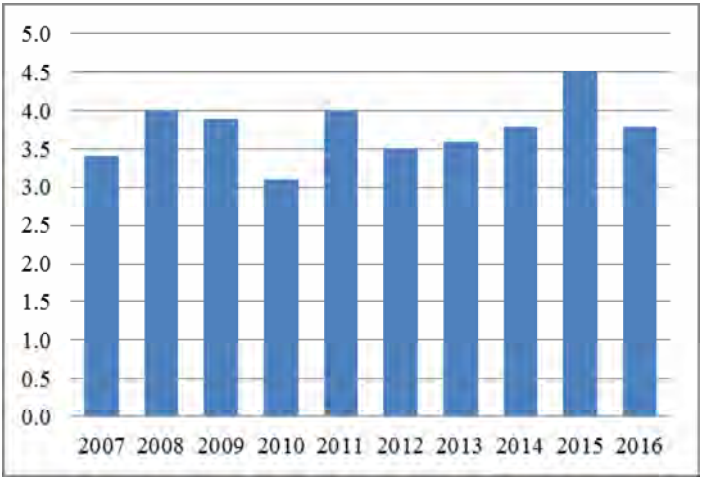


Рис. 5. Динамика стоимости человеческой жизни, млн. руб.

В 2019 аналогичное исследование провела компания «Сбербанк страхование жизни». Согласно собранным данным среднее значение составило 5,8 млн. рублей [16].

Опираясь на эти данные можно сделать вывод о положительном экономическом эффекте устройства дополнительных технических мероприятий, направленных на предотвращение прогрессирующего разрушения.

Вполне закономерно, что мероприятия, направленные на предотвращение прогрессирующего разрушения приводят к увеличению стоимости строительства. Исходя из таблицы 1, можно сделать вывод, что удорожание составило 24,2 % от первоначального проекта. Однако стоимость проведения конструктивных мероприятий, необходимых для обеспечения устойчивости зданий при аварийных воздействиях, может быть относительно небольшой по сравнению с возможными материальными потерями от обрушений и затратами на восстановление зданий, не говоря о невосполнимых человеческих жертвах.

Библиографический список

1. Федеральный закон №384-ФЗ «Технический регламент о безопасности зданий и сооружений». Москва, 2010. – 20 с.

2. СП 385.1325800.2018 «Защита зданий и сооружений от прогрессирующего обрушения. Правила проектирования. Основные положения». Введ. 05- 07-2018. М.: Минстрой России, 2019. – 33 с.

3. Рекомендации по предотвращению прогрессирующих обрушений крупнопанельных зданий. – М., 1999. – 45 с.

4. Рекомендации по защите жилых зданий с несущими кирпичными стенами при чрезвычайных ситуациях. – М.: Москомархитектура, 2002. – 41 с.

5. Рекомендации по защите жилых каркасных зданий при чрезвычайных ситуациях. – М.: Москомархитектура, 2002. – 35 с.

6. Рекомендации по защите монолитных жилых зданий от прогрессирующего обрушения. – М.: Москомархитектура, 2005. – 29 с.

7. Рекомендации по защите высотных зданий от прогрессирующего обрушения. – М., 2006. – 40 с.

8. Рекомендации по защите жилых панельных зданий при чрезвычайных ситуациях / Москомархитектура. – М.: МНИИТЭП и НИЦ СтаДиО, 1999. – 43 с.

9. ГОСТ 30245-2012 Профили стальные гнутые замкнутые сварные квадратные и прямоугольные для строительных конструкций. Технические условия. Введ.: 2016-01-01. М.: Стандартинформ, 2014. 33 с.

10. Методическое пособие к СП 385.1235800.2018 Проектирование мероприятий по защите зданий и сооружений от прогрессирующего обрушения. – М.: ФАУ «ФЦС», 2018. – 158 с.

11. СТО АСЧМ 20-93. Прокат стальной сортовой фасонного профиля. Двутавры горячекатаные с параллельными гранями полок. Технические условия. Введ.: 1994-01-01. М.: Ассоциация Черметстандарт, 1994. 9 с.

12. Human Costs of a Nuclear Accident: Final Report. Health and Safety Executive. London NERA Economic Consulting, Marsh & McLennan Companies. July 2007. 31 p.

13. Kip Viscusi W., Joseph E. Aldy. The Value of a Statistical Life: a Critical Review of Market Estimates Throughout the World. Cambridge: NBER Working Paper 9487, February 2003. 126 p.

14. Alistair Munro. Notes on the economic valuation of nuclear disasters. National Graduate Institute for Policy Studies. Tokyo, 2011. 27 p.

15. Гербер, Х. Математика страхования жизни. М.: Мир, 1995. – 156 с.

16. Сбербанк выяснил, в какую сумму россияне оценивают «стоимость жизни» [Электронный ресурс] // Режим доступа: https://www.sberbank.ru/ru/press_center/all/article?newsID=9ad516ff-ce2b-45bd-a805-65e530b9fdcb&blockID=1303&regionID=77&lang=ru&type= NEWS (дата обращения: 10.09.2020).

ОСОБЕННОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ТЕХНОЛОГИИ ГИДРОСТРУЙНОЙ ЦЕМЕНТАЦИИ В ДОРОЖНОМ СТРОИТЕЛЬСТВЕ

Белякова Е.В., Головин К.А., Ковалев Р.А., Томилова Б.И.
Ткльский государственный университет, г. Тула, Россия

В данной статье рассматриваются принципы технологии гидроструйной цементации в дорожном строительстве, ее преимущества и возможности применения в различных инженерно-геологических условиях

Ключевые слова: гидроструйная цементация, ГСЦ, грунты, методика jet-grouting.

При строительстве автомобильных дорог в ряде случаев возникает необходимость повышения несущей способности слабых оснований дорожного полотна. В настоящее время повсеместно все большее развитие и применение в промышленном и дорожном строительстве находит технология струйной цементации (jet-grouting) слабых грунтов оснований, которая отличается высокой эффективностью и скоростью сооружения грунтоцементных конструкций в сложных инженерно-геологических условиях.

Струйная цементация грунтов (jet-grouting) представляет собой способ закрепления грунтов, основанный на «одновременном разрушении и перемешивании грунта высоконапорной струей цементного раствора» [6]. В результате струйной цементации в грунте образуются цилиндрические колонны-сваи диаметром до 2,0 м.

Технология Jet-Grouting начала активно внедряться в европейских странах и Японии во второй половине XX века. За несколько десятилетий эта технология стала использоваться во всем мире и в настоящее время задействуется во многих отраслях строительства.

В сравнении с традиционными технологиями инъекционного закрепления грунтов, струйная цементация позволяет укреплять весьма широкий диапазон грунтов – от гравийных отложений до мелкодисперсных глин и илов.

«Суть метода гидроструйной технологии с использованием цементной суспензии (гидроструйная цементация (ГСЦ) заключается в применении кинетической энергии высокоскоростной суспензионной водоцементной струи, погруженной в грунтовый массив и вращающейся в плоскости, перпендикулярной оси скважины с одновременным подъемом вверх. В результате разрушения и перемешивания грунта с цементной суспензией образуется закрепленный массив цилиндрической формы – грунтоцементная свая. Прочность грунтоцемента на сжатие в песчаных грунтах составляет в среднем 5-10 МПа, в глинистых 2-4 МПа

Более подробно метод ГСЦ осуществляется таким способом: в заранее пробуренную технологическую скважину (рис.1) опускают специальный скважинный монитор, имеющий боковую насадку.

К монитору по гибкому рукаву подают размывающую жидкость, преимущественно, цементный раствор. Из насадки выходит высокоскоростная струя раствора, которая производит размыв грунта, образуя в нем горизонтальную каверну. При этом размытый грунт вместе с отработанным раствором частично выносится на поверхность

в виде пульпы, которая по канавке направляется в специальный пульпоприемник (траншею или зумпф).

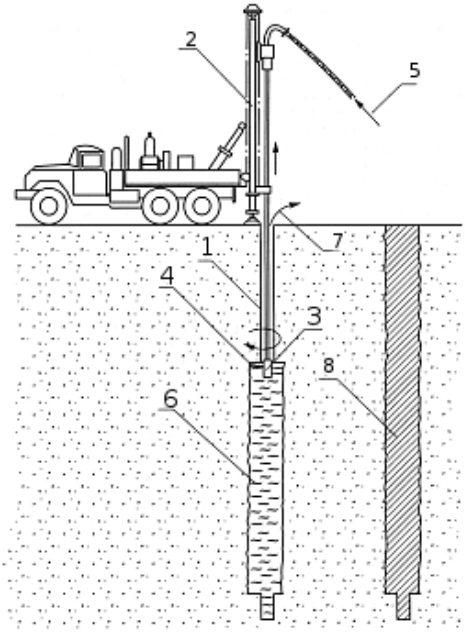


Рис.1 – Сооружение грунтобетонных колонн по однокомпонентной технологии 1 – технологическая скважина; 2 – гидравлический буровой станок; 3 – скважинный струйный однокомпонентный монитор; 4 –высокоскоростная струя твердеющего раствора; 5 – твердеющий раствор; 6 – размываемая полость; 7 – изливающаяся растоворо-грунтовая смесь; 8 – готовая грунтобетонная колонна

Монитор приводят во вращение вокруг вертикальной оси и одновременно начинают медленно поднимать. В результате, по мере подъема вращаемого монитора, часть размытого вращаемой струей грунта (в пределах радиуса размывающей способности струи) перемешивается с раствором, и таким образом в грунтовом массиве образуется цилиндрическая размытая полость, заполненная грунтораствoрной смесью. После завершения подъема монитора и затвердевания цемента в грунте образуется колонна закрепленного грунта. Совокупность указанных операций и составляет однокомпонентную струйную геотехнологию.

Если, наряду с боковой насадкой, в мониторе монтируется соосная с ней воздушная насадка, через которую одновременно с подачей

раствора через центральную насадку подается сжатый воздух, создающий искусственный воздушный поток вокруг струи раствора, то здесь имеет место двух-компонентная технология.

При двухкомпонентной геотехнологии диаметр грунтобетонной колонны существенно больше, чем при однокомпонентной (при условии равенства всех остальных характеристик процесса).

Трехкомпонентная технология получается, когда размыв грунта производят водяной струей в искусственном воздушном потоке, с выносом размытого грунта через скважину в составе водовоздушной пульпы, а закрепляющий раствор подают в виде отдельной струи через насадку, расположенную ниже соосных размывающих насадок.» [6]

После затвердевания водоцементного раствора получается новый материал, получивший наименование грунтобетона.

Грунтобетон – это полужесткий материал, который обладает высоким пределом прочности при сжатии, что позволяет выдерживать значительные осевые нагрузки без деформации. Кроме этого, материал обладает высокой прочностью на изгиб, хорошо сопротивляясь динамическим нагрузкам от движущегося транспорта.

Грунтобетон состоит из грунта не менее чем на 95% от всей массы, а также из портландцемента, количество которого зависит от проектных характеристик участка автомобильной дороги и используемой стабилизирующей добавки. Кроме того, используется вода, необходимая для гидратации цемента в смеси, а также в целях достижения максимального уплотнения грунта. При смешивании грунт, цемент и вода образуют плотную пастообразную смесь готовую к устройству конструктивного слоя и его уплотнению. После смешивания полученная смесь твердеет, набирает прочность и превращается в грунтобетон, устойчивый к воздействию влаги.

Рис.2 – Технологический цикл изготовления грунтобетона

При подборе состава грунтобетона, в первую очередь, необхо-

димо определить максимальную плотность грунта при его оптимальной влажности методом стандартного уплотнения.

При устройстве основания выполняют следующие работы:

подготовка участка работ (профилирование автогрейдером и уплотнение катком грунтового основания), разбивочные работы;

разработка и перемещение укрепляемого грунта скрепером (или завоз укрепляемого грунта автомобилями-самосвалами);

удаление из грунта посторонних включений, разравнивание и планировка укрепляемого грунта автогрейдером;

размельчение грунта фрезами;

До устройства цементогрунтового основания должны быть завершены все предшествующие работы (прокладка коммуникаций, дренажные работы, водоотвод и др.). Перед вывозкой грунта для укрепления грунтовое основание должно быть в законченном виде, поверхность его должна быть спланирована под проектные отметки, грунтовое основание должно быть освидетельствовано и принято представителем технической инспекции.

Для дорожного строительства метод гидроструйной цементации используется в несколько измененном виде.

В соответствии с результатами анализа литературных источников [4] используется следующий метод: «Работы по гидроструйной цементации дорожного полотна могут проводиться при расположении струеформирующего устройства, как непосредственно на поверхности грунта, так и на некотором расстоянии от поверхности. Первая схема более предпочтительна с точки зрения увеличения эффективности воздействия на закрепляемый массив и уменьшения потерь водоцементного раствора на разбрызгивание при входе струи в грунт.

Процесс гидроструйной цементации в данном случае (рис.2) осуществляется следующим образом: в струеформирующее устройство (диаметром d0, коэффициентом расхода μ) осуществляется подача водоцементного раствора (с плотностью ρ) под высоким давлением P. После этого осуществляется перемещение струеформирующего устройства со скоростью V по поверхности закрепляемого массива. После затвердевания, формируется закрепленный массив треугольного сечения глубиной h и углом при вершине γ.

Прототипом данной технологии является способ использовавшийся еще в 1962 г при строительстве грунтобетонных дорог в Австралии.

Данная технология также состоит из 5 этапов более подробно описанных ниже:

1. Подготовка полотна;

2. Разбрасывание цементной смеси;
3. Смешивание ее с грунтом;
4. Уплотнение;
5. Затвердевание;

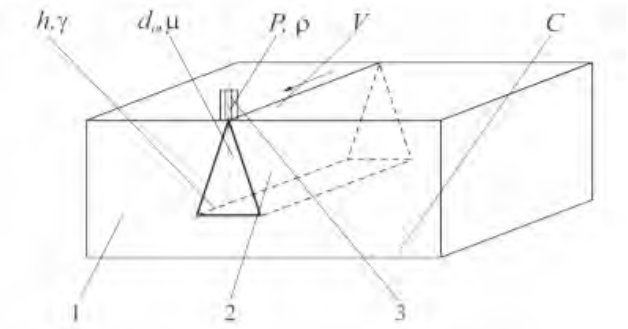


Рис.3 – Схема гидроструйной цементации дорожного полотна:
1 – закрепляемое полотно; 2 – породобетон; 3 – струеформирующая насадка»

Строительство грунтобетонной дороги в этом случае также начинается с устройства слоя основания заданной толщины и поперечных уклонов на основе местного грунта, либо привозного. Качественное уплотнение основания является важным технологическим этапом.

Цемент, необходимый для дорожного покрытия может быть доставлен на грузовом транспорте в мешках. Мешки раскладывают по определенной траектории и распаковывают. Далее цемент равномерно распределяется по всей длине строящегося участка автомобильной дороги для последующего перемешивания с грунтом. Интервал между мешками рассчитан исходя из необходимого содержания цемента и толщины конструктивного слоя.

Распределение цемента может осуществляться посредством использования цементовоза в сочетании с механическим распределителем. Грунтоцемент можно смешивать непосредственно на строительной площадке или доставлять готовый раствор на рабочую площадку и выкладывать на подготовленное земляное полотно.

Мешки с цементом так же могут быть распределены механически любым подходящим для этих целей механизмом. Распределение цемента таким образом, значительно ускоряет процесс, минимизируя воздействие плохой погоды. Перемешивание цемента, грунта и воды осуществляется механизмами, которые взрыхляют, измельчают и перемешивают смесь. В смесительной камере все материалы тщательно перемешиваются с помощью ротора с целым рядом резцов, которые

перемалывают содержимое в однородную смесь.

Рис.4 – Распределение цемента по подготовленному дорожному полотну

Вода в требуемом количестве подается из цистерны, движущейся перед смесительной установкой. При необходимости вводится стабилизирующая добавка, которая способна оказать влияние на водный баланс грунтобетонной системы.

Для достижения максимальной плотности, а, следовательно, и максимальной прочности, грунтобетон должен быть уплотнен как можно скорее после смешивания, каток должен следовать сразу за смесительной машиной. Вибрационные катки доказали чрезвычайную эффективность при первичном уплотнении определенных видов грунтов. Пневмокатки обычно используются для окончательного уплотнения.

Во время уплотнения, поверхность конструктивного слоя планируется грейдером, чтобы избежать неровностей, которые впоследствии могут быть причиной образования различного рода дефектов. При этом дорожное покрытие также очищается от посторонних включений.

Влажность грунта в процессе устройства слоя на основе грунтобетона должна находится в оптимальном количестве. В последующем также необходимо поддерживать влажность уложенного слоя, пока он не будет перекрыт слоем покрытия. Полив после процесса стабилизации необходим для предотвращения высыхания дорожной поверхности.

Рис.5 – Подача воды на основание в процессе стабилизации

Вслед за этим поверхность грунтобетонного дорожного основания окончательно профилируется с целью устранения мелких неровностей.

Затем наносится слой битума, который необходим для защиты грунтобетонного конструктивного слоя, а также для повышения его эксплуатационных характеристик. Для большинства грунтобетонных дорожных покрытий предусматривается нанесение такого изолирующего слоя с целью устройства щебеночного покрытия.

В настоящее время этот способ может стать значительно более автоматизированным и методика будет состоять из следующих этапов:

1. Подготовка полотна;

2. Подача цементной смеси под высоким давлением, что одновременно смешивает и уплотняет грунт;

3. Затвердевание;

Вследствие изменения технологии ГСЦ для применения ее в дорожном строительстве, требуется уделить значительное внимание таким проблемам как:

- разработка специального оборудования для поверхностной ГСЦ оснований дорожных полотен

- благоприятные условия для твердения суспензий
- увеличение скорости твердения растворов
- разработка и внедрение новых, отличных по своим физико-механическим свойствам растворов.

Как и любой другой метод, ГСЦ имеет ряд недостатков:

· Использование инъекционного метода возможно лишь на породах, обладающих достаточно большим коэффициентом фильтрации (от 0, 2 м/сут);

· При закреплении трещиноватых грунтов стабилизирующий раствор может распространяться на десятки метров, что ведет к непредсказуемым увеличениям расходов на строительство;

· Результат инъекционного закрепления во многом зависит от характеристик породы и ее внутренней структуры (наличия включений, полостей, трещин), в связи с чем инъекционная методика не позволяет создать равномерно укрепленную грунтовую основу под крупное сооружение.

Технология гидроструйной цементации имеет также ряд неоспоримых преимуществ:

· Высокая скорость процесса;

· Отсутствие необходимости предварительной отрывки котлованов, предварительного усиления фундаментов соседних зданий и сооружений;

· Отсутствие вибрационных и ударных нагрузок, значительных шумовых эффектов, существенных осадок фундаментов и подъемов поверхности грунта;

· Возможность прогнозирования прочностных характеристик укрепляемого основания дорожного полотна;

· Возможность проведения строительных работ в непосредственной близости от зданий и сооружений;

· Широкий диапазон работы с различными типами грунтов – от илистых до грунтов с гравийными отложениями.

· Возможность проведения строительных работ в стесненных условиях.

С точки зрения технико-экономических показателей метода ГСЦ, хочется выделить, что дорожное строительство требует большого количества дорожно - строительных материалов, которые доставляются к объектам строительства железнодорожным и автомобильным транспортом. При применении метода гидроструйной цементации достигается существенная экономия на транспортных перевозках, квалифицированной рабочей силе, топливных материалах за счет использования местные материалов, а именно грунта, укрепленного вяжущими

веществами.

Таким образом, обширный спектр преимуществ рассмотренной технологии, позволяет судить о гидроструйной цементации как об универсальном методе укрепления грунтов и однозначной целесообразности ее применения в области дорожного строительства, при условии решения ряда технологических и экономических вопросов, которые непременно возникают на стадии разработки новых технологий.

Библиографический список

1. *Бройд И.И. Струйная геотехнология. – М.: АСВ, 2004.Бадиров Д.Г. Основы стандартизации и контроля качества продукции. М., «Транспорт», 1986, 221с.*
2. *Антипов В.В. Освоение оборудования для бестраншейных технологий прокладки инженерных коммуникаций на Скуратовском экспериментальном заводе / В.В. Антипов, И.И. Бракер // Метро и тоннели - 2002 - № 3- С.11-13.*
3. *Головин К.А.. Обоснование параметров и создание оборудования для гидроструйной цементации неустойчивых пород в горном производстве . -Дис. докт. техн. наук.- Тула, 2007 г., 250 с.*
4. *Головин, К.А Разработка оборудования для укрепления дорожного полотна методом гидроструйной цементации / К.А.Головин. – Тула: Известия Тульского государственного университета. Науки о земле, 2015.*
5. *Материалы сайта http://www. jet-grouting.ru/*
6. *Материалы сайта https://goo-gl.ru/5M18*
7. *Белякова Е.В., Головин К.А., Ковалев Р.А., Копылов А.Б. Гидроструйная цементация в дорожном строительстве. Известия Тульского государственного университета. Науки о Земле. 2016. № 4. С. 120-126*
8. *Ковалев Р.А., Головин К.А., Копылов А.Б., Аккуратнов Е.А. Способ укрепления слабых грунтов основания дорожного полотна. патент на изобретение RUS 2627347 15.06.2016*
9. *Golovin K., Kovalev R., Kopylov A. The issues of cryojet technology application for rock cutting. В сборнике: E3S Web of Conferences Electronic edition. 2018.*

ЗНАЧИМОСТЬ ЭКОНОМИЧЕСКОГО КОНТРОЛЯ ВЫПОЛНЕНИЯ ЦЕЛЕВЫХ ПРОГРАММ В СТРОИТЕЛЬНОЙ СФЕРЕ

Левтеева И.А., Иватанова Н.П.

Тульский государственный университет, г. Тула, Россия

Рассмотрены объемы финансирования целевых программ строительной сферы.

Целевые программы в области строительства требуют особого внимания. Это обусловлено их важностью для качества жизни населе-

ния. Объемы финансирования, выделяемые на их реализацию, приводит к необходимости повышенного контроля со стороны государства.

На реализацию Государственной программы Российской Федерации "Доступная среда", утверждённой от 1 декабря 2015 г. N 1297 Постановлением Правительства РФ "Об утверждении государственной программы Российской Федерации "Доступная среда" на 2011 - 2020 годы" 1 декабря 2015 г. и изменённой Постановлением Правительства РФ от 29 марта 2019 г. N 363 "Об утверждении государственной программы Российской Федерации "Доступная среда" на 2011 - 2020 годы выделено 422 973 400,7 тыс. руб.[1]

Целевые программы, отвечающие за развитие транспорта и повышение безопасности дорожного движения, действуют на основе Постановление Правительства РФ от 20 декабря 2017 г. № 1596 "Об утверждении государственной программы Российской Федерации "Развитие транспортной системы". На реализацию этой государственной программы выделено 3 182 884 232 тыс. руб, из них объем бюджетных ассигнований консолидированных бюджетов субъектов Российской Федерации – 2 728 918 013 тыс. руб. [2] Сроки её реализации с 2018 г по 2021 г.

На основании Постановления Правительства РФ от 30 декабря 2017 г. N 1710 "Об утверждении государственной программы Российской Федерации "Обеспечение доступным и комфортным жильем и коммунальными услугами граждан Российской Федерации", действующего с 2018г разрабатываются целевые программы, направленные на улучшение жилищных условий граждан Российской Федерации. Согласно данному документу, общий объем финансирования за 8 лет действия составит 2 367 309 220,1 тыс. руб., в том числе 1 746 020 676 тыс. руб. в предстоящих 2021 – 2025 гг. Из них объем бюджетных ассигнований консолидированных бюджетов субъектов Российской Федерации – 251 853 266,8 тыс. руб, в том числе 176 540 816,2 тыс. руб с 2021 по 2025гг. Общий объем финансового обеспечения проектов (программ) Программы – 1 422 010 813,8 тыс. руб, в том числе объем бюджетных ассигнований консолидированных бюджетов субъектов Российской Федерации – 171 442 558,9 тыс. руб. [3]

Общий объем финансирования трёх государственных программ, относящихся к сфере строительства, за 2018-2020 гг. составляет 3 514 140 159,8 тыс. руб. это более 1% ВВП Российской Федерации. Доля финансирования из регионального бюджета муниципальных программ, разработанной на основе Постановления Правительства РФ, зачастую достигает 70% от общего финансирования.

При разработке муниципальных целевых программ Муниципальные образования опираются не только на государственный план развития территорий, но и на личные нужды. В связи с этим, в бюджетах регионов заложены средства на комплексное благоустройство территорий, что приводит к дополнительному росту расходов региона на строительную сферу.

Опираясь на изложенные данные, можно сделать вывод, что повышение государственного контроля за реализацией муниципальных целевых программ позволит повысить эффективность расходования весьма значительных потоков денежных средств, выделяемых из бюджета. Создание новых органов исполнительной власти способствует такому росту. Дополнительный контроль позволит снизить нерациональное использование денежных средств при реализации государственных программ по повышению качества жизни населения. Сэкономленные таким образом средства могут быть направлены на реализацию новых программ или увеличение скорости реализации существующих.

Данное нововведение будет актуально для всех регионов, так как государственные программы являются основой муниципальных программ всех субъектов Российской Федерации.

Библиографический список

1. *Постановление Правительства РФ от 29 марта 2019 г. N 363 "Об утверждении государственной программы Российской Федерации "Доступная среда" (с изменениями и дополнениями) Электронный ресурс] //ООО "НПП "ГАРАНТ-СЕРВИС", 2020 – URL: https://base.garant.ru/72216666/#block_31 (Дата обращения: 05.11.2020г)*

2. *Постановление Правительства РФ от 20 декабря 2017 г. № 1596 "Об утверждении государственной программы Российской Федерации "Развитие транспортной системы» [Электронный ресурс] //ООО "НПП "ГАРАНТ-СЕРВИС", 2020 – URL: https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/71743998 (Дата обращения: 05.11.2020г)*

3. *Постановление Правительства РФ от 30 декабря 2017 г. N 1710 "Об утверждении государственной программы Российской Федерации "Обеспечение доступным и комфортным жильем и коммунальными услугами граждан Российской Федерации" [Электронный ресурс] //ООО "НПП "ГАРАНТ-СЕРВИС", 2020 – URL: https://base.garant.ru/71849506 (Дата обращения: 05.11.2020г)*

ПРОБЛЕМЫ ВЫБОРА ПОДРЯДНОЙ ОРГАНИЗАЦИИ В СФЕРЕ СТРОИТЕЛЬСТВА ДЛЯ РЕАЛИЗАЦИИ ЦЕЛЕВЫХ ПРОГРАММ

Левтеева И.А.,
ООО «ЭлектроПромМонтаж», г.Тула, Россия

В данной статье определено влияние целевых программ в строительной сфере на качество жизни населения. Даётся анализ существующих способов оценки надёжности претендентов на выполнение подрядных работ. Автором предложено создание нового федерального агентства для устранения проблемы выбора компаний – исполнителей.

Для реализации государственной политики и решения приоритетных проблем Россия сегодня в качестве механизма управления использует целевое программирование. В Концепции повышения эффективности бюджетных расходов в 2019-2024 гг. одним из ключевых направлений повышения эффективности бюджетных расходов указано развитие программно-целевого бюджетного планирования на основе государственных программ. Целевые программы уже реализуются на всех уровнях от федерального до муниципального.

Задачей целевых программ на уровне субъектов РФ является обеспечение социально-экономического развития и повышения качества жизни. Расходы бюджета на повышение качества жизни постоянно увеличивается, например, расходы на здравоохранение в 2020 году по сравнению с 2019 годом растут почти на 50%, такой рост произойдет впервые с 2005 года. [1]

В настоящее время муниципальные целевые программы играют большую роль в развитии как отдельно взятой территории, так и Российской Федерации в целом.

Основным, зачастую единственным, источником финансирования муниципальных целевых программ является государство. Следовательно, от уровня эффективности использования выделенных средств в значительной степени зависят рост качества жизни населения, устойчивость социально-экономической системы регионов и государства в целом.

В России в настоящее время на реализации находится свыше 1,5 тысяч целевых программ. В каждом регионе реализуются в среднем от 20 до 30 программ. Доля бюджета, расходуемая на эти программы, варьируется от 40% до 70%. Например, в Тульской области в 2018 году на реализации находилось 30 программ, доля финансирования составляла – 96,1% [2], в Москве на реализацию государственных про-

грамм в 2019г израсходовано 90,8% бюджета (в 2018 году 91,5%), в Пермском крае в реестр программ за 2018-2019г входит 18 позиций, а доля бюджета, выделяемая на их реализацию, превышает 97%.

Поэтому вопрос контроля денежных потоков, расходуемых на целевые программы, требует особого внимания и изучения.

Большая часть целевых программ направлены на повышение качества жизни населения. Качество жизни населения – это сложное многомерное понятие. Оно включает в себя как объективные характеристики, так и субъективное восприятие человека. К основным показателям качества жизни относят более 10 показателей. Но если обратиться к пирамиде Маслоу, то можно сделать вывод, что качество образования, культуры и социальных услуг следуют за комфортным жилищем и безопасностью. Отсюда следует особая роль сферы строительства при разработке целевых программ различного уровня.

В сфере строительства основными направлениями являются улучшение жилищных условий населения, создание качественных и безопасных дорог.

Особое значение для повышения социально-экономической эффективности строительства объектов социальной инфраструктуры имеет выбор подрядчика.

В настоящее время выбор подрядных организаций для выполнения работ по целевой программе осуществляется через систему тендеров. При выборе кандидатов существенную роль играет не только представленный проект и сметная стоимость работы, но и надежность компании.

Для оценки надежности компании чаще всего выставляются следующие критерии: компания должна существовать не менее определенного количества лет (чаще не менее 5), должна быть способна внести обеспечительный платеж (или заменить его на банковскую гарантию). Так же проверяется судебная история компании через открытые источники.

При строительстве перед подписанием акта выполненных работ на каждом этапе проводят лабораторные исследования. Эксперты дают заключение о качестве выполнения.

В настоящее время в некоторые контракты начали вводить систему гарантийного удержания. Эта система позволяет заказчику не выплачивать всю сумму по договору сразу, а оставлять часть денежных средств в обеспечение обязательств исполнителя. В частности, в случае выявления брака за счет этих средств должны быть устранены последствия некачественной работы.

Данные меры для обеспечения надежности системы строительства социальных объектов кажутся надежными. Но лишь на первый взгляд. Так как каждая мера имеет серьёзные недостатки и, даже в совокупности, не может дать 100% гарантии качества выполнения, а иногда выполнения работ в полном объеме.

Проанализируем каждый из применяемых в настоящее время критериев для выбора подрядной организации:

а) время существования компании на рынке.

Данный критерий помогает отсеять молодые компании без опыта работы, однако, существование компании на рынке на протяжении длительного времени не является показателем её надежности, так как компания могла не работать, а просто существовать. Например, если компания существует 7 лет на рынке, а фактически работает 2 года, она не будет снята с участия в тендере. В открытых источниках можно проследить историю представленных в налоговую инспекцию сведений, например, объем выручки и размер баланса. Однако увеличить эти показатели можно без увеличения объема работ. В частности, при получении кредита в 100 рублей размер валюты баланса увеличивается на 100 руб. Вместе с тем не редкими являются случаи передачи части работы «аффилированным» компаниям.

Рассмотрим ситуацию на примере: Компания 1 в 2018 году получила крупный заказ на 150 тыс. руб. А в 2019 году выиграла тендер на работу стоимостью 200 тыс. руб. С 2х заказов компания получила бы прибыль 84 тыс. руб. и заплатила бы в бюджет 56 тыс. руб. в виде налога на прибыль и налога на добавленную стоимость. Но компания отдаёт в субподряд часть работ Компании 2. В итоге и Компания 1, и Компания 2 за два года показывает прибыль в размере 42 тыс. руб. и платит в бюджет по 28 тыс. руб., что в целом не меняет общей суммы поступления в бюджет. У Компании 1 для этого могло бы быть несколько оснований. Во-первых, компания может иметь объем годовой выручки близкую к 400 млн рублей. И если она отразит полный объем выручки по указанным работам, то попадёт под обязательный аудит. Во-вторых, Компания 1 может планировать уходить с рынка, так как на ней уже много гарантийных обязательств и руководителям нужна новая организация для продолжения коммерческой деятельности. Но не зависимо от причин мы получаем Компанию 2 не действующую фактически, но имеющую обороты в 2018 году и 2019 году.

б) обеспечительный платёж

Система обеспечительного платежа предполагает внесение участниками тендера залога за участие. Его размер может доходить до 5% от суммы контракта (в большинстве случаев 5%). Полагаю, что данная

мера ограждает заказчика лишь от мелких компаний. Так как организации с маленьким запасом оборотных средств скорее всего не имеют возможности высвободить необходимую сумму для участия в конкурсе, победа в котором не гарантирована. Однако размер величина размера компании не прямо пропорциональна величине её благонадёжности. Так, например, организации выполняющие работы по запатентованным технологиям не могут быстро вырасти в силу свой уникальности. Таким компаниям сложно найти сотрудников, большую часть нужно обучать; оборудование чаще всего приходится создавать или дорабатывать. Данный платеж можно заменит банковской гарантией. Получить её без залога можно, если обороты компании соответствую её величине. То есть в этом способ так же отсеивает компании лишь по их величине.

в) судебная история организации

Проверка судебной истории по открытым источникам также не позволит сделать безоговорочных выводов о благонадежности компании. Например, иск от поставщика в связи с неоплатой не может говорить о недобросовестности компании. Ведь организация могла сама не получить оплату от заказчика в назначенный срок, соответственно не иметь финансовой возможности рассчитаться по своим долгам. Или компания не оплатила материалы, так как сочла их не качественными или не согласна с объемом работ выставленными поставщиком, но в досудебном порядке решить этот вопрос не удалось. Так же одной из причин необоснованности использования данного метода проверки являются особенности строительной сферы.

г) лабораторные исследования

Введение лабораторных исследований в оценку работы повысила качество её выполнения. Однако в строительной сфере есть немалое количество скрытых работ провести экспертизу которых не всегда возможно. Во время проведения исследований всегда существует выборка. Значит, что качество бетона, используемого при заливке опор может быть разной, а экспертное заключение будет одно. Так же, например, при строительстве дорожного полотна, после прохождения экспертизы толщина предшествующего слоя может быть изменена перед укладкой последующего.

д) гарантийные обязательства

Компании, после выполнения контракта, оставляют гарантийные обязательства. Организации согласно условиям контракта, обязуются выполнить гарантийный ремонт в случае выявления брака строительства. Однако, если компания прекратит своё существование или будет находится в стадии банкротства, то будет не способна выпол-

нить свои обязательства. И устранять последствия государство должно будет за счёт бюджетных средств.

е) гарантийное удержание

В рамках государственных контрактов в настоящее время, кроме гарантийных обязательств всё чаще встречается пункт о гарантийном удержании. Сумма удержания, как правило, составляет 5% от суммы выполненных работ. Средства, остающаяся у заказчика в резерве, способны покрыть расходы на небольшие недочёты, выявленные после окончания работ. Но на устранение серьёзного брака придётся выделять дополнительные средства.

В качестве практического доказательства вышеперечисленных проблем, можно привести еще один пример.

Так, 19.12.2019г Арбитражный суд Тульской области удовлетворил иск Управления по транспорту и дорожному хозяйству администрации г.Тулы к ООО «Зинтнер» в размере 2 744 824 рублей 42 копеек. Исковое требование подано в вязи с неисполнением подрядчика гарантийных обязательств. Они возникли в следствии обнаружения дефектов дорожной разметки, мешающие нормальной эксплуатации объекта в течении гарантийного периода. Взыскиваемые средства должны были быть направлены на устранение дефектов путем нанесения новой разметки. Однако данные денежные средства не были получены на данный момент. И вряд ли будут взысканы, так как ООО «Зинтнер» в 2009 году получила прибыль в размере 2,3 млн рублей, а сумма исковых требований к компании превышает 4,3 млн рублей. Так же у организации имеется задолженность по налогам и сборам в размере 2,8 млн рублей.

Поэтому из бюджета тульской области потребуется выделить дополнительные 2,7 млн рублей для нанесения новой дорожной разметки. Это будет необходимо сделать, так как по данным ОГИБДД УМВД России по г. Туле за период с 01.01.2018 по 20.08.201, количество дорожно-транспортных происшествий в виде наезда на пешехода/велосипедиста на территории, находящихся на гарантийном обслуживании у Подрядчика, где сопутствующим условием явилось отсутствие, плохая различимость горизонтальной дорожной разметки проезжей части, составило - 23 случая [3]. А требования к безопасности дорог являются одними из важнейших критериев качества жизни.

Данная сумма могла бы покрыть расходы на Ремонт автомобильной дороги (асфальтирование) ул. Е.Волкова в пос. Барсуки г. Тула. Что существенно улучшило бы качество жизни жителей поселка. Так как качественная подъездная дорога отвечает и требованиям безопасности жителей, и требованиям удобства как жителей, так и граждан

ведущих экономическую деятельность на территории посёлка. На данный момент проект ремонта размещён на портале «народный бюджет», так как финансирования из бюджета на него не предусмотрено.

Только по государственной программе Тульской области «Модернизация и развитие автомобильных дорого общего пользования в Тульской области» в 2020 году выделено более 7 млрд рублей. Значит, если только в 1% случаев будут возникать случаи невозможности истребования гарантийного ремонта или выплаты компенсации, то из бюджета потребуется выделить не менее 70 млн. рублей на повторное исполнение контракта.

Развитие дорожного полотна улучшает экономические связи между регионами и муниципалитетами, коммуникации граждан. Обслуживание дорог путём своевременного нанесения разметки, уборка дорожного полотна и очистка от обледенений напрямую связаны с безопасностью людей.

Все эти факторы, на которые влияет дорожное строительство, в значительной степени определяют качество жизни населения.

Выводы и рекомендации:

Сфера строительства определяет качество жизни. Анализ показал, что существую проблемы в данной области.

Используемые в настоящее время критерии и механизмы выбора на подрядные работы организаций-исполнителей не дают гарантии благонадежности данных компаний. Наиболее эффективным из описанных способов является экспертиза. Но она осуществляется в ходе выполнения работ, а значит, в случае выявления брака, потери от сотрудничества с организацией, не способной выполнить работу, будут не только временны́е, но и материальные.

Слабая система отбора компаний для выполнения целевых программ приводит к повышению расходов на каждую из них. Завышенные траты приводят к нерациональному использованию бюджетных средств. Финансовые ресурсы, которые в настоящее время выделяются из федерального фонда на исправление работ, ремонт некачественных построек или замену подрядчика могли бы быть израсходованы на улучшение иных показателей качества жизни.

Проанализировав данную ситуацию, следует предложить создание нового федерального агентства для выполнения целевых программ в сфере строительства и контролем качества исполнения. Данный орган исполнительной власти позволит не искать для каждого контракта новую компанию и не проводить оценку её благонадёжности, что позволит сократить сроки исполнения целевых программ и значительно снизить стоимость её реализации.

Такое агентство, входящее в состав министерства строительства и проверяемая иными органами власти, станет более надёжным исполнителем, чем коммерческие предприятия, которые могут уйти с рынка, избегая финансовой и практической деятельной ответственности за негативные результаты. На региональном уровне главным контролирующим органом станет комитет региона по градостроительству.

Необходимость целевых программ, нацеленных на улучшение качества жилищных условий и безопасности дорог будет всегда, так как повышение качества жизни неразрывно связано с улучшением обитаемой среды. Из этого следует, что идея создания такого федерального агентства будет иметь долгосрочные перспективы.

Библиографический список

1. *Слободян, Е. Федеральный бюджет на 2020 год и плановый период 2021-2022 гг. Инфографика [электронный ресурс]/ Е. Слободян//Аргументы и факты, 2019 – URL: https://aif.ru/sport/winter/tuktamysheva_pobedila_na_etape_gran-pri_po_figurnomu_kataniyu_v_moskve (Дата обращения: 05.11.2020)*
2. *Сводный доклад об оценке результативности и эффективности государственных программ Тульской области за 2018 год [Электронный ресурс] // Правительство Тульской области – 2020 – URL: https://tularegion.ru/ ViewerJS/#../upload/iblock/72f/72fba24d963efaaa1c02dc3f391879e0.pdf*
3. *Решение арбитражного суда Тульской области по делу № А68-11546/2018 [Электронный ресурс] //Арбитражный суд Тульской области – 2019 – URL: https://kad.arbitr.ru/Document/Pdf/90081981-2809-490f-8e0d-072383e0c1a5/17fd41dc-0e12-401d-9f80-2bcc349281b9/A68-11546-2018_20191219_ Reshenija_i_postanovlenija.pdf?isAddStamp=True*

АКТУАЛЬНОСТЬ РАЗВИТИЯ КОНЦЕПЦИИ УСТОЙЧИВОГО РАЗВИТИЯ ДЛЯ КРУПНЫХ ИНФРАСТРУКУРНЫХ ОБЪЕКТОВ

Гончарова А.Р.,
ООО «Грузовая компания «Новотранс», г. Москва,

Деятельность компаний различных отраслей, ориентированных на экспорт-импорт продукции должна учитывать основные тенденции пространственного устойчивого социально-эколого-экономического развития.

Современный этап развития России характеризуется реализацией крупных проектов, связанных с созданием высокотехнологичных

инфраструктурных объектов в различных сферах экономики. Функциональные инфраструктурные объекты морских портов РФ, имеют стратегическое значение для социально-экономического развития страны и ее промышленного комплекса, обеспечивая его внутренние и внешние экспортно-импортные потребности, становятся активным участником процесса обслуживания грузопотоков.

Стратегические планы развития компаний и отраслей российской промышленности, ориентированных на морские перевозки грузов, должны увязываться с инвестиционными проектами создания и увеличения мощности инфраструктурных объектов морских портов, деятельность которых, в свою очередь, должна обеспечить ликвидацию транзитных ограничений при соблюдении качества окружающей природной среды.

Достаточность транспортных коммуникаций и приемлемость качества окружающей природной среды являются в настоящее время важнейшими направлениями государственной политики.

Важнейшим направлением в решении проблемы ликвидации транзитных инфраструктурных ограничений федерального значения является развитием портов-хабов для перевалки навалочных (угля, руды и др.) насыпных (зерновых) и генеральных грузов, в том числе для обслуживания международных транспортных коридоров. Около 80 % мировых внешнеторговых сделок обеспечиваются функционированием портовой инфраструктуры.

Текущее состояние экологической политики в области создания морской транспортной инфраструктуры и портового бизнеса характеризуется отсутствием взаимосвязи между экологическими, экономическими и социальными аспектами функционирования транспортного комплекса.

Несмотря на соблюдение основных экологических требований и нормативов, с течением времени эксплуатация морских терминалов неизбежно сопровождается негативным воздействием на окружающую природную среду и, как следствие, приводит к возникновению эколого-экономических ущербов и рисков, которые не получили адекватного отражения в результатах хозяйственной деятельности портов и стратегических планах их развития. Современные проекты морских терминалов характеризуются незавершенностью экономических процессов стратегического управления в отношении природопользования и природоохраны.

Достаточная пропускная способность инфраструктурных объектов стратегического значения и приемлемость качества окружающей природной среды становятся важнейшими направлениями государст-

венной стратегии социально-эколого-сбалансированного и устойчивого развития страны, ее регионов, промышленности и других экономических систем различного уровня.

В связи с этим, эколого-экономическое обоснование и выбор природоохранных мер при реализации проектов развития инфраструктурных объектов стратегического значения на основе верификации и оценки экологических рисков для последующего их страхования является актуальной научной задачей, требующей своевременного решения.

Значимость данного исследования возрастает с учетом принятой «Стратегии пространственного развития Российской Федерации на период до 2025 года» и развития рыночных механизмов экологического страхования рисков природопользования.

Значительный научный и практический вклад в изучение вопросов обоснования экологически рациональных решений и формирования подходов к эколого-экономической оценке устойчивости развития функционирующих терминалов внесли многие отечественные и зарубежные ученые.

Зарубежные исследования больше внимания уделяют «зеленым технологиям», формированию требований к «зеленым портам», мониторинговым процессам по видам ресурсов, имея в виду жесткое следование природоохранному законодательству. Однако ряд проблем, связанных с одновременным учетом экономических, экологических, социальных и технических факторов, обусловливающих эффективность хозяйственных решений при функционирвании инфраструктурных объектов с позиций минимизации накапливаемых эколого-экономических рисков, требуют отдельных исследований.

Разработка методического подхода к экономическому обоснованию и выбору природоохранных мер на основе оценки эколого-экономиических рисков для принятия решений, позволяющих повысить устойчивость развития и эффективность управления экономическими процессами природопользования крупных инфраструктурных объектов стратегического значения – актуальная и нерешенная до настоящего времени научная задача.

Для решения данной задачи необходимо:

- проанализировать современные тенденции развития инфраструктурных портовых объектов (в РФ и за рубежом);

- исследовать научные подходы к эколого-экономической оценке решений, позволяющих повысить эффективность управления экономическими процессами придопользования инфраструктурных портовых объектов;

- выявить и систематизировать факторы, влияющие на возникновение эколого-экономических ущербов и рисков в процессе функционировния инфраструктурных портовых объектов в условиях изменений внутенней и внешней среды;

- обосновать критерий эколого-экономической оценки решений, направленных на повышение эффективности управления экономическими процессами природопользования инфраструктурных портовых объектов;

- разработать методический подход к выбору варианта природоохранных мер, позволяющий повысить эффективность управления экономическими процессами природопользования для инфраструктурных объектов.

Верификация, комплексный учет и оценка эколого-экономических ущербов и рисков с учетом их проявления и динамики для управления (регулирования) экономическими процессами природопользования на объектах портовой инфраструктуры стратегического значения позволит снизить экологические риски развития территории в районах их расположения.

Основными методологическими принципами, определяющими новый подход к концепции устойчивого развития крупных инфраструктурных объектов стратегического значения базируются на следующем:

1. Научно обоснованное формирование перечня эколого-экономически приемлемых управленческих решений по выбору природоохранных мер *для* морского торгового терминала следует осуществлять с учетом выявленной совокупности факторов и взаимосвязей, позволяющих идентифицировать эколого-экономические ущербы по основным процессам деятльности и отражающих возможности повышения его экологической безопасности

2.Эколого-экономическую оценку рисков развития морского торгового терминала необходимо проводить на основе обоснованного критерия, представленного разработанной экономико-математической моделью, включающей систему экологических, экономических и социальных ограничений, с учетом динамики изменения уровня загрязнения, грузооборота (качественного, объемного) и выявленных факторов, влияющих на формирование эффектов и издержек.

3. Выбор эколого-экономически эффективных решений при функционировании инфраструктурных объектов рекомендуется осуществлять с использованием механизма, включающего экономико-математическую модель оценки экологических рисков (эколого-экономических эффектов и издержек с учетом выставляемых ограни-

чений), предложенный инструментарий перераспределения рисков в динамике для различных видов грузоперевозок.

Возможность применения разработанного механизма, позволяющего осуществлять выбор экономически эффективных и экологически рациональных решений для функционирующего морского торгового терминала с включением процедуры перераспределения экологических рисков при страховании обеспечит наличие средств на ликвидацию экологических аварий и стимулирует компании внедрять зеленые технологии.

МЕХАНИКА МАТЕРИАЛОВ И СТРОИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ

УДК 539.3: 624.073

ОБ ОСОБЕННОСТЯХ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО ОПРЕДЕЛЕНИЯ ДЕФОРМАЦИОННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК КОМПОЗИТНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Трещев А.А.
Тульский государственный университет, г.Тула, Россия

Анализируются традиционные методики обработки экспериментальных данных по нагружению тонкостенных трубок - цилиндрических оболочек, используемые для оценки справедливости обобщенного закона Гука для определенного класса материалов. Отмечено, что эти методики, основанные на независимости законов объемного изменения и формы при нулевой разности фаз, для композитных материалов требуют существенной корректировки.

Ключевые слова: цилиндрическая оболочка, трубчатый образец, модули упругости, коэффициенты поперечной деформации, фазовая характеристика, кручение, давление, осевая нагрузка.

Методики экспериментального определения деформационных характеристик материалов основаны на универсальности данных по нагружению тонкостенных цилиндрических оболочек, т. е. трубчатых образцов. Конструкция опытных образцов широко известна и принята по типу цилиндрической оболочки с торцовыми участками удобными для закрепления в штатных захватах стенда [1 - 3], что обеспечивает контролируемой нагружение цилиндрического участка трубки осевым усилием $\boldsymbol{N}$, внутренним давлением $\boldsymbol{q}$ и крутящим моментом $\boldsymbol{M}$. Обработка результатов испытаний базируется на равномерном потоке напряжений по толщине трубки, что позволяет легко вычислять напряжения. Принятая координатная система такова, что ось $\boldsymbol{x_1}$ является образующей оболочки, ось $\boldsymbol{x_2}$ – направляющей, а ось $\boldsymbol{x_3}$ – радиусом.

При этом компоненты тензора напряжений на расчетной части оболочки вычисляются следующим образом:

$$\sigma_{11} = N/(\pi h_0 d_0); \qquad \sigma_{22} = d_0 q/(2h_0);$$
$$\tau_{12} = 2M/(\pi h_0 d_0^2); \qquad \sigma_{33} = \tau_{23} = \tau_{13} = 0, \tag{1}$$

где d_0 – исходный размер диаметра средней поверхности трубки; h_0 – исходный размер толщины стенки оболочки.

Напряжения (1), вычисленные по результатам испытания трубок, являются контролируемыми [1 – 3]. Изменение параметров нагружения позволяет получить ожидаемые величины возникающих напряжений. Доказано [1 – 15], что в сечениях тонких трубок максимально просто реализуются однородные напряженные состояния, среди которых возможно по усмотрению исследователя частично изменять независимые параметры напряжений. Изменение соотношения напряжений благодаря регулированию силовых воздействий дает возможность проследить широкий интервал изменения фаз напряжений.

Контролируя силовые загружения и рассчитывая по ним напряжения (1) получаем естественные инварианты девиаторной плоскости:

$$\sigma = (\sigma_{11} + \sigma_{22})/3; \qquad 4{,}5\tau^2 = \sigma_{11}^2 - \sigma_{11}\sigma_{22} + \sigma_{22}^2 + 3\tau_{12}^2;$$
$$\tau^3 Cos3\varphi = -\sqrt{2}\sigma(\sigma_{11} - \sigma)(\sigma_{22} - \sigma), \tag{2}$$

где $Cos3\varphi = \sqrt{2}\det S_{ij}/\tau^3$ – фазовый инвариант; $S_{ij} = \sigma_{ij} - \sigma\delta_{ij}$ – девиатор напряжений.

Экспериментальные исследования механики материалов принято проводить по упрощенным программам испытаний: ***q***-опыты; ***M***-опыты; ***N***-опыты. Дополнительно осуществляют комбинированные исследования: ***q***~***M***-опыты; ***N***~***M***-опыты; ***N***~***q***-опыты; ***N***~***M***~***q***-опыты. В программе ***N***-опытов ненулевой оказывается одно продольное усилие и поэтому, получим:

$$\sigma_{11} = N/(\pi h_0 d_0) = t; \qquad \sigma_{22} = \tau_{12} = 0; \qquad \sigma = t/3;$$
$$\tau = \sqrt{2}|t|/3; \qquad Cos3\varphi = Sign(t). \tag{3}$$

Программа ***q***-опытов дает ненулевые напряжения σ_{22}:

$$\sigma_{11} = \tau_{12} = 0; \qquad \sigma_{22} = d_0 q/(2h_0) = p; \qquad \sigma = p/3;$$
$$\tau = \sqrt{2}|p|/3; \qquad Cos3\varphi = Sign(p). \tag{4}$$

Программа ***M***-опытов приводит к ненулевым напряжениям τ_{12}:

$$\sigma_{11} = \sigma_{22} = 0; \qquad \tau_{12} = 2M/(\pi h_0 d_0^2) = \tau_0; \qquad \sigma = 0;$$
$$\tau = \sqrt{2/3}\tau_0; \qquad Cos3\varphi = 0. \tag{5}$$

Для комбинированных ***N*~*q***-опытов справедливы значения:

$$\sigma_{11} = N/(\pi h_0 d_0) = t;\ \sigma_{22} = d_0 q/(2h_0) = p;\ \tau_{12} = 0;\ \sigma = (t+p)/3;$$

$$4{,}5\tau^2 = t^2 - tp + p^2; \qquad (3\tau^3)Cos3\varphi = -\sqrt{2}(t+p)(2p-t). \qquad (6)$$

В опытах ***N*~*q***, если принято $p = 0$ и $t > 0$, то $\varphi = 0$, а если $p > 0$ и для $t = kp$ при $k = -1$, имеем $\sigma = 0$, $\tau = \sqrt{2/3}p$, $\varphi = \pi/6$, что возникает при чистом сдвиге. Если принять $k = 1$, то получим $\sigma = 2p/3$, $\tau = \sqrt{2}p/3$, $Cos3\varphi = -1$. Отсюда видно, что даже в ***N*~*q***-опытах реализуется возможность исследовать весь интервала существования фазы напряжений.

Достижение состояния цилиндрической оболочки близкого к однородному в процессе осевого сжатия может не реализоваться из-за возможного выпучивания стенки, что нарушит программу эксперимента. В связи с этим, экспериментальные исследования требуется проводить с использованием комбинированных опытов, реализующих различные фазы напряжений даже для классических материалов, в том числе, вызванные кручением трубок моментами ***M***.

В рассмотренных опытах наряду с расчетом напряжений и фаз всегда выполняют измерения, которые позволяют вычислять деформации и их инварианты. При обработке результатов постулируется однородность деформаций по толщине оболочки. При измерениях продольных, поперечных и сдвиговых деформаций (e_{11}, e_{22}, $2e_{12} = \gamma_{12}$) трубчатых образцов отсутствуют какие-либо трудности. Некоторая недосказанность остается при установлении деформаций по толщине стенки трубки e_{33}. Причина этого кроется в малой базе, когда точность измерений по толщине при деформировании существенно уменьшается, и поэтому большинство экспериментальных работ [1 – 15] оперируют с e_{33} по гипотетическому закону. Зачастую принимается закон линейного изменения объема, т. е.

$$e_{33} = -(e_{11} + e_{22}) + (\sigma_{11} + \sigma_{22})/(3K), \qquad (7)$$

где $K = E/[3(1-2\nu)]$ – объемный модуль упругости; E, ν – модуль Юнга и коэффициент Пуассона, традиционно вычисляемые из одноосных опытов со стержневыми образцами.

Установив по экспериментальным данным деформации e_{11}, e_{22}, $2e_{12} = \gamma_{12}$ и приняв их условия (7) величины e_{33}, учитывая, что $e_{13} = e_{23}$, получаем естественные инварианты деформаций:

$$Э = \gamma/2; \quad Э^3 Cos3\theta = \sqrt{2}\begin{vmatrix} e_{11}-e & e_{12} & 0 \\ e_{12} & e_{22}-e & 0 \\ 0 & 0 & e_{33}-e \end{vmatrix}; \quad 3e = \frac{\sigma_{11}-\sigma_{22}}{3K}; \qquad (8)$$

$e=(e_{11}+e_{22}+e_{33})/3$; $\qquad 9Э^2=(e_{11}-e_{22})^2+(e_{22}-e_{33})^2+(e_{33}-e_{11})^2+6e_{12}^2$,

где b – фаза деформации.

Подтверждение известных деформационных законов характеризуется установлением связей t с g и j с b при различных сочетаниях напряжений и деформаций, развивающихся в стенках трубчатых образцов. В частности для классического материала такого, как малоуглеродистая сталь удовлетворительно подтверждается гипотеза о совпадении фаз напряжений и деформаций, а в крайних точках одноосного растяжения и сжатия имеется абсолютное их совпадение. Эта гипотеза представляется весьма грубой для композитов (неметаллов). В случае принятия линейного закона объемного деформирования, обнуление фазовой разности, принятие коллинеарности главных осей напряженного и деформированного состояний, должна выполняться однозначность связи октаэдрических касательного напряжения и сдвига при различных фазах. В этом случае удельная работа напряжений формулируется как сумма произведений главных напряжений на вариации главных деформаций, либо записать обратную зависимость как сумму произведений деформаций на вариации напряжений:

$$dU=dW=s_k de_k=e_k ds_k. \qquad (9)$$

Связь главных напряжений и деформаций с универсальными инвариантами позволяет преобразовать вариацию (9) к виду:

$$dU=dW=(s+\sqrt{2}t\,Cos\,j_k)d(e+\sqrt{2}Э Cos\,b_k)=$$
$$=(e+\sqrt{2}Э Cos\,b_k)d(s+\sqrt{2}t\,Cos\,j_k). \qquad (10)$$

Раскрытие вариаций приводит к зависимостям:

$$dU=3s\,de+3t\,[Cos(j-b)dЭ+Sin(j-b)Э db]=$$
$$=dW=3e\,ds+3Э[Cos(j-b)dt-Sin(j-b)t\,dj]. \qquad (11)$$

При справедливости гипотезы о совпадении фаз вариации (11) сводятся к виду:

$$dU=3s\,de+3t\,dЭ; \qquad dW=3e\,ds+3Э\,dt, \qquad (12)$$

а условия существования упругих потенциалов $\partial s/\partial Э=\partial t/\partial e$ и $\partial Э/\partial s=\partial e/\partial t$ для линейного закона объемной деформации

$$s=3Ke, \qquad (13)$$

требует проявления связи t только с $Э$, т. е.:

$$t=2GЭ=Gg. \qquad (14)$$

Приведенные рассуждения достаточно противоречивы для экспериментального анализа структур, жесткостные параметры которых меняются в зависимости от вида напряженного или деформированного состояний. Среди таких материалов зачастую встречаются композиционные материалы, полимеризованные, фиброармированные и зерни-

стые. Подобные материалы не подчиняются гипотезам несвязанности закона объемного от сдвигового деформирования и о равенстве фаз напряжений и деформаций, а это противоречит фундаментальным уравнениям (13), (14), в то время как $w = j - b^{1}0$ [1 – 3]. Таким образом, планирование и проведение механических испытаний трубчатых образцов для любых серий ***N*~*M*~*q***-опытов требует особой тщательности. При проведении измерений в ***M***-опытах наряду с установлением деформаций сдвига $2e_{12} = g_{12}$ требуется вычисление деформаций e_{11}, которые в классической механике отсутствуют, а проведение иных опытов требуется в комплексном аспекте. Сущность противоречия классических данных по НДС трубчатых образцов становится очевидной при нагружении тонкостенных цилиндрических оболочек, изготовленных из материалов с зависимостью физико-механических свойств от вида реализуемого напряженного состояния.

В работах [16 – 20] продемонстрирована универсальность определяющих соотношений для указанных материалов в виде двух форм потенциала деформаций:

$$W = 0{,}5[(A + Ba_1)s_1^2 + (A + Ba_2)s_2^2 + (A + Ba_3)s_3^2] + [C + Ea_3 + D(a_1 + a_2)]s_1 s_2 +$$
$$+[C + Ea_1 + D(a_2 + a_3)]s_2 s_3 + [C + Ea_2 + D(a_1 + a_3)]s_1 s_3; \qquad (15)$$

$$W = (\tilde{b}_1 + \tilde{b}_3 x)s^2 + (\tilde{b}_2 + \tilde{b}_4 x + \tilde{b}_5 h\, Cos3j)t^2, \qquad (16)$$

где $a_k = s_k / S$; $S = \sqrt{s_k s_k}$; $Cosy = x = s / S_0$; $Siny = h = t / S_0$; $S_0 = \sqrt{s^2 + t^2}$; $S_0 = S/\sqrt{3}$; $a_1 + a_2 + a_3 = \sqrt{3}x$; $a_k a_k a_k = (3x^3 + 9xh^2 + 1{,}5\sqrt{2}h^3 Cos3j)/\sqrt{3}$; $Cos3j = \sqrt{2}\det(S_{ij})/t^3$; $S_{ij} = s_{ij} - d_{ij}s$; $\tilde{b}_1 = 1{,}5(A + 2C)$; $\tilde{b}_2 = 1{,}5(A - C)$; $\tilde{b}_3 = 1{,}5(B + 4D + 2E)/\sqrt{3}$; $\tilde{b}_4 = 4{,}5(B - E)/\sqrt{3}$; $\tilde{b}_5 = 0{,}75(B - 2D + 2E)\sqrt{2}/\sqrt{3}$; $A = 0{,}5(1/E^+ + 1/E^-)$; $B = 0{,}5(1/E^+ - 1/E^-)$; $C = -0{,}5(n^+/E^+ + n^-/E^-)$; $D = -0{,}5(n^+/E^+ - n^-/E^-)$; $E = 0{,}25\sqrt{3}[(1 - 2n^+)/E^+ - (1 - 2n^-)/E^-] - 0{,}25[(1 - 4n^+)/E^+ - (1 - 4n^-)/E^-]$; $E^{\pm}$, $n^{\pm}$ – модули упругости и коэффициенты поперечной деформации, соответствующие одноосным растяжению и сжатию.

Связь тензоров напряжений и деформаций, вытекающая из потенциала *W* устанавливается по формулам Кастильяно:

$$e_{ij} = 1/3\{2[\tilde{b}_1 + \tilde{b}_3 x(1 + 0{,}5h^2)] + (\tilde{b}_4 h^2 + 1{,}5\sqrt{2}\tilde{b}_5)h^2/x -$$
$$- \tilde{b}_5 h^3 \cos 3j\}s d_{ij} + 1/3\{2(\tilde{b}_2 + \tilde{b}_4 x + \tilde{b}_5 h \cos 3j) - \qquad (17)$$
$$- (\tilde{b}_3 x^2 + \tilde{b}_4 h^2)x - \tilde{b}_5(3 - hx^2)\cos 3j + 3\sqrt{2}\tilde{b}_5 m_{lj}\}S_{ij},$$

где $m_{lj} = l_{ij}/S_{ij}$; $l_{ij} = D_{ij}/S_0$; D_{ij} - минор для компонента S_{ij}.

Из уравнений состояний (17) вытекают обобщенные деформационные законы для конструкционных материалов:

$$e = \sigma / 3K_0 + \tau / 3D_0; \qquad Э = \sqrt{1 + tg^2\omega}(\tau / 2G_0 + \sigma / 3D_0);$$

$$tg\omega = 3\tilde{b}_5 \eta Sin3\varphi / (3\eta / 2G_0 + \xi / D_0), \tag{18}$$

которые не соответствуют, а скорее опровергают уравнения (13), (14), являющиеся незыблемыми для классической механики. В записи (18) фигурирует параметр K_0, G_0 и D_0, названные обобщенными «модулями» объемной деформации, формоизменения (сдвига) и дилатации (это не константы, а нелинейные функции, зависящие от вида напряженного состояния): $K_0 = 1/[2\tilde{b}_1 + \tilde{b}_3\xi(2+\eta^2) - \tilde{b}_5\eta^3 Cos3\varphi]$; $D_0 = 1/\tilde{b}_4\eta^3$; $2G_0 = 3/[2\tilde{b}_2 + \xi^3(2\tilde{b}_4 - \tilde{b}_3) + \tilde{b}_5\eta^3(2+\xi^2)Cos3\varphi]$.

Рассматривая круговую цилиндрическую оболочку с тонкими стенками из композитного материала, расположение каждой точки в средней криволинейной поверхности принято определять координатами Гаусса ξ_1, ξ_2 и ξ_3. Принимая оболочку длиной l, радиусом кривизны поверхности R, толщиной стенки h, подвергающуюся чистому кручению и обозначая осевые перемещения срединной поверхности через u, окружные – через υ, а перемещения вдоль радиуса через w, приведем параметры Ляме и главные кривизны к виду: $\tilde{A} = 1$; $\tilde{B} = R$; $k_1 = 0$; $k_2 = R^{-1}$, где R – радиус срединной поверхности оболочки.

Произведем замену координат поверхности оболочки следующим образом: $x_1 = \xi_1$, $x_2 = \xi_2$, $x_3 = \xi_3$. Очевидно, что координата x_1 направлена по образующей, x_2 – по направляющей, а x_3 – по радиусу кривизны поверхности из центра. Примем одно торцовое сечение оболочки при $x_1 = 0$ жестко защемленным, а второе – при $x_1 = l$ загруженным крутящим моментом с равномерно распределением сдвигающих усилий интенсивностью $S = h\tau_0$ (чистое кручение образца в M-опытах), где τ_0 - равномерные касательные напряжения по толщине сечения при $x_1 = l$. В этом случае, совершенно ясно, что обе цилиндрические поверхности оболочки находятся в незагруженном состоянии. Подобные состояния соответствуют плоскому обобщенному напряженному состоянию. Поэтому очевидны нулевые значения напряжений $\sigma_{33} = \tau_{13} = \tau_{23} = 0$ с характерными граничными условиями: $u = 0$, $\upsilon = 0$ при $x_1 = 0$; $\sigma_{11} = 0$, $\tau_{12} = \tau_0$ при $x_1 = l$.

При осесимметричном загружении оболочки, отличные от нуля напряжения зависят только от координаты x_1. Фундаментальные урав-

нения равновесия [1] в принятой координатной системе выглядят следующим образом

$$\sigma_{11,1} = 0; \quad \tau_{12,1} = 0; \quad \sigma_{22}/R = 0. \tag{19}$$

Элементарное решение уравнений (19) при соответствующих граничных условиях сводится к виду:

$$\sigma_{11} = 0; \quad \sigma_{22} = 0; \quad \tau_{12} = \tau_0. \tag{20}$$

Равенствами (20) полностью характеризуется напряженное состояние оболочки, а конституционные уравнения (17) преобразуются к виду:

$$e_{11} = (1{,}5B - D)\alpha_{12}^2\sqrt{2}\tau_{12}; \quad e_{22} = (1{,}5B - D)\alpha_{12}^2\sqrt{2}\tau_{12}; \quad e_{12} = (A - C)\tau_{12}, \tag{21}$$

или, учитывая (20):

$$e_{11} = (1{,}5B - D)\sqrt{2}\tau_0/2; \quad e_{22} = (1{,}5B - D)\sqrt{2}\tau_0/2; \quad e_{12} = (A - C)\tau_0. \tag{22}$$

Выбранная система координат приводит к зависимостям

$$e_{11} = u_{,1}; \quad e_{22} = w/R; \quad e_{12} = 0{,}5\upsilon_{,1}, \tag{23}$$

где $u(x_1)$, $\upsilon(x_1)$, $w(x_1)$ – продольные, окружные и нормальные осредненные перемещения.

Принимая равенства выражений (22) и (23), приходим к системе уравнений в перемещениях:

$$u_{,1} = (1{,}5B - D)\sqrt{2}\tau_0/2; \quad w/R = (1{,}5B - D)\sqrt{2}\tau_0/2; \quad \upsilon_{,1} = 2(A - C)\tau_0. \tag{24}$$

Решение уравнений (24) в сочетании с граничными условиями сводится к зависимостям:

$$u = (1{,}5B - D)\sqrt{2}\tau_0 x_1/2; \quad \upsilon = 2(A - C)\tau_0 x_1; \quad w = (1{,}5B - D)\sqrt{2}\tau_0 R/2, \tag{25}$$

или $u = [(3+2\nu^+)/E^+ - (3+2\nu^-)/E^-]\sqrt{2}\tau_0 x_1/8; \quad \upsilon = [(1+\nu^+)/E^+ + (1+\nu^-)/E^-]\tau_0 x_1;$

$$w = [(3+2\nu^+)/E^+ - (3+2\nu^-)/E^-]\sqrt{2}\tau_0 R/8. \tag{26}$$

Из приведенных решений видно, что отличие классических методик экспериментального определения деформаций в ***М***-опытах для композитных материалов заключается в необходимости измерения не только угла закручивания и окружных перемещений υ, но и – остальных перемещений u и w (26), отсутствующих в стальных оболочках. Если принять частный случай, когда характеристики материалов оболочек сводятся к классическим $E^+ = E^- = E$, $\nu^+ = \nu^- = \nu$, то перемещения будут равны:

$$u = w = 0; \quad \upsilon = [2(1+\nu)/E]\tau_0 x_1. \tag{27}$$

Анализирую равенства (26) и (27) можно установить качественные различия между расчетными и экспериментально полученными характеристиками НДС оболочек, связанные с учетом разносопротивляемости композитов. Как видно из уравнений (19), при различном ха-

рактере разносопротивляемости материала ($E^+ > E^-$ или $E^+ < E^-$) оболочка в случае свободного кручения удлиняется или укорачивается, увеличивая или уменьшая диаметр, что подтверждает различия качественных картин ее НДС. К тому же, чистое кручение оболочки приводит к изменению объема: $e = \sqrt{2}\tau_0 \tilde{b}_4 /(3\sqrt{3})$, а этого не наблюдается в экспериментах с образцами из материалов типа стали [1 – 3].

В табл. 1 сведены расчетные данные для цилиндрической оболочки при чистом кручении когда $E^+ = E$, $E^- = 2E$, $\nu^+ = 0{,}1$, $\nu^- = 0{,}2$ и при $E^+ = E$, $E^- = 0{,}5E$, $\nu^+ = 0{,}2$, $\nu^- = 0{,}1$, а также при $E^- = 3{,}4E$, $\nu^+ = \nu^- = 0{,}2$ и при $E^+ = E$, $E^- = 0{,}294E$, $\nu^+ = \nu^- = 0{,}2$ («Т»). Сравнительными характеристиками могут служить приведенные в таблице расчетные результаты, вытекающие из разномодульной теории С.А.Амбарцумяна («А») [21], а также классические решения при $E = E^+$ («К$^+$»), $E = E^-$ («К$^-$») и $1/E = 0{,}5(1/E^+ + 1/E^-)$ («КО») [1].

Ррассмотренный пример демонстрирует погрешность классической теории упругости для перемещений $uE/\tau_0 x_1$ при E^-/E^+=2 или E^-/E^+=0,5, которая достигает 29,4% и зависит от величин E^-, E^+, ν^+, ν^- так, что с ростом E^-/E^+ или E^+/E^- эта погрешность увеличивается до 54,5 % (при E^-/E^+=3,4 или E^-/E^+=0,294). Различие расчетных результатов для перемещений $uE/\tau_0 x_1$ и $wE/\tau_0 R$ в моделям Т и А составляет 6 %, а для $uE/\tau_0 x_1$ наблюдается полное совпадение.

Другим примером ошибочности классических методик испытаний трубчатых образцов служит аналогичная оболочка, но загружаемая по программам ***N*~*M***-опытов. Для данных программ опытов можно представить НДС цилиндрической оболочки с аналогичными геометрическими характеристиками: длиной l, радиусом кривизны R, с толщиной стенки h и закрепленную на одном торце, а на другом – загруженную скручивающей нагрузкой усилиями $S = h\tau_0$ и растягивающей силой $N = ht$.

Рассмотренное загружение также относится к плоскому обобщено напряженному состоянию при $\sigma_{33} = \tau_{13} = \tau_{23} = 0$. Принятое закрепление оболочки приводит к граничным условиям вида:

$$u = 0,\ u = 0 \text{ при } x_1 = 0;\quad \sigma_{11} = N/h = t,\ \tau_{12} = \tau_0 \text{ при } x_1 = l. \quad (28)$$

Таблица 1.

Результаты расчета оболочки на чистое кручение

Вариант решения	n^-	n^+	E^-/E^+	uE/t_0x_1	uE/t_0x_1	wE/t_0R
K^+	0,2	0,1	2,0	0	2,2	0
КО				0	1,7	0
K^-				0	1,2	0
Т			2,0	0,265165	1,7	0,265165
А			2,0	0,25	1,7	0,25
K^+	0,1	0,2	0,5	0	2,4	0
КО				0	3,4	0
K^-				0	4,4	0
Т			0,5	-0,53033	3,4	-0,53033
А			0,5	-0,5	3,4	-0,5
K^+	0,2	0,2	3,4	0	2,4	0
K^-				0	0,706	0
K^+			0,294	0	2,4	0
K^-				0	8,163	0
Т			3,4	0,424	1,553	0,424
Т			0,294	-1,443	5,281	-1,443

В данном случае возникающие напряжения зависят от одной координаты x_1, а поэтому уравнения равновесия не изменяются и с учетом граничных условий элементарно приводят к решению для напряжений

$$s_{11} = N/h = t; \qquad s_{22} = 0; \qquad t_{12} = t_0. \tag{29}$$

Три уравнения (29) дают значения параметров напряженного состояния оболочки. При этом уравнения состояния (17) преобразуются к виду

$$\begin{aligned} e_{11} &= [A + 0{,}5B(3 + a_{11})a_{11}^2]s_{11} + (1{,}5B - D)(1 + a_{11}^2)a_{12}t_{12}; \\ e_{22} &= Cs_{11} + (1{,}5B - D)a_{12}t_{12}; \\ e_{12} &= [A - C + 0{,}5Ba_{11}^3 + (1{,}5B - D)(1 + a_{12}^2)a_{11}]t_{12}, \end{aligned} \tag{30}$$

или с учетом (29)

$$e_{11} = [A + 0{,}5B(3\sqrt{t^2 + 2t_0^2} + t)t^2/(t^2 + 2t_0^2)^{3/2}]t +$$

$$+2(1{,}5B-D)\tau_0^2/(t^2+\tau_0^2)/(t^2+2\tau_0^2)^{3/2};$$

$$e_{22}=Ct+(1{,}5B-D)\tau_0^2/(t^2+2\tau_0^2); \qquad (31)$$

$$e_{12}=[A-C+0{,}5Bt^3/(t^2+2\tau_0^2)^{3/2}+(1{,}5B-D)(t^2+3\tau_0^2)t/(t^2+2\tau_0^2)^{3/2}]\tau_0.$$

Геометрические соотношения имею вид:

$$e_{11}=u_{,1}; \qquad e_{22}=w/R; \qquad e_{12}=0{,}5\gamma_{,1}. \qquad (32)$$

Устанавливая равенства между выражениями (31) и (32), приходим к системе дифференциальных уравнений в перемещениях:

$$u_{,1}=[A+0{,}5B(3\sqrt{t^2+2\tau_0^2}+t)t^2/(t^2+2\tau_0^2)^{3/2}]t+$$

$$+2(1{,}5B-D)\tau_0^2/(t^2+\tau_0^2)/(t^2+2\tau_0^2)^{3/2};$$

$$w/R=Ct+(1{,}5B-D)\tau_0^2/(t^2+2\tau_0^2); \qquad (33)$$

$$\gamma_{,1}=2[A-C+0{,}5Bt^3/(t^2+2\tau_0^2)^{3/2}+(1{,}5B-D)(t^2+3\tau_0^2)t/(t^2+2\tau_0^2)^{3/2}]\tau_0.$$

Решение уравнений (33) с привлечением граничных условий (28), сводится к зависимостям

$$u=[A+0{,}5B(3\sqrt{t^2+2\tau_0^2}+t)t^2/(t^2+2\tau_0^2)^{3/2}]tx_1+$$

$$+2x_1(1{,}5B-D)\tau_0^2/(t^2+\tau_0^2)/(t^2+2\tau_0^2)^{3/2};$$

$$w=CRt+(1{,}5B-D)R\tau_0^2/(t^2+2\tau_0^2); \qquad (34)$$

$$\gamma=2[A-C+0{,}5Bt^3/(t^2+2\tau_0^2)^{3/2}+(1{,}5B-D)(t^2+3\tau_0^2)t/(t^2+2\tau_0^2)^{3/2}]\tau_0x_1.$$

По аналогии с предыдущим примером, принимая характеристики материалов оболочки из условий $E^+=E^-=E$, $\nu^+=\nu^-=\nu$ (для классического решения), получим перемещения таковыми:

$$u=tx_1/E; \quad \gamma=[2(1+\nu)/E]\tau_0x_1; \quad w=-R\nu t/E. \qquad (35)$$

Приведенный анализ показывает, что любые программы испытаний композитных трубчатых образцов приводят к заключению об отсутствии совпадения измеренных и вычисленных параметров НДС с аналогичными величинами, полученными по классическим подходам. Таким образом, обнаруживается противоречивость традиционных методик обработки полученных параметров и самого процесса экспериментальных исследований тонкостенных трубчатых образцов из композитов, либо из материалов с зернистой структурой. Это требует пересмотреть устоявшиеся гипотезы и методики испытаний материалов при сложных НДС.

Библиографический список

1. Толоконников Л.А. Механика деформируемого твердого тела / Л.А.Толоконников. – М.: Высшая школа, 1979. – 318 с.

2. Белл Дж.Ф. Экспериментальные основы механики деформируемых твердых тел. – Часть 1: Малые деформации / Дж.Ф.Белл. – М.: Наука, 1984. – 600 с.

3. Белл Дж.Ф. Экспериментальные основы механики деформируемых твердых тел. – Часть 2: Большие деформации / Дж.Ф.Белл. – М.: Наука, 1984. – 432 с.

4. Березин А.В. Влияние повреждений на деформационные и прочностные характеристики твердых тел / А.В.Березин. – М.: Наука, 1990. – 135 с.

5. Березин А.В. Деформируемость и разрушение изотропных графитовых материалов / А.В.Березин, В.И.Строков, В.Н.Барабанов // Конструкционные материалы на основе углерода. – М.: Металлургия, 1976. – Вып. 11. – С. 102–110.

6. Некоторые особенности методик исследования прочности свойств графитов при плоском напряженном состоянии / А.М.Фридман [и др.] // Заводская лаборатория. – 1972. – №9. – С. 1137–1140.

7. Строков В.И. Методика исследования прочностных и деформационных свойств графита в условиях сложного напряженного состояния / В.И.Строков, В.Н.Барабанов // Заводская лаборатория. – 1974. – №9. – С. 1141–1144.

8. Фридман А.М. Исследование разрушения углеграфитовых материалов в условиях сложного напряженного состояния / А.М.Фридман, Ю.П.Ануфриев, В.Н.Барабанов // Проблемы прочности. – 1973. – №1. – С. 52–55.

9. Jones R.M. Modeling Nonlinear Deformation of Carbon-Carbon Composite Materials / R.M.Jones // AIAA Journal. – 1980. – Vol. 18. – №8. – P. 995–1001.

10. Jones R.M. Stress-Strain Relations for Materials with Different Moduli in Tension and Compression / R.M.Jones // AIAA Journal. – 1977. – Vol. 15. – №1. – P. 16–25.

11. Tasuji M.E. Stress-Strain Response and Fracture of Concrete in Biaxial Loading / M.E.Tasuji, F.O.Slate, A.H.Nilson // ACI Journal. – 1979. – №7. – P. 806–812.

12. Елсуфьев С.А. Изучение деформирования фторопласта в условиях плоского напряженного состояния / С.А.Елсуфьев, В.М.Чебанов // Исслед. по упругости и пластичности. – Л.: Изд-во ЛГУ, 1971. – Вып. 8. – С. 209–213.

13. Калинка Ю.А. Исследование физико-механических свойств хаотически наполненных стеклопластиков / Ю.А.Калинка, С.М.Боровикова // Механика полимеров. – 1971. – №3. – С. 411–415.

14. Амелина Е.В. О нелинейном деформировании углепластиков: эксперимент, модель, расчет / Е.В.Амелина [и др.] // ИВТ СО РАН. Вычислительные технологии. – 2015. – Т. 20. – №5. – С. 27–52.

15. Каюмов Р.А. Идентификация механических характеристик армированных волокнами композитов / Р.А.Каюмов, С.А.Луканкин, В.Н.Паймушин, С.А.Холмогоров // Ученые записки Казанского университета. Физико-математические науки. – 2015. – Т. 157. – кн. 4. – С. 112–132.

16. Березин А.В. О законах деформирования разномодульных дилатирующих сред / А.В.Березин // Проблемы машиностроения и автоматизации. Международный журнал. – 2007. – №2. – С. 70–72.

17. Матченко Н.М. Определяющие соотношения изотропных разносопротивляющихся сред. Ч. 1. Квазилинейные соотношения / Н.М.Матченко, Л.А.Толоконников, А.А.Трещев // Изв. РАН. МТТ. – 1995. – №1. – С. 73–78.

18. Матченко Н.М. Определяющие соотношения изотропных разносопротивляющихся сред. Ч. 2. Нелинейные соотношения / Н.М.Матченко, Л.А.Толоконников, А.А.Трещев // Изв. РАН. МТТ. – 1999. – №4. – С. 87–95.

19. Трещев А.А. Теория деформирования и прочности материалов с изначальной или наведенной чувствительностью к виду напряженного состояния. Определяющие соотношения / А.А. Трещев // Москва – Тула: РААСН – ТулГУ, 2016. – 328 с.

20. Treschev A.A. Constitutive relations for isotropic materials allowing quasilinearapproximation of the deformation law / A.A.Treschev, A.A.Bobrishev, L.N.Shafigullin // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering 481 (2019) 012014. – Doi: 10.1088/ 1757-899X/481/1/ 012014. – P. 1 – 7.

21. Амбарцумян С.А. Разномодульная теория упругости / С.А.Амбарцумян. – М.: Наука, 1982. – 320 с.

УДК 624.012.46, 692.522, 69.04

ПАРАМЕТРИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ НЕСУЩЕЙ СПОСОБНОСТИ ПОСТНАПРЯЖЁННЫХ ШАРНИРНО ОПЁРТЫХ БАЛОК ПРИ ОТСЛЕЖИВАНИИ ПРОЦЕССА ИХ НАГРУЖЕНИЯ ПО ДЕФОРМАЦИЯМ

Гавриленко А. В., Субботин С. Л., Баркая Т. Р.
Тверской государственный технический университет, Тверь, Россия

В статье приводится краткая информация об особенностях работы и сложностях анализа предварительно напряжённых без сцепления железобетонных балок. Описывается предлагаемый алгоритм анализа НДС в опасном сечении таких балок, основанный на отслеживании процесса нагружения по деформациям. Приведены результаты проведённого параметрического исследования балок без сцепления.

Одним из эффективных способов улучшения эксплуатационных свойств монолитных железобетонных плит перекрытия является их предварительное напряжение арматурой без сцепления в условиях строительной площадки – постнапряжение. Применение данной технологии позволяет достичь ряда технологических и экономических преимуществ [1***Библиографический список***
1].

В настоящее время постнапряжение не нашло должного распространения при строительстве объектов в нашей стране, что обусловлено рядом причин. Помимо прочего, можно говорить о недостаточности нормативной базы по расчёту и конструированию подобных конструкций, малом количестве выполненных экспериментальных исследований, посвящённых изучению поведения постнапряжённых элементов под нагрузкой, характера их трещинообразования и разрушения.

При этом рассматриваемым конструкциям без сцепления присущи некоторые характерные особенности работы, которые требуют обязательного учёта при их анализе и проектировании [2]. Ситуация с

анализом таких элементов осложняется также физически нелинейной работой основного материала – бетона.

В связи с этим, оказывается весьма актуальной задача по поиску и обоснованию методики расчёта постнапряжённых элементов, которая будет базироваться на нелинейной диаграмме деформирования бетона и при этом позволит устанавливать действительное напряжённо-деформированное состояние в сечениях рассматриваемых балочных элементов без сцепления.

По результатам проведённых предварительных исследований [3] было установлено, что вполне приемлемые ориентировочные результаты по характеру НДС в сечении постнапряжённых балочных элементов могут быть получены при отслеживании процесса их нагружения по деформациям.

В работе [3] для отыскания НДС в сечениях на основании ранее проведённых экспериментальных исследований [4] выделялись характерные этапы и стадии работы элемента, каждой из которых ставились в соответствие величины относительных деформаций по верхней или нижней граням сечения. Подсчёт деформаций по противоположной грани происходил по выражениям, включающим прочность бетона при растяжении R_{bt}, которую весьма трудно контролировать на практике. Кроме того, описанный в работе [3] подход требует выполнения большого объёма вычислений, трудно поддающихся алгоритмизации.

В развитие данной методики предлагается следующий алгоритм программного счёта НДС в сечении однопролётной шарнирно-опёртой постнапряжённой балки, находящейся под действием поперечных нагрузок:

1. При помощи оператора типа «цикл» заданные максимальные значения сосредоточенных и равномерно-распределённых поперечных нагрузок на балку разбиваются на некоторое большое число ступеней, что позволяет смоделировать процесс пошагового нагружения балки. Одновременно с этим на каждой следующей ступени нагружения подсчитываются значения изгибающих моментов в опасном сечении в середине пролёта, которые записываются в массив «M_ext».

2. При помощи двух операторов типа «цикл» с заданным малым шагом перебираются значения относительных деформаций по верхней и нижней граням сечения в пределах от максимальной деформации бетона при сжатии (0,0035) до предельной деформации при растяжении (0,00015), установленных в [5]. В предположении справедливости гипотезы плоских сечений, при каждом следующем деформированном состоянии определяется напряжённое состояние сечения при использовании двухлинейной диаграммы состояния бетона [5]. Далее под-

считываются усилия в бетонной части сечения – продольные силы и момент всех сил в сжатом и растянутом бетоне относительно нижней грани. Полученные усилия и соответствующие им значения относительных деформаций заносятся в массив «Sum_Bet».

3. При помощи оператора типа «цикл» каждое следующее значение продольного усилия в бетонной части сечения из массива «Sum_Bet» последовательно сравнивается с действующим в рассматриваемой задаче усилием предварительного напряжения P. Когда их равенство с требуемой точностью достигнуто, можно считать, что первое условие равновесия статики выполнено, после чего программа переходит к последовательному сравнению значений из массива внешних моментов «M_ext» со значениями моментов всех сил в бетонной части сечения из массива «Sum_Bet» за вычетом произведения усилия обжатия P на расстояние a от нижней грани сечения до центра тяжести напрягаемой арматуры. Когда равенство «внешнего» и «внутреннего» моментов также оказывается достигнутым с заданной точностью, то считается, что второе условие равновесия статики выполнено и напряжённо-деформированное состояние, соответствующее текущему загружению элемента, подобрано. Выполнение операций на данном шаге происходит до тех пор, пока не будут подобраны соответствующие НДС для всех ступеней нагружения балки.

Описанный алгоритм был реализован в виде программы на языке Visual Basic for Applications.

Для верификации программы с её помощью были просчитаны балки с параметрами образцов, ранее испытанных в экспериментальном исследовании [4]. Построенная по результатам программного счёта кривая зависимости прогиба от нагрузки была далее наложена на аналогичную экспериментальную кривую. Из сопоставления кривых «прогиб–нагрузка» был сделан вывод, что получаемые программой данные оказываются вполне точными и корректными физически. Также на данные графики были нанесены кривые «прогиб–нагрузка», полученные по методике, описанной в [3]. Из их сопоставления следует также, что новые данные вполне согласуются с применённым ранее подходом.

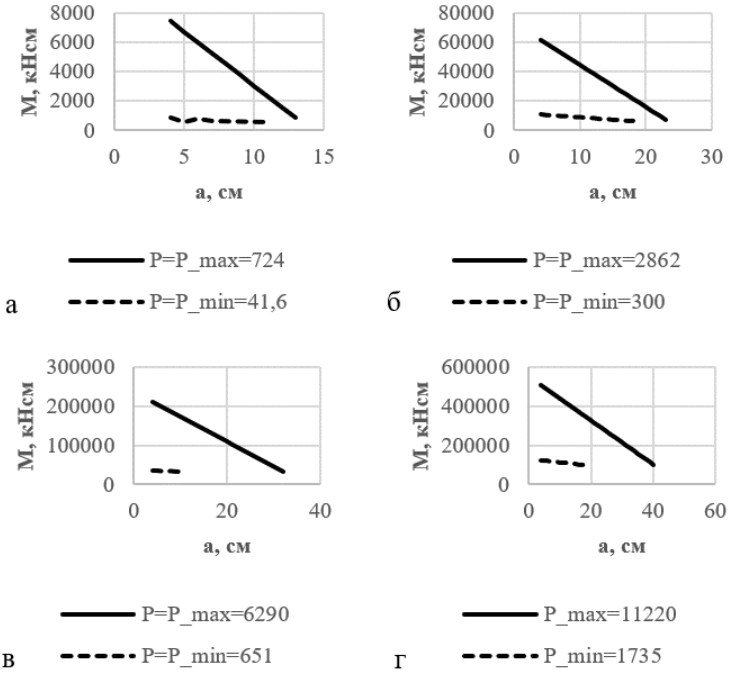


Рис. 1. Графики зависимости несущего момента от расстояния а: а – для балки пролётом L=650 см; б – для балки пролётом L=1250 см; в – для балки пролётом L=1850 см; г – для балки пролётом L=2450 см (усилие P в кН)

Поскольку трудоёмкость выполнения программного счёта невысока, стало возможным проведение ряда параметрических исследований балок без сцепления. Варьируемыми параметрами были размеры поперечного сечения h и b (принятые из условий h=L/25 и b=3h/5 для балок с пролётами L равными 650, 1250, 1850 и 2450 см соответственно), величина усилия обжатия P и расстояние а. Кроме того, в программе была реализована возможность расчёта как в области упругих деформаций, так и за её пределами, что позволило дополнительно выявить, как влияет на несущую способность рассматриваемых элементов допущение пластических деформаций.

Зависимость несущей способности от расстояния до точки приложения усилия обжатия а приведена на рисунке **Ошибка! Источник ссылки не найден.** для двух значений силы P – максимального, равного произведению прочности бетона при сжатии R_b на площадь сече-

ния, и минимального, в котором равномерное напряжение в сечении от усилия обжатия принималось равным 0,1 кН/см^2.

Из графиков следует, что при больших величинах усилия обжатия расстояние от нижней грани сечения до точки его приложения оказывает заметно более существенное влияние на величину несущей способности.

Также были построены графики, показывающие зависимость несущей способности элементов от величины усилия обжатия P (рисунок 1).

Из графиков следует, что с увеличением усилия обжатия до некоторого оптимального значения несущая способность элемента увеличивается, а после преодоления этого усилия Ропт начинается снижение несущей способности с ростом P, причём в случае больших расстояний а это снижение развивается весьма быстро.

Из анализа числовых данных было установлено, что оптимальное значение усилия обжатия Ропт для балок с пролётами 1250, 1850 и 2450 см при минимальном расстоянии до точки приложения усилия обжатия оказывается практически равным максимальному усилию обжатия Pmax, а в случае балки с пролётом 650 см – 0,9 от Pmax. При расстоянии а равном половине высоты сечения, оптимальное усилие обжатия для балок больших пролётов оказалось на уровне 0,6 от Pmax, а для балки пролётом 650 см – 0,72 от максимального усилия Pmax.

Зависимость предельного момента от площади поперечного сечения балки оказалась нелинейной: при переходе к большим значениям площади темп прироста несущей способности нарастает.

Результаты расчёта несущей способности при работе материала балки только в упругой стадии, а также при допущении пластических деформаций, сведены в

Таблица 1

Предельный момент сечения при работе материала в упругой и упругопластической стадиях

Стадия работы	Пролёт балки, см							
	650		1250		1850		2450	
	M, кНсм	P, кН	M, кНсм	P, кН	M, кНсм	P, кН	M, кНсм	P, кН
Упр.	7301	811	61425	2925	209524	6349	507371	11275
Пласт	7401	724	61504	2861	209598	6290	507443	11219

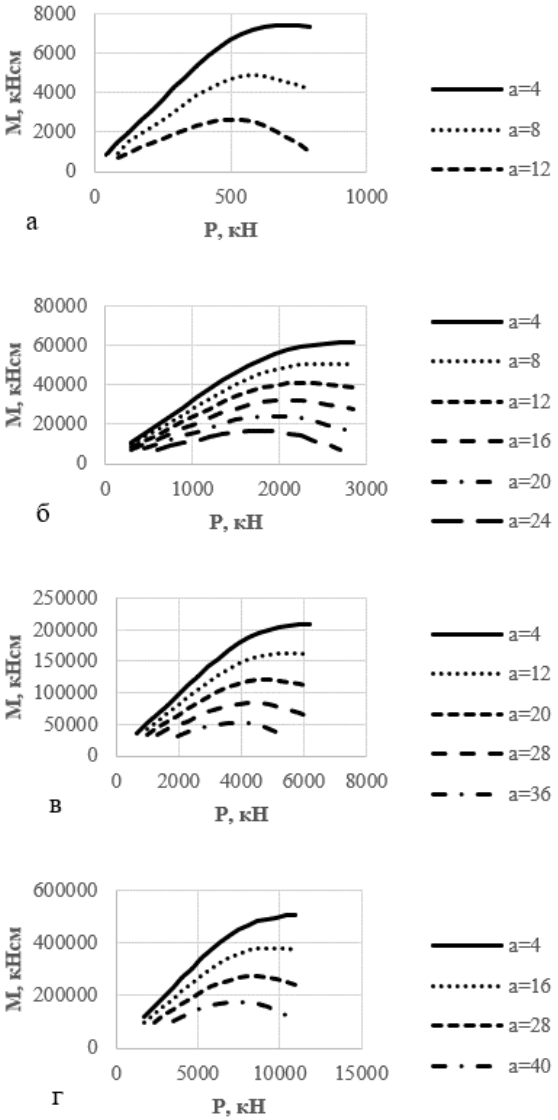


Рисунок 1 – Графики зависимости несущего момента от величины усилия P при различных значениях a: а – для балки пролётом L=650 см; б – для балки пролётом L=1250 см; в – для балки пролётом L=1850 см; г – для балки пролётом L=2450 см (расстояние a в см)

Из данных таблицы следует, что допущение пластических деформаций в рассматриваемых элементах даёт незначительное увеличение их несущей способности.

Заключение

В работе были предложены алгоритм и вычислительная программа анализа НДС балок без сцепления, основанные на отслеживании процесса нагружения по деформациям. Анализ результатов показал, что алгоритм приемлемо точен и вполне физически корректен. Программа позволила выполнить параметрические исследования балок без сцепления, на основании которых удалось сформулировать следующие выводы: расстояние от нижней грани сечения до точки приложения усилия обжатия а более существенно влияет на несущий момент сечения в тех случаях, когда значение усилия Р оказывается относительно большим, и менее выраженно — при относительно малых значениях Р; при различных значениях а существует некоторое оптимальное значение усилия обжатия Р при котором может быть достигнут максимальный несущий момент сечения; превышение данного значения усилия обжатия приводит к падению несущего момента причём весьма быстрому при а, близком или равном h/2; максимально возможные значения усилия Р следует использовать в тех случаях, когда по конструктивным требованиям возможно размещение напрягаемой арматуры близко к нижней грани балки; при переходе к большим пролётам и, соответственно, большим значениям площади сечения темп увеличения предельного момента нарастает; учёт пластических деформаций лишь незначительно повышает несущую способность рассматриваемых балок.

Можно считать, что возможно дальнейшее совершенствование и развитие предлагаемого алгоритма счёта.

Библиографический список

1. Баркая, Т.Р. Применение высокопрочной проволоки в постнапряжённых железобетонных конструкциях [Текст] / Т. Р. Баркая, А.В. Бровкин, А.В. Гавриленко, Р.З. Цыбина // Инновации и моделирование в строительном материаловедении: сборник научных трудов. – 2017. — С. 18-24.

2. Гавриленко, А.В. Методики расчёта по прочности, жёсткости и трещиностойкости железобетонных балок с напрягаемой арматурой без сцепления [Текст] / А.В. Гавриленко, Т.Р. Баркая // Строительство — формирование среды жизнедеятельности : сборник трудов XX международной межвузовской научно-практической конференции студентов, магистрантов, аспирантов и молодых учёных (26–28 апреля 2017 г., Москва) / М-во образования и науки Рос. Федерации, Нац. исследоват. Моск. гос. строит. ун-т. — С. 270-272. Библиогр.: с. 272.

3. Гавриленко, А. В. Определение прогибов сжато-изогнутого предварительно напряжённого без сцепления железобетонного элемента при использовании

двухлинейной диаграммы состояния бетона [Текст] / А.В. Гавриленко, В.И. Гультяев, С.Л. Субботин // Вестник Чувашского государственного педагогического университета им. И.Я. Яковлева. Серия: Механика предельного состояния. — 2019. — №2(40). — С. 3—16.

4. Гавриленко, А. В. Экспериментально-теоретическое сопоставление методик расчёта прочности, жёсткости и трещиностойкости железобетонных балок, напряжённых арматурой без сцепления [Текст] : дис. . . . маг. : 08.04.01 : защищена 30.06.17 / Гавриленко Алексей Владимирович. — Тверь, 2017. — 391 с. — Библиогр.: с. 371—376.

5. Бетонные и железобетонные конструкции. Основные положения. СНиП 52-01-2003 (с Изменением N 1) [Текст] : СП 63.13330.2018 : утв. М-вом строительства и жилищно-коммунального хозяйства Рос. Федерации 19.12.2018 : ввод. в действие с 20.06.2019. — М. : ФГУП СТАНДАРТИНФОРМ, 2019. — 159 с.

УДК 622.83.023.4:624.121

ПРОЯВЛЕНИЕ ЭНТРОПИИ ПРИ ДЕФОРМИРОВАНИИ МАТЕРИАЛОВ

Зюзин Б.Ф., Жигульская А.И.
Тверской государственный технический университет, Тверь, Россия

Рассмотрена задача деформирования стержня в изотермических условиях. Дано физическое представление величины энтропии. Показана связь энтропии с углом внутреннего трения материала.

Ключевые слова: энтропия, паспорт прочности, сцепление, угол внутреннего трения.

Различные природные объекты объединяют инварианты их предельных состояний, как некий физический принцип гармонии развития [1].

Простые геометрические образы могут служить универсальными моделями отражения структурных преобразований [2].

При этом нестабильность, неустойчивость и неоднородность структуры самой системы, так же является причиной ее эволюции [3].

Мерой упорядоченности состояния структурной системы может быть энтропия [4 – 6]. Физическое представление величины энтропии можно определить исходя из рассмотрения рассеивания энергии при необратимых деформациях. В динамике известное уравнение Лагран-

жа 2-го рода равно числу степеней свободы механической системы, т.е. число уравнений состояния равно числу независимых переменных.

При этом энтропия ***S*** играет роль потенциальной функции, а ее возникновение s_S – диссипативной (функции рассеивания). Рассеивание энергии происходит как при возникновении пластических, так и при вязком течении материала. В первом случае внутреннее трение пропорционально величине деформации и называется сухим, или кулоновым. Во втором случае диссипация названа вязкостью и пропорциональна скорости деформации (жидкостное трение). Обычно в реальных телах диссипация энергии существует в обеих формах.

Рассмотрим величину напряжения, которое возникает в зажатом по длине стержне (***L=const***), например, при изменении температуры на ***1°C*** [7]. Эта величина представляет собой температурный коэффициент, который легко замерить, и численно она равна изменению энтропии при деформировании в изотермических условиях.

На рис. 1 показан график зависимости напряжения – ***p*** от температуры – ***T*** при постоянной длине ***L.***

Тангенс угла наклона касательной к этой кривой в некоторой точке ***M*** равен энтропии $tg\varphi_M = S$ при изотермической деформации с температурой T_M, т.е. энтропия характеризуется первой производной функции изменения напряжения. Отрезок ***OA*** определяет изменение внутренней энергии при единичной деформации. Кривые, подобные изображенным на рис. 1, позволяют судить о соотношении между внутренней энергией – ***U*** и энтропией – ***S,*** включая их изменении в процессе деформирования. Здесь прослеживается аналогия с «паспортом прочности» материалов [1], для которых внутренняя энергия ассоциируется с сцеплением материала, а параметр φ_M в выражении для энтропии фактически является углом внутреннего трения [1].

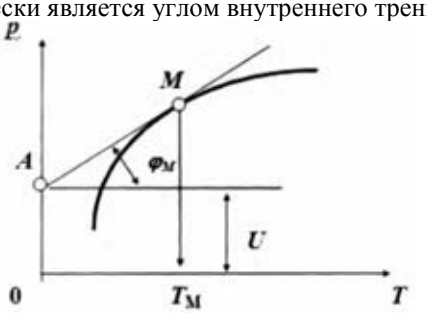


Рис. 1. График зависимости напряжения от температуры при постоянной длине образца

Тогда выражение для «паспорта прочности» можно представить следующим образом:

$$\tau = C_0 + \sigma\, tg(\varphi) \text{ или } \tau = U + \sigma\, S,$$

где τ – величина инварианта касательных напряжений; σ_3 – величина инварианта нормальных напряжений; C_0 – величина инварианта сцепления.

Если график зависимости изображается прямой линией, то ни внутренняя энергия U, ни энтропия S не зависят от температуры T (определяющего параметра деформирования структурной системы).

Если же прямая линия проходит через начало координат при $U=0$, то упругие напряжения в теле возникают только вследствие изменения энтропии.

Это характерно для эластических деформаций e, которые полностью обратимы, но обнаруживают гистерезис при нагрузке и разгрузке (рис. 2).

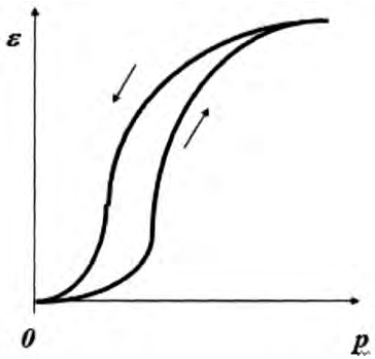


Рис. 2. Гистерезис деформации

Энергия, затраченная на прямое деформирование, не равна энергии, выделяемой при обратном деформировании (последняя меньше).

В ходе процесса обратной эластической деформации происходит некоторая необратимая потеря энергии деформирования, поглощаемая материалом. Это может быть объяснено только тем, что при прямой деформации изменение структуры происходит в виде обратимого изменения ориентировки частиц, тогда как у обычных твердых тел упругость связана в первую очередь с изменением внутренней энергии, и при деформации свободная энергия возрастает. У эластических материалов увеличение деформаций сопровождается уменьшением энтропии.

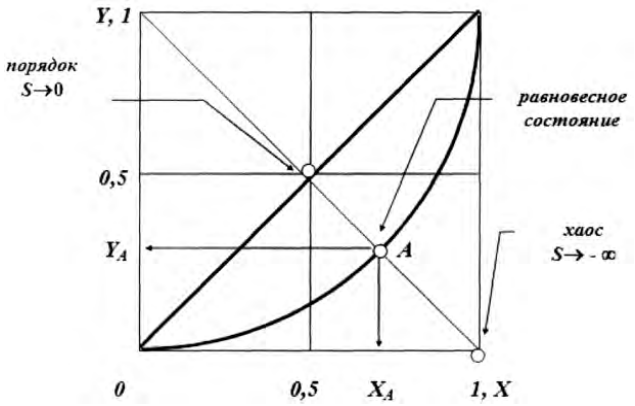


Рис. 3. Отображение состояния структурной системы в приведенной системе оценки

В приведенной системе координат (рис. 3) оценка степени упорядоченности структурной системы (переход от «порядка» к «хаосу») связана с величиной уровня нелинейности X_A [8]. Относительное отклонение от состояния «порядка» характеризуется определенным значением параметра напряженно-деформированного состояния среды: $П_K = (X_A - 0,5)/0,5 = 2X_A - 1$. Изменение энтропии системы S за счет процессов ее переноса (притока и оттока) может быть, как положительным, так и отрицательным. Последнее означает, что в открытых и закрытых системах могут возникать и длительное время оставаться неизменными равновесные структуры, которые называют термодинамически самоорганизованными [9].

Таким образом, мы усматриваем очевидную взаимосвязь таких показателей структурно-прочностных свойств материалов, как внутреннее трение, нелинейность их функциональности при деформировании и изменчивостью энтропии структуры материла в процессе воздействия на него.

Библиографический список

1. *Миронов, В.А. Инварианты дистортности / В.А. Миронов, Б.Ф. Зюзин // Монография. Тверь: ТвГТУ, 2015. 168 с.*
2. *Миронов, В.А. Дистортность в природных системах / В.А. Миронов, Б.Ф. Зюзин, В.Н Лотов, А.А. Терентьев // Монография. Минск: Беларуская навука, 1997, 415 с.*
3. *Зюзин, Б.Ф. Дистортность – естественнонаучная теория / Б.Ф. Зюзин, В.А. Миронов // Монография. Тверь: ТвГТУ, 2019. 176 с.*
4. *Шеннон, К. Теория информации и ее приложения. М.: Физматгиз, 1959. 354 с.*
5. *Академик В.М. Глушков – пионер кибернетики. Сост. В.П. Деркач. К., 2003.*
6. *Берже, П., Помо, И., Видаль, К. Порядок в хаосе. М.: Мир, 1991. 368 с.*

7. *Шебалин О.Д. Молекулярная физика. М.: Выс.шк., 1978.*
8. *Миронов, В.А. Введение в дистортность / В.А. Миронов, Б.Ф. Зюзин, В.Н. Лотов // Монография. Тверь: ТвГТУ, 1994, 160 с.*
9. *Фридман Я.Б. Единая теория прочности материалов. М.: Оборон-гиз, 1943.*

UDK 548.64.01

DEVELOPMENT OF TECHNOLOGY OF EPOXY RESIN MODIFICATION NEW MODIFIERS

Babaqulova N.B., Mukhamedgaliev B.A.
Tashkent Institute of Architecture and civil engineering. Republic of Uzbekistan

In article is shown possibility of the modification of the epoxy of the mark ED-20 new phosphor containing polymers on base phosphoric acids with epichlorgidrine and methacryloilchlorid.

To obtain polymeric materials with improved properties, modification of large-capacity industrial polymers with small additions of other polymers or oligomers is widely used [1]. The introduction of small amounts of fine crystallization nuclei [2], thermoplastic elastomers [3], oligomeric and polymeric additives [4]. The basis of the modification of polymers or oligomers by small additives laid down ideas about the significant influence of the supramolecular structure, as well as the conditions of the relaxation processes on the properties of polymers. In this case, there is a complex effect of additives on the structure and properties of polymers.

A large amount of research is devoted to chemical modification of epoxy polymers and it has been shown that their modification is most effective even at the stage of mixing components when modifiers are introduced mainly with hardeners in the process of forming polymerization centers, polymer chain growth, and polymer network formation. The use of polymer modifiers is promising from the point of view of preventing some undesirable processes characteristic of low molecular weight modifiers, as well as using them in small quantities [5].

The compositions cured at room temperature. The samples of epoxy compositions prepared in this way were subjected to physic mechanical and chemical tests according to State Standards. The experiments used modern

physicochemical research methods, such as IR, -MPR-, EPR-spectroscopy, elemental analysis. Thermogravimetry and DTA analysis, pycnometry to determine the density, etc. were used to determine the heat resistance of the samples.

In this aspect, it is of interest to develop a technology for modifying an epoxy resin synthesized by a phosphorus-containing polymer based on the interaction of phosphorous acid synthesized on the basis of the waste of JSC “Maxam-Ammophos” with epichlorohydrin (ECG), because due to its close chemical nature, as well as the thermodynamic and kinetic compatibility of components, leading to good mixing, it is possible to obtain epoxy compositions with improved physicomechanical properties [6].

Epoxy compositions were prepared from ED-20 resin, a polyethylene polyamine hardener with the addition of a small amount of a phosphorus-containing polymer. The composition is shown in Table 1. The compositions were cured at room temperature. The samples of epoxy compositions prepared in this way were subjected to physicomechanical and chemical tests according to State Standards, the results of which are shown in Table 2.

As can be seen from the table. 2. with the introduction of an insignificant amount of a polymer modifier containing phosphorus and halogen in its composition into the epoxy composition while simultaneously reducing the amount of hardener introduced, the curing rate of the composition increases, and the physic mechanical properties are improved. High physic mechanical indicators obtained in laboratory studies in the modification of epoxy resin, confirmed by industrial tests, which were conducted at the Tashkent Production Association "Tashkentmramor", where epoxy resin of the brand ED-20 was used according to the technological regulations and TU-06-05-1082 [6] and according to the recipe given in Table 3 for the adhesive composition. The results of physic-mechanical tests of marble slabs, obtained by standard and experienced recipes, are shown in Table 4.

From table 4. it follows that the introduction of a small amount of phosphorus-containing polymer in the composition leads to a significant improvement in the physical and mechanical properties, reducing the time for complete curing. By increasing the strength of glued art marble slabs (2.7 times), the number of substandard products decreases.

It should be noted that the modification of the epoxy composition leads to a decrease in the injected hardener by 2 times (the corresponding acts of experimental tests were obtained). The chemical nature of the polymer modifier introduced has a significant effect on the structure and properties of the cured epoxy composition.

Table 1.

The composition of the unmodified and modified epoxy composition.

№	payment order	Components Composition			
		1	2	3	4
1	Resin ED-20,%	90	92,49	92,4	91,5
2	Polyethylenepolyamine,%	10	7,5	7,5	7,5
3	Phosphorus. polymer	-	0,01	0,1	1,0

Table 2.

Physical and mechanical properties of epoxy compositions.

№	Name of indicators	Composition properties			
		1	2	3	4
1	Strength at sprains, MPa	109,5	113,0	149,0	180,0
2	Specific impact strength,kJ / m^2	2,08	2,24	2,37	2,52
3	Chemical resistance (benzene),% for 24 h.,%	21,9	3,61	0,48	0,057
4	Water absorption in 24 hours,%	0,83	0,5	0,04	0,005
5	Time of ignition, sec.	6	75	120	160
6	Oxygen index,%	18,0	19,7	21,0	23,0
7	Cure time at room temperature, min.	210	160	120	75

Table 3.

The composition of the unmodified and modified adhesive composition.

№	Components	Composition number			
		Standard image	1	2	3
1.	ED-20 pitch	100	100	100	100
2.	PEPA	18	9,4	9,2	9,0
3.	Cement	82	82	81	80
4.	Phosphorus-containing polymer	-	0,05	0,10	0,15

In addition, the factor of chemical and thermodynamic compatibility of the modifier and the polymer, leading to the formation of a homophasic system, influences the strength characteristics of the modified composition. The introduced modifying additives are sorbed on the defective areas of the resulting spatial grid and, due to the compatibility of the systems; a more dense structure is formed.

One of the effective methods of corrosion protection of process equipment and structures is the development and use of composite polymer coatings. In this regard, the role of quality control and prediction of the long-term strength of such coatings is increasing. Increasing the service life of coatings can significantly reduce the consumption of scarce and expensive polymers, more efficiently use production facilities, as well as improve the environmental situation in enterprises using aggressive media in their units. In this regard, the use of epoxy film-forming with active plasticizers modifiers as well as fillers containing metal oxides. Their use allows to increase the operational and deformation, strength characteristics, to reduce the diffusion permeability of metal-polymer structures.

Table 4.

Physical and mechanical properties of modified epoxy resin samples.

№	Test title	Composition number			
		Std sample	1	2	3
1.	Ultimate strength at statistical bending, kgf / cm^2	44,5	85,78	119,3	148,0
2.	Water absorption,%	0,19	0,0098	0,008	0,0062
3.	Chemical resistance (diesel oil),%	0,3	0,018	0,012	0,012
4.	Fullcuretime, min.	35-40	20	15	20

Thus, it was of interest to study the effect of synthesized polymers based on the interaction of phosphorous acid with epichlorhydrine and methacryloylchloride as modifiers on the physic mechanical and anticorrosive properties of polymer composite coatings [7].

ED-20 epoxy diane resin was used as a binder, dibutyl phthalate (DBP), hardener-polyethylene polyamine (PEPA) - as a plasticizer. The results of the study of the effect of the content of the synthesized polymers on the deformation-strength properties (flexural strength, micro hardness of

coatings, adhesive strength) of composite coatings show that the strength characteristics increase with the introduction of polymers into the composition (compared to the control sample - based on the composition without polymers) by 25-35%, and adhesive properties by 50-60%. The optimum combination of properties is achieved, depending on the content of polymers, up to 3.0 parts by weight. Similar results were achieved in the study of the electro physical properties of the obtained composite coatings. With the introduction of polymers (the optimum content is 3.0 mph), the dielectric constant (ε) of the coatings increases (by 15–20%), the specific surface resistance of the coatings increases by several orders of magnitude. The required physic mechanical properties of the composition, their stability during operation can be ensured only with a combination of high adhesive strength in the modifier-substrate system and the formation of an optimal spatial structure of the polymer. The increase in the strength characteristics of the composition with the introduction of a polymer modifier can be explained according to the adsorption theory, which considers adhesion as the result of the manifestation of the forces of molecular interaction between the concentrating phases. In this case, all varieties of Wander-Waals forces (orientation, inductive, and dispersive) can occur. It is important that the adhesive and substrate have functional groups that can interact.

Molecular interaction, according to the adsorption theory of adhesion, is preceded by the formation of contact between the adhesive and substrate molecules. Temperature increase the introduction of the modifier, the pressure increase, the use of solvents - all these factors facilitate the flow of the first stage of the process and contribute to achieving a more complete contact. Wetting and cracking of the adhesive on the substrate surface are accompanied by surface diffusion, migration of adhesive molecules on the surface. It is this circumstance, as well as the flexibility of polymer macromolecules and their ability to make the micro-Brownian motion, were taken into account in the adsorption theory of adhesion.

When adhesive failure does not always require the breaking of chemical bonds, and with cohesive destruction of the network adhesive, breaking of chemical bonds is inevitable. When loading the adhesive connection due to the different elastic constants of the adhesive and the substrate, an additional stress concentration occurs. Under these conditions, a gap along the interfacial surface is more likely than in the array of adhesive and substrate, even if the bonds are equally strong, since the durability of the adhesive bonds decreases with increasing voltage. Finally, in many cases, the adhesive compound is affected not only by mechanical loads, but also by moisture, various chemical agents, and an elevated

temperature. It is the phase boundary that is most affected by these factors. One of the ways to increase the durability of a composite material and adhesive compounds is to facilitate relaxation processes in the zone of contact of the polymer with the substrate, with a dispersed or fiber-like filler. These processes can be changed by regulating the intensity of the interfacial interaction, as well as by applying elastic layers. Adhesive compounds possess optimal properties, along with strong chemical bonds, in the contact zone, less durable, but easily recoverable, labile polar bonds occur, characterized by a low value of activation energies. Such bonds are characteristic of groups containing a mobile hydrogen atom, as well as heteroatoms with non-generalized electrons. A rare mesh of strong chemical bonds in combination with a sufficiently large number of easily regenerated less strong bonds creates favorable conditions for relaxation of overvoltages and sticking of defects. The role of hinged groups with low potential for rotation is also very important. It is shown that in systems containing not only strong interfacial covalent bonds, but also hydrogen bonds characterized by low recombination energy, more favorable conditions arise for the redistribution and variation of the voltages of stabilizing defects.

Confirmation of the above results was obtained according to the corrosion tests according to GOST 9.083-78 in a 30% HCl and HNO_3 solution and a 30% H_2SO_4 solution. The coatings showed high corrosion resistance. The weight loss of the coatings was no more than 0.3% for 30 days of exposure to aggressive media. However, the resulting coatings have sufficient heat resistance and fire resistance, which are important performance characteristics, and do not require a long time for curing. The introduction of a small amount of phosphonium polymers enhances the physicochemical properties of epoxy composite coatings, as well as increases their heat and flame retardant properties. As studies have shown, with the introduction of polymers, the process of curing epoxy resin is significantly accelerated. The curing time of the control composition (without a modifier), determined according to a known method [8], is more than 200 minutes at room temperature, in the presence of polymers it is reduced to 118-140 minutes. When using polyepichlorohydrin (PECH), which does not contain phosphorus-nitrogen fragments, as well as terminal unsaturated bonds, the induction period of curing is longer than in the case of polymer modifiers, indicating a greater efficiency of phosphorus-containing polymers with an end double bond compared to model oligomers (PEHG) not containing it. With the introduction of an insignificant amount of polymer modifiers containing phosphorus halide into the epoxy composition with a one-time decrease in the amount of hardener introduced (PEPA), the curing rate of the composition increases (by 65-70%), and anti-

corrosion properties are improved, water absorption - by 70- 80%, benzine resistance by 50-60% (Table 5).

Apparently, the chemical nature of the polymer modifiers introduced has a significant effect on the structure and properties of the cured epoxy composition. In addition, the anticorrosive properties of modified composite coatings are also affected by the factor of chemical compatibility of high molecular weight modifiers and polymer, leading to the formation of a homophasic system. In addition, in all likelihood, the polymer modifiers synthesized by us, in addition to the modifier, also act as a structurant for the polymer matrix, contribute to the ordering of macromolecules near its surface, and this leads to a decrease in the entropy of the system. Synthesized phosphorus-containing polymers based on the interaction of phosphorous acid with epichlorohydrine, methacryloylchloridecan be used as an effective modifier and accelerator for curing epoxy composite coatings.

Table 5.

The main physicomechanical and other characteristics of epoxy compositions (PEPA-10).

Indicators	**Standard samples**	**Content of modifier,%**			
		0,5	1,0	3,0	5,0
Strength at static bending, Mpa	102,3	108,5	114,6	121,0	126,3
Water absorption in 24 hours,%		106,4	118,0	132,5	136,4
Specific impact strength, kJ / m2	2,15	2,29	2,33	2,39	2,44
		2,16	2,16	2,24	2,39
Water absorption in 24 hours,%	0,94	0,71	0,54	0,32	0,16
		0,65	0,65	0,54	0,29
Chemical resistance for 24 h,%	24,5	12,8	10,2	8,6	3,44
		16,8	16,8	8,9	5,32
Cure time, min	35,4	20/18	16/13	11/9	8/6
Oxygen index,%.	18,0	20,5	22,4	24,3	26,0
		19,6	21,8	23,9	25,6

Note: in the denominator - the data for the polymer (FC + ECH); in the numerator - data for the polymer (FC + MAX).

The factor of chemical compatibility of high-molecular modifiers and a polymer, leading to the formation of a homophasic system, also influences. In addition, in all likelihood, the polymer modifiers synthesized by us, in addition to the modifier, also act as a structurant for the polymer matrix, contribute to the ordering of macromolecules near its surface, and this leads to a decrease in the entropy of the system. Synthesized phosphorus-containing polymers based on the interaction of phosphorous acid with epichlorohydrine, methacryloylchloridecan be used as an effective modifier and accelerator for curing epoxy composite coatings. Such modifiers are non-volatile, non-toxic, easily combined with epoxy resin; the technology for their preparation is simple, which makes it possible to use them widely.

Summary. The laboratory and industrial tests of the polymer obtained from the interaction of phosphorous acid based on the waste of “Maxam-Ammophos” OJSC with ECG and MAX as a flame retardant modifier for epoxy compositions indicate the promise of the phosphorus-containing polymers synthesized by their possible industrial realization and us.

References

1. Khalturinsky N.A, Berlin A.A, Rudakova T.A, and others. The mechanism of coke formation with the introduction of a complex of additives // Proceedings of the 4th International. conference -Volgograd, 2014. - pp.15-16.

2. Din Ngok Hung. Development of composite materials with improved technological and operational properties. Abstract of thesis ..dissertation.tehn.Sci. -M .: MHTI, 2001.-p.17.

3. Kochetkova V.N. Chemist Handbook. –L.:. Chemistry, 1999. - p.384.

4.Paken J. Epoxy compounds and resins. - M.: Chemistry, 1972.- p.245.

5. Mukhamedgaliev B.A. Avtoref.disser.doctor of chemical science, T. 1990 p. 34.

6. Technological regulations of the Tashkent marble factory. for the production of marble slabs. Tashkent, 2008. – p.14.

7.Kerber M.L., Lebedeva E.D. Production, structure and properties of modified amorphous-crystalline thermoplastics. –L.:. Chemistry, 1986. - p.154.

8.Soloveva E.N., Kozlova I.I., Mozzhukhin V.B. Adhesive Acrylic Plastisols: Preparation, Properties, and Application // J. Plastics. –2004. -№6. - pp. 25-27.

UDK 622.48.02

NEW ADDITIVES TO INCREASE FIRE RESISTANCE OF BUILDING CONSRUCTIONS

Kamalova D.M., Kasimova G.A.
Tashkent Institute of Architecture and Civil engineering. Republic of Uzbekistan

Based on the studies, a technology has been developed to produce effective composite additives from industrial waste - a mechanically-chemically activated mixture of ash from the Novo-Angren TPP + phosphogypsum.

Today, with the development of the construction industry, the demand for cement is also increasing. In increasing the volume of construction, cement is one of the resources available at the price of finished objects is achieved through cost reduction due to the use in the construction of modern high-quality building materials and products with lower energy consumption and with improvedcharacteristics. Of particular importance is the production of effective cements based on industrial waste. On a global scale, special attention is paid to the development of new compositions of cements that increase the fire resistance of building structures and the most important task of research in this direction is the development of compositions based on industrial waste for Portland cement.

When developing composite additives and based on them new compositions of highly effective composite Portland cement, in this direction it is necessary to substantiate a number of the following scientific solutions, in particular: development of new methods for the production of effective types of building products based on composite additives; development of new compositions for the production of nanocements with the participation of secondary raw materials; increase of concrete strength indicators on sulfate-resistant cements; optimization of the composition of raw materials in obtaining energy-saving clinkers and cements; modernization of production technologies for white and decorative Portland cement; to increase the production of auxiliary cements, the use of alternative sources of active mineral additives and filler additives.

In the Republic of Uzbekistan, large-scale measures for the production of high-quality cements are carried out, aimed at meeting the demand for cement, modernization of the economy and the creation of new production capacities are achieved. The Strategy for the Development of the Economy of the Country defines the tasks “development of production

sectors, modernization and diversification of industry, in practice, apply methods of low-energy-saving technologies,production, modernization and diversification of industry, in practice, apply methods of low-energy energy-saving technologies, the development of the cement industry, the manufacture of import-substituting and export-oriented products." In this matter, scientific research aimed at the development of new compositions of composite additives based on industrial waste and new compositions of effective cements with their use is of great importance. Fire resistance is the ability of building structures to limit the spread of fire, as well as maintain the necessary performance at high temperatures in a fire [1].

Heat-resistant concrete is a special type of material that, under the influence of high temperatures (up to 1800 ° C), is able to maintain its own physical and mechanical characteristics within established limits. Heat-resistant mixtures are successfully used in all areas of industrial construction, in no way inferior to small-sized refractory materials.For example, heat-resistant concrete GOST 20910–90, in comparison with conventional refractory materials, do not need special preliminary firing. Heat treatment (firing), heat-resistant concrete, takes place during limits. Heat-resistant mixtures are successfully used in all areas of industrial construction, in no way inferior to small-sized refractory materials.For example, heat-resistant concrete GOST 20910–90, in comparison with conventional refractory materials, do not need special preliminary firing. Heat treatment (firing), heat-resistant concrete, takes place during the first heating of the finished structure, at the time of the start-up of the thermal unit [2].

Data on the limits of fire resistance and fire spread are used in the design of buildings and structures. The latter, according to regulatory documents, are divided by degree of fire resistance into five groups. For them, the required limits of fire resistance (minimum) and the spread of fire (maximum) of the main building structures are established. Depending on their type, the indicated limits of fire resistance vary from 0.25 to 2.5 hours, the limits of the spread of fire from 0 to 40 cm.The increase in fire resistance is achieved by fire protection metods.

To improve the structure of the cement composition and increase the strength of structures, mineral components (battle of magnesite or fireclay bricks, andesite, blast-furnace granulated slag, loess like loam, fly ash, etc.) are added to the binder, which have the necessary fire resistance. When heating reinforced concrete structures, destructive processes occur not only in cement binders, but also in the used aggregates. The occurrence of these reactions is explained by the uneven thermal expansion of the mineral aggregates. Therefore, you need to carefully approach the issue of choice of

aggregates for a particular brand of heat-resistant concrete. We conducted studies to determine the possibility of the integrated use of mechanically chemically activated additives of the SHM series based on the ash and slag of the Novo-Angren TPP (thermal power plant) and the phosphogypsum waste of Maham-AmmofosOJSC.The chemical compositions of the averaged samples of mechanochemically activated additives are shown in tabl.1.

The SO_3 content is 21.89% and 13.36% in SHM-1 and SHM-2, respectively, the results of chemical analysis of the mechanically chemically activated additives of the SHM series indicate the possibility of their use as active mineral additives, and possibly a setting time regulator in return gypsum stone for fire-resistant and heat-resistant cements, concrete and building structures. According to table 2, in the initial stages of hardening, the strength of cements PSHM-2-15, PSHM-2-20, at the age of 7 days amounted to 26.8 MPa and 24.1 MPa, respectively, which practically does not differ from the strength of the control cement PC-A0 (26.8 Mpa).

The chemical activity of the mechanically chemically activated additive "SHM" in the absorption of lime was 54.5 mg, which corresponds to the minimum permissible activity characteristic of the group of artificial (technogenic) aluminosilicate hydraulic additives. Therefore, the SHM additive is a chemically active mineral additive, and is classified by its origin (manufacture) as an artificial additive of technogenic origin, acidic in chemical composition,and hydraulic in chemical activity.

Tabl.1.

The chemical composition of the components of the ash-slag + phosphogypsum mixture

Name of components	Content of mass fraction of oxides,%							
	PC	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	CaO	MgO	SO_3	P_2O_5
zoloshlak	7,97	54,82	21,34	3,18	5,72	1,30	0,56	0,14*
phosphogips	19,61	3,04	0,74	0,78	29.44	0,25	43,22	2,42*
* Mass fraction of water-soluble phosphates,%, in terms of P_2O_5								

Despite the presence of many modern and interesting construction solutions with the “SHM-1” on the based, traditional monolithic flat still has numerous followers. This is caused by a few different reasons. First and foremost, when building home flat and flooring, there is no need to use heavy equipment. Besides, construction materials necessary for building it

can be acquired without problems – steel bars and concrete can be bought easily, while planks can be later used to build the roof. Furthermore, monolithic flat can be built in a variety shapes, also including atypical, with the “SHM-1”. That and it is not too thick (from a few to a dozen or so centimetres) and is characterized by good acoustic and thermal insulation characteristics. If it is building according to the best construction practices, reinforced concrete flooring forms a smooth and even surface on both sides that is the floor and the ceiling. Unfortunately, they also have some disadvantages. First and foremost, they are relatively heavy and building them is labor-intensive with the “SHM-1”, since they require full formwork and complicated reinforcement, constructed by a professional. Furthermore, there should be no stoppages during the works – after setting up the formwork and reinforcement with the “SHM-1”, concrete should be poured immediately, of course while remembering to vibrate and cure it properly. Unassisted construction with the “SHM-1” of such flooring is impossible and thus help of excellent professionals should be employed during the mentioned works.

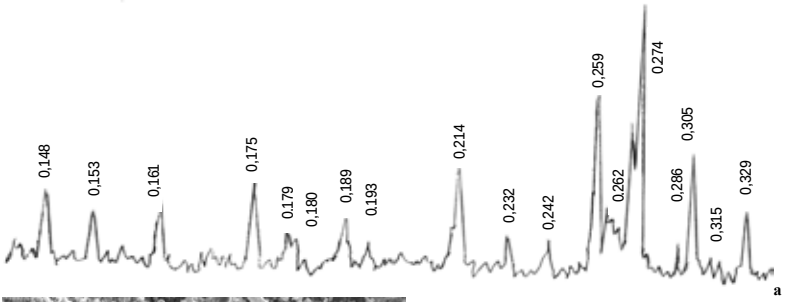
Tabl.2.

Strength characteristics of cements containing mechanically chemically activated additives “SHM”

Cement designation	massa of a cement	Cone melt, mm	Tensile strength, MPa during bending and compression through: d / (% in 28 days under compression).				Cement grade
			7d		28d		
			Rbend	Rcomp	Rbend	Rcomp	
PC- 0	0,368	115	5,3	26,8	5,8	42,2/100	400
PSHM-1-15	0,356	113	4,4	21,9	5,9	43,1/102	400
PSHM- 1-20	0,362	113	3,8	18,2	4,2	26,8/63,5	Not a match.
PSHM- 2-15	0,356	112	4,9	26,8	6,2	47,8/113	400
PSHM - 20	0,356	113	4,4	24,1	6,2	50,8/120	500

The results of electron microscopic analysis of the SHM additive confirm the formation of a crystalline structure during the autoclave treatment of a mixture of phosphogypsum and ash and slag, and that it is similar to the structure of hardening cement paste in the early periods of hardening and is represented mainly from hydrated sulfate-containing minerals and neoplasms in the form of hydrosulfoaluminate and low basic hydrosilicate compounds (Fig.1).

When “SHM” additives are introduced into the cement, these hydrated neoplasms play the role of crystalline seeds — “crystallization centers”, which initiate the emergence of new nuclei of the hydrosulfoaluminate and hydrosilicate type neoplasms, accelerate their crystallization and the formation of the crystalline skeleton of the hardening cement dispersion, and as a result intensify the processes of hydrolysis and hydration of aluminate and silicate minerals of clinker PC.



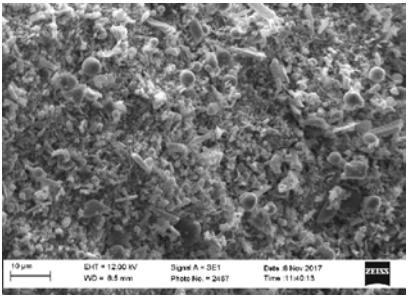


Fig. 1 X-ray diffraction pattern (a) and electron micrograph (b) of the additive “SHM-1”x500

To study the effect of the additive “SHM-1” on the physic-mechanical properties of the PCs of JSC “Bekabadcement”, blends were prepared including “65-85% PC clinker + 15-35% “SHM-1”, and for comparative tests -“ 95% PC clinker + 5% gypsum stone.

The additive "SHM-1" was introduced into the raw material charge taking into account the content of 8.56% SO3. It has been established that in the presence of “SHM-1” additive, the grindability of mixtures is increased compared to grinding clinker PC with 5% gypsum stone: with a constantly fixed time (40 min), the fineness of grinding cements with “SHM-1” determined by the residue on sieve No. 008, varies within (2-6)% compared with 10% of the remainder of PC-D0. Cements with the addition of “SHM-

1” meet the requirements of GOST 10178 on the content of SO3 (2.33-3.80%), because for ND, the optimal SO_3 content in the PC should be at least 1.0% and not more than 4.0% by weight. The rates of initial reactions of cements with the addition of “SHM-1” with water are little different from the rates of reactions of a non-additive PC. The process of starting the setting of cements PC-F15, PC-F20, PC-F 25 is extended by (15-30) min.

The increase in water demand of additional PCs is explained by the increased content of aluminate phases in them and a finer degree of grinding in comparison with PC-D0 cement. In accordance with the data in table 4, the strength of cement with the addition of 15% “YUT-1” (PC-F15), both at the age of 28 days of normal hardening, and with longer curing (3 months) practically do not differ from the strength of cement PC-D0.

Constructions with a new fire additive all over the world rely on concrete as a strong material that provides fire safety and is easy to handle. It can be found in almost all building types – residential, oil and gas reservoirs storage, multi-flat and even in municipal infrastructure. Despite its wide range of use, many of its users still do not know about the fire matteryals with the “SHM-1” directly connected to ensuring the endurance and high quality of concrete. The term “concrete strength class” means the endurance of concrete against compression, no more, no less. It determines the amount of stress the material can take. Concrete strength is determined by measuring the crushing strength of cubes or a cylindrical sample made from a pre-prepared mixture. After the measuring and strength determining, concrete is assigned a strength class.

Based on the studies, a technology has been developed to produce effective composite additives from industrial waste - a mechanically-chemically activated mixture of ash from the Novo-Angren TPP + phosphogypsum. Taking into account the double effect on the cement of the mechanically chemically-activated mixture “SHM-1” in the amount of 15-20% as an active mineral additive and a regulator of setting time instead of natural gypsum stone, its large-scale introduction is recommended.

Reference.

1. Uysupov U.T. Some problems of increasing the fire resistance and heat resistance of concrete.Readings of A.I. Bulatov: Materials of III-International scientific and practical conference (on March 31, 2019) in 5 vol.4: Chemical technology and ecology in the oil and gas industry. Conference bulletin Krasnodar (Russia),2019.

2. Basin B.U. Fire resistance and heat resistance betons. Moscow

УДК 519.85:69.059

НЕЛИНЕЙНАЯ МОДЕЛЬ ВЫСОКОСКОРОСТНОГО ДЕФОРМИРОВАНИЯ БЕТОНА ПРИ ВЗРЫВЕ ЖЕЛЕЗОБЕТОННОЙ СТЕНЫ

Журавлев Г.М., Теличко В.Г., Куриен Н.С.
Тульский государственный университет, г. Тула

В статье рассмотрено решение задачи об определении напряженно-деформированного состояния взрывозащитной плиты. Рассмотрена модельная задача для заряда взрывчатого вещества сферической формы, расположенного непосредственно перед сооружением. Все расчеты производились в среде ANSYS LS-DYNA, получены результаты в форме графиков скоростей деформаций и полей напряжений.

Ключевые слова: напряженно-деформированное состояние, взрывчатые вещества, энергетический метод, метод конечных элементов, железобетон.

Развитие различных отраслей промышленности, ядерной энергетики и других опасных производств ставит перед инженерами ответственную и сложную задачу охраны населения, обслуживающего персонала и окружающей среды от взрывных воздействий [3,5]. Первостепенное значение приобретает анализ возможных отклонений от нормальных эксплуатационных режимов конструкций и тщательное изучение возможного развития различных ситуаций, приводящих к динамическим воздействиям на сооружения, в частности, к взрывным воздействиям [5,7,8]. В настоящий момент существуют несколько способов уменьшения последствий воздействия взрыва, одним из которых является разработка взрывоустойчивых конструкций сооружений на вновь проектируемых или реконструируемых объектах [9, 16, 20].

Для прогнозирования эффектов взрыва целесообразно использовать численные методы (первого порядка). Под эту категорию подпадают следующие методы: конечных элементов (англ. Finite Element Method), конечных разностей (англ. Finite Difference Method) и граничных элементов (англ. Boundary Element Method) [2,6,13]. Численный метод (первого порядка) включает совокупность физических, математических и численных методов, предназначенных для вычисления характеристик физических процессов. В этих методах математические функции описывают законы сохранения массы, импульса и энергии. Динамическое поведение материалов при этом выражено эмпириче-

скими зависимостями, полученными на основе экспериментов, проведенных работах [1, 10].

В данной работе для описания прочности конструкции будем использовать модель RHT – физически нелинейную модель деформирования бетона (Riedel-Hiermaier-Thoma) [18], разработанную специально для анализа высокоскоростных процессов в железобетоне. Данная модель является модульной и описывает поведение упругопластического тела с упрочнением и широко применяется в современных комплексах систем автоматизированного проектирования (САПР) [14]. Ниже дано краткое описание математических основ модели RHT [10, 18].

Модель прочности RHT выражается в терминах трех предельных поверхностей напряжений: начальной упругой поверхности текучести (yield surface), поверхности разрушения (failure surface) и остаточной поверхности (residual surface). В то время как поверхности учитывают снижение прочности вдоль различных меридианов, а также влияние скорости деформации, статические сжимающие меридианные поверхности изображены на рис.1.

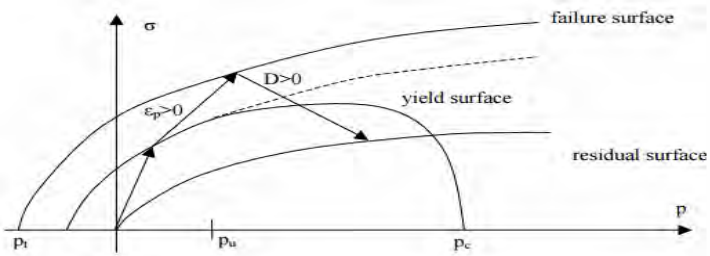


Рис. 1. Предельная нагрузка материала и его разгрузка.

Поверхность разрушения формируется на основе параметров прочности материала, включая прочность бетона на сжатие, растяжение и сдвиг. Начальная поверхность текучести формируется из параметров поверхности разрушения вдоль меридиана растяжения и сжатия и дополнительно включает в себя предел давления закрытия пор в материале. Модель является упругой до тех пор, пока напряжения не достигнут начальной поверхности текучести, за которой развиваются пластические деформации. Пластические деформации вместе с свойствами упрочнения бетона используются для формирования эффективной поверхности текучести путем интерполяции между исходной поверхностью текучести и поверхностью разрушения. Аналогично, когда напряжения достигают поверхности разрушения, используется па-

раметрическая модель повреждаемости, которая управляет эволюцией процесса разрушения, обусловленной пластическими деформациями, которая представляет собой предельную поверхность напряжения после разрушения путем и получается путем интерполяции между поверхностью разрушения и остаточной поверхностью. Для полностью поврежденного материала нет зависимости от меридиана или скорости деформации, а прочность на сдвиг поддерживается только при положительных давлениях величинах давления.

RHT модель использует модель объемного уплотнения [15]. Схематическое описание модели представлено на рис. 2, где важную роль играют давление закрытия пор и давление уплотнения.

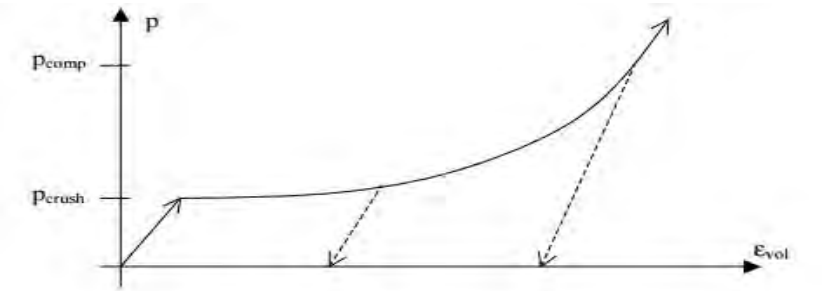


Рис. 2. Схематичное описание p-α уравнения состояния
Здесь p – величина давления, ε_{vol} – объемная деформация, α – коэффициент пористости.

В модели RHT часть сдвиг и давление связаны, причем давление описывается в форме уравнения Мю-Грюнейзена [19, 20] с полиномиальной кривой Гюгонио и отношением уплотнения *p-α* (рис. 2). Для модели уплотнения мы определяем переменную, представляющую собой пористость *α*, которая меняется в диапазоне от 0 до 1. Эта переменная представляет собой текущую долю плотности между материалом матрицы и пористым бетоном и будет уменьшаться с увеличением давления. Эволюция этой переменной задается как [18]

$$\alpha(t) = \max\left(1, \min\left(\alpha_0, \min_{s \le t}\left(1 + (\alpha_0 - 1)\left[\frac{p_{comp} - p(s)}{p_{comp} - p_{el}}\right]^N\right)\right)\right),$$

где $p(t)$ - величина давления, t - время. Это выражение также включает начальное давление закрытия пор p_{el}, давление уплотнения

p_{comp} и экспоненциальный показатель пористости N. Для дальнейшего использования мы определим предельное давление, или текущее давление закрытия пор материала, как [18]

$$p_c = p_{comp} - (p_{comp} - p_{el})\left(\frac{\alpha - 1}{\alpha_0 - 1}\right)^{1/N}.$$

Для заданного напряженно-деформированного состояния и скорости нагружения упругопластическая поверхность текучести для модели RHT задается следующим образом [18]:

$$\sigma_y(p^*, s, \dot{\varepsilon}_p, \varepsilon_p^*) = f_c \sigma_y^*(p^*, F_r(\dot{\varepsilon}_p, p^*), \dot{\varepsilon}_p) R_3(\theta, p^*),$$

которая и является композицией двух функций и параметра прочности на сжатие f_c. Первая описывает зависимость давления для главных напряжений ($\sigma_1 < \sigma_2 = \sigma_3$) и выражается через поверхность разрушения и нормализованную пластическую деформацию.

как

$$\sigma_y^*(p^*, F_r, \varepsilon_p^*) = \sigma_f^*\left(\frac{p^*}{\gamma}, F_r\right)\gamma, \text{ где } \gamma = \varepsilon_p^* + 1(1 - \varepsilon_p^*)F_e F_c.$$

Поверхность разрушение задается как [19]:

$$\sigma_f^*(p^*, F_r) = \begin{cases} A\left(p^* - F_r/3 + (A/F_r)^{-1/n}\right)^n & 3p^* \le F_r \\ F_r f_s^*/Q_1 + 3p^*\left(1 - f_s^*/Q_1\right) & F_r > 3p^* \ge 0 \\ F_r f_s^*/Q_1 - 3p^*\left(1/Q_2 - \dfrac{f_s^*}{Q_1 f_t^*}\right) & 0 > 3p^* \ge 3p_t^* \\ 0 & 3p_t^* > 3p^* \end{cases},$$

где $p_t^* = \dfrac{F_r Q_2 f_s^* f_t^*}{3\left(Q_1 f_t^* - Q_2 f_s^*\right)}$ критическое давление, F_r – множитель динамического роста давления и

$$Q_1 = R_3(\theta/6, 0) \quad Q_2 = Q(p^*).$$

В этих выражениях f_t^* и f_s^* представляют собой прочность бетона на растяжение и сдвиг относительно прочности на сжатие f_c, и значения Q вводятся для учета меридианной зависимости растяжения и сдвига.

Максимальная потеря прочности описывается как функция относительного давления:

$$Q = Q(p^*) = Q_0 + Bp^*.$$

Упрочнение описывается линейно по отношению к пластической деформации, где

$$\varepsilon_p^* = \min\left(\frac{\varepsilon_p}{\varepsilon_p^h}, 1\right) \qquad \varepsilon_p^h = \frac{\sigma_y(p^*, s, \dot{\varepsilon}_p, \varepsilon_p^*)(1 - F_e F_c)}{\gamma 3 G^*}.$$

здесь

$$G^* = \xi G,$$

где G - модуль сдвига исходного материала, а ξ понижающий фактор, отражающий упрочнение.

Когда упрочнение достигает предела прочности бетона на поверхности разрушения, повреждения накапливаются при дальнейшем неупругом нагружении, контролируемой пластической деформацией. Пластическая деформация при разрушении определяется как [18]:

$$\varepsilon_p^f = \begin{cases} D_1\left(p^* - (1-D)p_t^*\right)^{D_2} & p^* \geq (1-D)p_t^* + \left(\frac{\varepsilon_p^m}{D_1}\right)^{1/D_2} \\ \varepsilon_p^m & (1-D)p_t^* + \left(\frac{\varepsilon_p^m}{D_1}\right)^{1/D_2} > p^* \end{cases}$$

Параметр повреждения при пластическом деформировании определяется в соответствии с

$$D = \int_{\varepsilon_p^h}^{\varepsilon_p} \frac{d\varepsilon_p}{\varepsilon_p^f},$$

и полученная поверхность разрушения дана как:

$$\sigma_d(p^*, s, \dot{\varepsilon}_p) = \begin{cases} \sigma_y(p^*, s, \dot{\varepsilon}_p, 1)(1-D) + D f_c \sigma_r^*(p^*) & p^* \geq 0 \\ \sigma_y(p^*, s, \dot{\varepsilon}_p, 1)\left(1 - D - \frac{p^*}{p_t^*}\right) & (1-D)p_t^* \leq p^* < 0 \end{cases},$$

где $\sigma_r^*(p^*) = A_f\left(p^*\right)^{n_f}$

Для демонстрации работы, приведенной выше модели, была решена задача о расчете стены показанной на рис. 3, схема армирования показана на рис. 4. Решение получено на базе ППП LS-DYNA, где реализована модель RHT. Материал конструкции принимался следующий: бетон прочностью на сжатие 35 МПа, арматура А400 диаметром 12 мм, продольная, 10 стержней всего, величина заряда 200 кг в тротиловом эквиваленте [17]. Размеры стены 15х8х1,5 м; заряд расположен на высоте 3 м над поверхностью в центре плана.

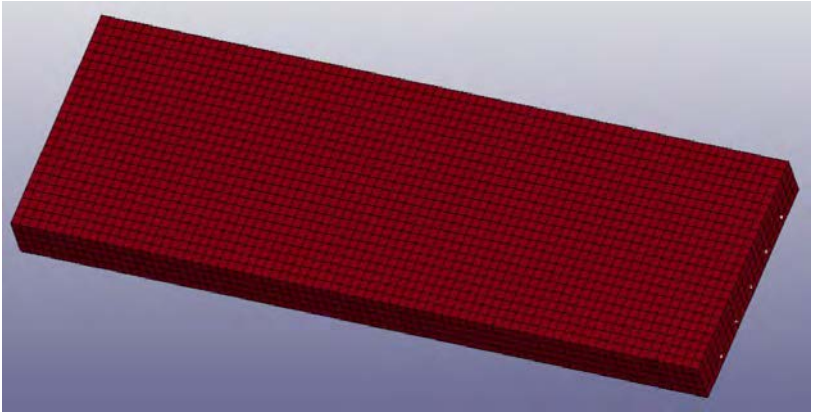


Рис. 3. Вид стены, КЭ схема

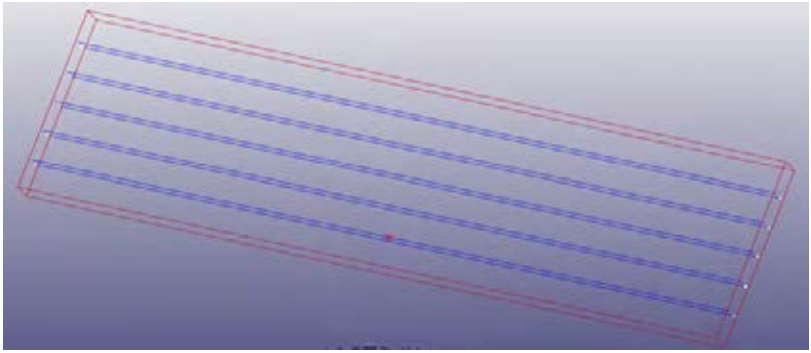


Рис. 4. Схема армирования стены

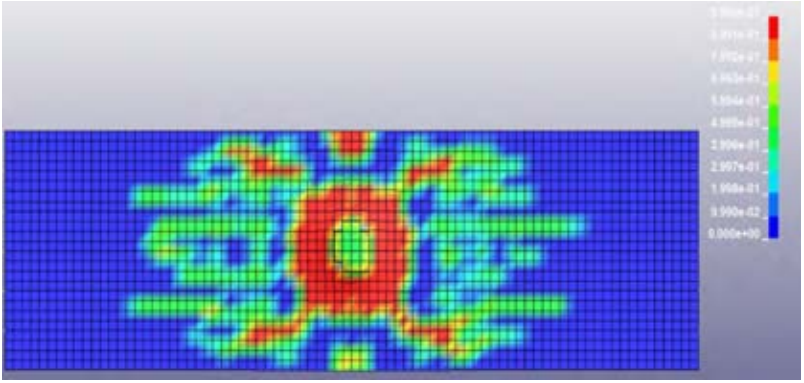


Рис. 5. Эффективные пластические деформации в стене

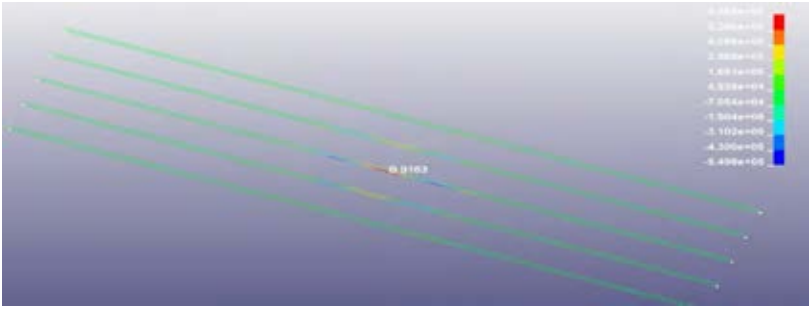


Рис. 6. Максимальные растягивающие усилия в арматуре, Н

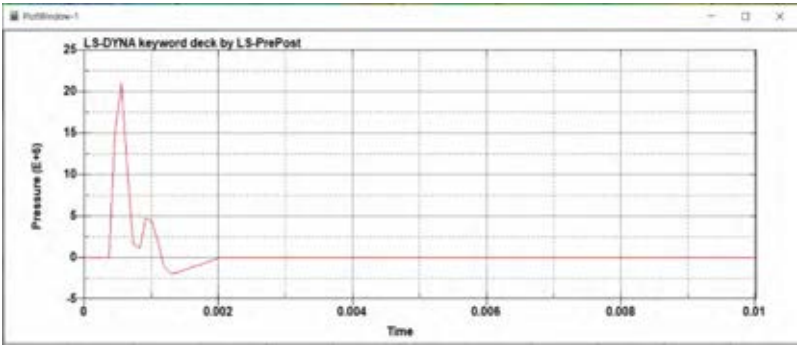


Рис. 7. График изменения максимального давления от времени, Па

Рис. 8. График изменения максимального значения перемещений в стене от времени, мм

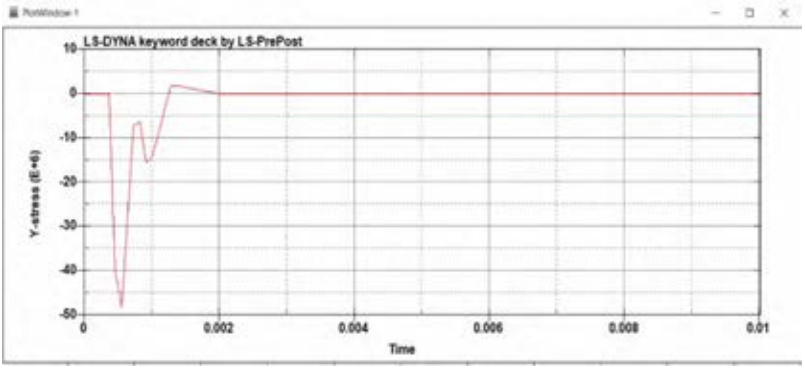


Рис. 9. Значение напряжений σy в центре стены от времени, МПа

Воздействия на сооружения, вызванные взрывными нагрузками, учитывать необходимо, поскольку многие из них могут быть причиной разрушения или повреждения зданий и сооружений, влиять на сохранность оборудования и угрожать здоровью и жизни людей. Проектирование взрывоустойчивых конструкций зданий и усиление существующих — меры, которые необходимо принимать в целях минимизации риска гибели людей, а также риска разрушений. Начальный этап взрывоустойчивого проектирования — определение параметров взрывной нагрузки. Цели оценки нагрузки: установление и достижение приемлемого уровня угроз, для обеспечения которого должны быть реализованы меры по смягчению последствий взрыва и защите зданий. Важная задача — сохранение конструкции здания путем исключения возможности прогрессирующего обрушения. Этого можно добиться, следуя основным рекомендациям по проектированию взрывоустойчивых конструкций: расчет и анализ ключевых структурных элементов, без которых здание не способно противостоять сильной нагрузке от высокого давления. Принимая во внимание вышеуказанные параметры, могут быть выбраны подходящие материалы и соответствующие стратегии проектирования, которые позволят уменьшить последствия взрыва.

Библиографический список

1. Баженов Ю.М. Бетон при динамическом нагружении. – М.: Стройиздат, 1970. 271 с.

2. Бате К. Численные методы анализа и метод конечных элементов / К. Бате, Е. Вилсон. – М.: Стройиздат, 1982. – 448 с.

3. Бирбраер А.Н., Роледер А.Ю. Экстремальные воздействия на сооружения. — СПб: Изд-во Политехн. ун-та, 2009. — 594 с.

4. Галлагер Р. Метод конечных элементов. Основы / Р. Галлагер. – М.: Мир, 1984. – 428 с.

5. Козлитин А.М., Попов А.И., Козлитин П.А. Теоретические основы и практика анализа техногенных рисков. Вероятностные методы количественной оценки опасностей техносферы. — Саратов: СГТУ, 2002. — 178 с.

6. Количественный анализ риска при обосновании взрывоустойчивости зданий и сооружений/ Д.В. Дегтярев, М.В. Лисанов, С.И. Сумской, А.А. Швыряев// Безопасность труда в промышленности. — 2013. — № 6. — С. 82–89.

7. Мартынюк В.Ф. Лекции по теории горения и взрыва: учеб. пособие. — М.: Изд. центр РГУ нефти и газа им. И.М. Губкина, 2014. — 184 с.

8. Методика оценки последствий аварийных взрывов топливно-воздушных смесей: рук. по безопасности: приказ Ростехнадзора от 31 марта 2016 г. № 137. — Сер. 27. — Вып. 15. — М.: ЗАО НТЦ ПБ, 2016. — 44 с.

9. Методы обоснования взрывоустойчивости зданий и сооружений при взрывах топливно-воздушных смесей на опасных производственных объектах: рук. по безопасности: приказ Ростехнадзора от 13 мая 2015 г. № 189. — Сер. 27. — Вып. 17. — М.: ЗАО НТЦ ПБ, 2016. — 78 с.

10. Невская Е.Е., Глебова Е.В. Анализ способов и средств повышения уровня защиты зданий и сооружений от действия ударных волн // Безопасность труда в промышленности. — 2017. — № 2. — С. 73–78.

11. Расторгуев Б.С., Плотников А.И., Хуснутдинов Д.З. Проектирование зданий и сооружений при аварийных взрывных воздействиях. — М.: Изд-во АСВ, 2007. — 152 с.

12. Расчет зон разрушения зданий и сооружений при взрывах топливно-воздушных смесей на опасных производственных объектах/ К.В. Ефремов, М.В. Лисанов, А.С. Софьин и др.// Безопасность труда в промышленности. — 2011. — № 9. — С. 70–77.

13. Сегерлинд Л. Применение метода конечных элементов / Л. Сегерлинд. – М.: Мир, 1979. – 392 с.

14. Сравнительный анализ российских и зарубежных методик и компьютерных программ по моделированию аварийных выбросов и оценке риска/ Е.А. Агапова, Д.В. Дегтярев, М.В. Лисанов и др.// Безопасность труда в промышленности. — 2015. — № 9. — С. 71–78.

15. Физика взрыва / Под ред. Л.П. Орленко. – Изд. 3-е, переработанное. – В 2 т. Т.1. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2002. –832 с.

16. American Society of Civil Engineers «Design of blast resistant buildings in petrochemical facilities». — New York, 2010. — 318 p.

17. Moxnes J.F. et al. (2014) Experimental and numerical study of the fragmentation of expanding warhead casings by using different numerical codes and solution technics. Defence Technology, vol. 10, pp. 161-176.

18. Riedel W., Thoma K., Hiermaier S. Schmolinske E. (1999) Penetration of reinforced concrete by BETA-B-500. Numerical analysis using a new macroscopic concrete model for hydrocodes. Proceeding of 9th international symposium on interaction of the effects of munitions with structures. Berlin, pp. 315-322.

19. Tham C.Y. (2005) Reinforced concrete perforation and penetration simulation using Autodyn 3D. Finite Elements in Analysis and Design,vol. 41, pp. 1401-1410.

20. Uddin N. Blast Protection of Civil Infrastructures and Vehicles Using Composites. — New York, 2010. — 488 p.

УДК 539.3

ПОСТРОЕНИЕ КОНЕЧНО-ЭЛЕМЕНТНОЙ МОДЕЛИ ДЕФОРМИРОВАНИЯ ПРЯМОУГОЛЬНЫХ ОРТОТРОПНЫХ ПЛАСТИН СРЕДНЕЙ ТОЛЩИНЫ ИЗ РАЗНОСОПРОТИВЛЯЮЩИХСЯ МАТЕРИАЛОВ

Трещев А.А., Лапшина М.А., Завьялова Ю.А.
Тульский государственный университет, г.Тула, Россия

Для описания конечно-элементной модели деформирования прямоугольных ортотропных пластин средней толщины из разносопротивляющихся материалов были применены гибридные конечные элементы с пятью степенями свободы в узле, а также построена матрица жесткости.

При выборе конечно-элементной модели были рассмотрены прямоугольные параметрические элементы, но как показали численные эксперименты на примере однородных по толщине пластин из изотропного линейно упругого материала, при уменьшении толщины из изопараметрических элементов, учитывающих деформации поперечного сдвига, наблюдается прогрессирующее возрастание изгибной жесткости по сравнению с данными классической теории изгиба тонких пластин. Свойство изопараметрических конечных элементов охарактеризовано как наличие «паразитных жесткостей». «Паразитные жесткости» можно нейтрализовать методом «сокращенного интегрирования». Однако этот метод при расчете требует достаточно мелкого разбиения на конечные элементы, что невыгодно по расходу машинного времени.

Весьма экономичным и свободным от «паразитных жесткостей» элементами представляются гибридные конечные элементы. В работе Р. Кука были получены две модификации гибридных конечных элементов с тремя степенями свободы в узле. Обе модификации выведены для четырехугольных конечных элементов путем суперпозиции четырех треугольных элементов. Различие между двумя модификациями заключалось в степени точности. На их основе А.А. Трещев разработал более рациональную модификацию гибридных конечных элементов с пятью степенями свободы в узле и матрицей жесткости, полученной непосредственно для прямоугольного элемента с четырьмя узлами, ее и будем использовать для расчета деформирования прямоугольных ортотропных пластин средней толщины из материалов, чувствительных к виду напряженного состояния.

Матрица жесткости конечного элемента

Внутри конечного элемента вектор обобщенных сил представим следующим способом:

$$\{M\}=[P]\{\beta\}, \tag{1}$$

где $[P]$ – матрица некоторых функций от координат точки элемента; $\{\beta\}$ –вектор коэффициентов, подлежащих определению.

Получим вектор обобщенных деформаций

$$\{\varepsilon\}=[D]^{-1}\{M\}=[E]\{M\}. \tag{2}$$

Учитывая, что матрица $[E]$ представляет собой интеграл по толщине пластины, определим энергию деформации для объёма конечного элемента, как интеграл по его площади

$$U=\frac{1}{2}\int_S\{M\}^T[E]\{M\}dS. \tag{3}$$

П. Тонгом и Т. Пианом показано [4, 5], что конечные элементы данного класса основаны на функционале вида

$$\Pi=\sum_n(U_n-\int_{V_n}\{\Phi\}^T\{t\}dS+\int_{S_n}\{\bar{\Phi}\}^T\{t\}dS, \tag{4}$$

где V_n – граница объема элемента; S_n – часть V_n, подвергнутая действию внешнего вектора сил $\{\Phi^*\}$; n – количество элементов, покрывающих плиту; $\{t\}$ – граничные перемещения, связанные с узловыми перемещениями $\{q\}$ выражением:

$$\{t\}=[L]\{q\}. \tag{5}$$

Вектор сил на границе элемента $\{\Phi\}$ определится из уравнения (6):

$$\{\Phi\}=[R]\{\beta\}, \tag{6}$$

где $[R]$ – матрица $[P]$ для контура V_n элемента.

Подставляя выражения (1), (3), (5), (6) в уравнение (4), получим:

$$\Pi=\sum_n(\frac{1}{2}\{\beta\}^T[H]\{\beta\}-\{\beta\}^T[T]\{q\}+\{\Phi_0\}^T\{q\}), \tag{7}$$

где

$$[H]=\int_{S}[P]^{T}[E][P]dS; \tag{8}$$

$$[T]=\int_{V_n}[R]^{T}[L]dS; \tag{9}$$

$$\{\Phi_0\}^{T}=\int_{S_n}\left\{\bar{\Phi}\right\}^{T}[L]dS. \tag{10}$$

При этом:

$$S_0=\int_{s}\alpha_1 dx_1 dx_2=\int_{s}\alpha_2 dx_1 dx_2=0,$$

$$S=\int_{s}dx_1 dx_2=\frac{1}{2}\begin{vmatrix}1 & x_{1i} & x_{2i}\\ 1 & x_{1j} & x_{2j}\\ 1 & x_{1k} & x_{2k}\end{vmatrix} \text{ - площадь треугольника} \tag{11}$$

$$S_1=\int_{s}\alpha_1^2 dx_1 dx_2=\frac{S}{12}\left(x_{1i}^2+x_{1j}^2+x_{1k}^2\right),$$

$$S_2=\int_{s}\alpha_2^2 dx_1 dx_2=\frac{S}{12}\left(x_{2i}^2+x_{2j}^2+x_{2k}^2\right),$$

$$S_1=\int_{s}\alpha_1^2 dx_1 dx_2=\frac{S}{12}\left(x_{1i}x_{2i}+x_{1j}x_{2j}+x_{1k}x_{2k}\right),$$

Определив вариации модифицированного функционала (7) по коэффициентам $\{\beta\}$ и узловым перемещениям $\{q\}$ и приравняв их нулю, получены основные уравнения МКЭ:

$$\sum_{n}[T]^{T}[H]^{-1}[T]\{q\}=\sum_{n}\{\Phi_0\}, \tag{12}$$

Откуда выделяется матрица жесткости КЭ:

$$[K]=[T]^{T}[H]^{-1}[T], \tag{13}$$

Устанавливается связь коэффициентов $\{\beta\}$ с узловыми перемещениями $\{q\}$:

$$\{\beta\}=[H]^{-1}[T]\{q\}. \tag{14}$$

Подстановка выражения (14) в соотношения (1) дает возможность определить вектор обобщенных сил в виде:

$$\{M\} = [P][H]^{-1}[T]\{q\}. \qquad (15)$$

Соотношение (15) позволяет определить вектор $\{M\}$ непосредственно после вычисления $\{q\}$.

Библиографический список

1. *Трещев А.А. Нелинейные определяющие соотношения для ортотропных разносопротивляющихся материалов [Текст] / А.А.Трещев // Сборник материалов XVIII Международной научно-технической конференции «Актуальные проблемы строительства, строительной индустрии и промышленности». – Тула: ТулГУ. – 2017. – С. 180 – 184.*
2. *Трещев А.А. Потенциальная зависимость между деформациями и напряжениями для ортотропных физически нелинейных материалов [Текст] / А.А.Трещев // Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии. – Орел: ОГУ. – 2017. – № 4-1 (324). – С. 71 – 74.*
3. *Трещев А.А. Удельная дополнительная работа деформирования ортотропных физически нелинейных материалов [Текст] / А.А.Трещев, Ю.А.Монастырев, В.Д. Чибрикина // Социально-экономические и экологические проблемы горной промышленности, строительства и энергетики: 13-я Международная конференция по проблемам горной промышленности, строительства и энергетики. – Тула: ТулГУ, 2017. – Т. 2. - С. 208 – 212.*
4. *Pian T.T.H. Derivation of element stiffness matrices by assumed stress distribution // AIAA Journal. - 1967. - Vol 5. - P. 1332-1336.*
5. *Tong P. and Pian T. H. H. A variation principle and the conver-gence of a finite-element method based on assumed stress dis-tribution // Int. J. Solids Struct. – 1969. – P. 463-472.*

ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

УДК 504.55.054:622(470.6)

ПОВЫШЕНИЕ КАЧЕСТВА ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ В ОБЛАСТИ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО МЕНЕДЖМЕНТА В ГОРНОДОБЫВАЮЩЕЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ И СТРОИТЕЛЬСТВЕ

Ролевич И.В., Морзак Г.И., Зеленухо Е.В.
Белорусский национальный технический университет,
г.Минск, Республика Беларусь

Представлены исследования в области совершенствования информационно-образовательной среды как фактора повышения качества высшего образования в области экологического менеджмента в горнодобывающей промышленности и строительстве. Реализация его позволит перевести на новый технологический уровень все информационные процессы, проходящие в учреждениях высшего образования. Использование информационно-образовательной среды в образовательном процессе, позволяет на новом уровне осуществить дифференциацию обучения, повысить мотивацию учащихся, обеспечить наглядность представления материала, обучать современным способам самостоятельного получения знаний, что явится условием достижения нового качества образования.

Внедрение системы экологического менеджмента на предприятиях горнодобывающей промышленности и строительства вызвано чрезвычайной ситуацией с накоплением отходов производства, загрязнением воды и воздуха, обострением экологического сознания людей, перспективой выхода на мировой рынок, возникновением новых рынков ресурсосберегающих технологий и др. Одной из наиболее значительных международных природоохранных инициатив является внедрение международных стандартов в области систем экологического менеджмента (ISO 14000). Понимание влияния деятельности предпри-

ятий горнодобывающей промышленности и строительства на окружающую среду и внедрение стратегической политики для снижения этого воздействия является важным аспектом устойчивого развития. В значительной мере этому способствует совершенствование высшего образования в области экологического менеджмента в горнодобывающей промышленности и строительстве.

Стратегической целью развития информационно-образовательной среды (ИОС) современного образования в этой области является обеспечение доступности качественного образования потребителям образовательной услуги за счет эффективного использования ресурсов: финансовых, кадровых, материально-технических. Интенсивное внедрение информационных процессов во все сферы человеческой деятельности требует разработки новой модели системы образования в горнодобывающей отрасли на основе современных информационных технологий. Необходимо создать условия, в которых учащийся мог бы раскрыть свой творческий потенциал полностью, развить свои способности, воспитать в себе потребность непрерывного самосовершенствования и ответственности за собственное воспитание и развитие. ИОС рассматривается как одно из условий достижения нового качества образования [1].

ИОС содержит три содержательных уровня:

- первый уровень – педагогическая система, определяющая форму и содержание, остальные содержательные уровни ИОС;

- второй уровень – система информационно-образовательных и электронно-образовательных ресурсов (ИОР и ЭОР), методических ресурсов, ресурсов информационной среды, имеющих образовательное значение; этот уровень непосредственно связан с педагогической системой, развивается и функционирует под ее управлением.

- третий уровень – образовательная медиа-среда, содержащая познавательные и социокультурные ресурсы общей среды, связанные с образованием, самообразование, саморазвитием учащихся, самостоятельным добыванием ими знаний. Этот уровень ИОС опосредованно управляет педагогической средой.

К основным ресурсам, необходимым для существования и функционирования ИОС учреждений высшего образования (УВО), относятся: технические ресурсы (физическая составляющая); кадровые ресурсы (интеллектуальная составляющая); учебно-методические ресурсы (информационная составляющая). ИОС УВО создается для того, чтобы учащийся мог получать самые новые знания, умел активно их применять, научился диалектически мыслить, раньше социализировался и легче адаптировался к быстро меняющемуся миру [2].

Цели создания ИОС в УВО тесно связаны с основными целями деятельности УВО. Существует и обратная связь: процесс информатизации оказывает существенное влияние на цели образования. Эта взаимозависимость отражается в выработке новых требований к современным УВО. Приведем некоторые из них:

- обновленное содержание образования, интеграция ИКТ технологий в образовательный процесс;
- активные формы учебной деятельности;
- инновационные формы организации образовательного процесса, в том числе проектная, исследовательская, дистанционная форма, индивидуализация; образовательная среда, включающая цифровые учебные инструменты и электронное цифровое хранилище работ учащихся и педагогов, записей учебных занятий, доступное внутри и вне УВО и др.

Сложность информационных процессов в УВО высока из-за большого количества связей в деятельности педагогических и вспомогательных кадров. Они представляют собой информационный процесс производства, хранения, обмена и потребления различной информации. В силу этого обстоятельства среду, в которой они применяются, можно рассматривать в качестве информационной среды. В этом процессе обязательно присутствуют следующие компоненты:

- программно-аппаратная организация информационной среды;
- учебно-методические информационные ресурсы;
- методики организации деятельности педагогического коллектива в самой среде.

ИОС в УВО должна обеспечить: наличие единой базы данных; однократный ввод данных с возможностью их последующего редактирования; многопользовательский режим; разграничение прав доступа к данным; использование одних и тех же данных в различных приложениях и в процессах; возможность обмена данными между различными прикладными программами без выполнения операций экспорта-импорта [3].

Эффективность процесса получения знаний обеспечивается ИОС в УВО за счет улучшения реализации основной образовательной программы УВО. Этому способствует возможность осуществлять в электронной (цифровой) форме следующие виды деятельности:

- информационно-методическую поддержку образовательного процесса;
- планирование образовательного процесса и его ресурсного обеспечения;

- мониторинг и фиксацию хода и результатов образовательного процесса;
- современные процедуры создания, поиска, сбора, анализа, обработки, хранения и представления информации;
- дистанционное взаимодействие всех участников образовательного процесса, в том числе в рамках дистанционного образования;
- дистанционное взаимодействие образовательного учреждения с другими организациями [4].

Требованиями, предъявляемыми к ИОС, являются многофункциональность, целостность, модульность, полисубъектная направленность и многоуровневость. Организация ИОС в УВО с использованием современных компьютерных и информационных технологий – это уже не просто набор информации в электронном виде, пусть даже структурированный по примеру электронных библиотек, но и система связи, и профессиональная и проектная деятельность в этой среде, и система доступа к различным хранилищам самой разнообразной информации.

Аппаратной основой информационной образовательной среды является локальная сеть, которая обеспечивает удаленный доступ и к компьютерам и к периферийным устройствам. Наличие сети позволит организовать хранение данных на одном носителе и использовать их одновременно с различных рабочих станций. Применение совершенного программного обеспечения позволит преподавателям создавать и тиражировать вполне пригодные для использования на занятиях дидактические средства. Возможно и проведение тестирования учащихся, как в целях проверки знаний, так и в целях психолого-педагогической диагностики [5].

Высококачественная и высокотехнологичная ИОС позволяет системе образования коренным образом модернизировать свой технологический базис, перейти к образовательной информационной технологии в широком смысле этого слова. Применение новейших информационных технологий должно способствовать решению педагогических задач, которые сложно или невозможно решать традиционными методами. Критериями качества ИОС являются насыщенность, структурированность и продуктивность. Причём, насыщенность можно выразить через систему показателей, характеризующих количественно и качественно её ресурсный потенциал; структурированность в удобстве навигации и использования обучающимися этих ресурсов; а продуктивность через систему предметных, межпредметных и личностных результатов [6].

Для создания и развития ИОС должен быть полностью задействован научно-методический, информационный, технологический, ор-

ганизационный и педагогический потенциалы, имеющиеся в УВО. При этом нельзя допустить разрушения сложившейся образовательной системы. Используя накопленный опыт, необходимо выстроить новую открытую ИОС, интегрирующую все доступные УВО информационные технологии, обеспечить переход преподавателей к сознательному использованию методических и информационных средств в полном объеме.

Модернизация образования имеет своей целью повышение его качества, достижение новых образовательных результатов, адекватных требованиям современного общества. Она в значительной мере обусловлена тем, что образовательный процесс стал все в меньшей степени соответствовать социальным ожиданиям.

Обращение к ИОС существенно расширяет состав и возможности ряда компонентов образовательной среды. Так, к числу источников учебой информации в этих условиях можно отнести базы данных и информационно-справочные системы, электронные учебники и энциклопедии, ресурсы Интернета и т.д. Как инструменты учебной деятельности можно рассматривать компьютерные тренажеры, контролирующие программы и т.д., как средства коммуникаций – локальные компьютерные сети или Интернет. В таких условиях изменяется роль субъектов: в центре обучения оказывается сам обучающийся – его мотивы, цели, его психологические особенности. Все методические решения (организация учебного материала, использованные приемы, способы, упражнения и т.д.) преломляются через призму личности обучаемого – его потребностей, способностей, активности, интеллекта и др.

Функции средств обучения, входящих в состав ИОС, разнообразны [7].

Во-первых, это формирование мотивации и готовности к обучению. Для этого можно использовать богатые возможности компьютера: визуализацию учебного материала, имитационное моделирование проблем в изучаемой области и воссоздание ситуаций мотивационного характера.

Во-вторых, это организация учебной деятельности. Его содержание существенно отличается от традиционного. Знания не передаются в «готовом виде», а формируются посредством организации самостоятельных исследований обучаемых. На этом этапе использование ПК связано с реализацией функции информационного моделирования (создания знаковых моделей) объектов изучения. Благодаря этому обеспечивается возможность «погружения» обучаемых в определенную предметную среду, где развертывается их исследовательская дея-

тельность, им предоставляется возможность проведения экспериментов с моделями изучаемых объектов, процессов и явлений. Наличие информационных технологий обучения делает возможным получение результатов, которые в рамках традиционной образовательной среды недостижимы. Важным условием повышения качества обучения является систематический контроль над ходом учебной деятельности, ее рефлексия и своевременная коррекция. Средства информационно компьютерных технологий (ИКТ) обладают достаточно широкими возможностями для этого. Они помогают осуществлять текущую, тематическую и итоговую проверку, постоянно накапливать информацию о результатах учебной деятельности, результатах решения учебных задач и создания проектов. При этом персональный компьютер позволяет представлять любое действие в развернутой последовательности операций, показывать его результат, условия выполнения; фиксирует промежуточные пооперационные результаты, обеспечивает интерпретацию каждого шага в построении и преобразовании объекта, выбор стратегии решения задачи и т. д. Средства контроля ИКТ могут выступать как средства формирования самооценки и самоконтроля обучаемых. В существующей практике обучения преподаватель не осуществляет рефлексивных действий и не формирует эти умения у обучаемых либо делает это неосознанно, стихийно, без четко обозначенных целей и критериев. В формируемой новой образовательной среде этот компонент деятельности приобретает большое значение. В процессе рефлексии и преподаватель, и обучаемые ставят перед собой вопросы: что, как и почему они делали, чем обусловлены те или иные учебные достижения или пробелы в знаниях, умениях, навыках. Анализируется уровень продвижения в освоении учебного материала в формировании умений целенаправленного поиска средств для решения возникающих проблем, а также характер взаимодействия обучаемых между собой и с преподавателем.

Значительную роль в этом процессе играют средства контроля на базе ИКТ, входящие в ИОС. В частности, анализ полученных с их помощью результатов операционного контроля учебной деятельности, обращение к данным ее накопительного оценивания (портфолио). Реализацию нормативной функции рефлексии могут осуществлять различного типа компьютерные экспертные системы педагогической и психологической диагностики. Итоги анализа станут основанием для коррекции или планирования новых вариантов методики обучения, индивидуальных образовательных маршрутов каждого обучаемого.

Высокий темп научно-технического прогресса в области экологического менеджмента в горнодобывающей промышленности и стро-

ительстве ставит перед УВО задачу подготовки специалистов, способных самостоятельно мыслить, уметь видеть возникающие проблемы, искать рациональные пути их решения, используя современные технологии; адаптироваться к быстро изменяющимся условиям современного общества, пополнять свои знания профессиональной деятельности; уметь работать в коллективе; эффективно использовать информационные ресурсы для решения профессиональных задач [8].

Таким образом, совершенствование ИОС в области экологического менеджмента в горнодобывающей промышленности и строительстве в УВО позволит перевести на новый технологический уровень все информационные процессы, проходящие в УВО, для чего необходима полная интеграция ИОС в педагогическую деятельность вуза. Использование ИОС в образовательном процессе, позволяет на новом уровне осуществить дифференциацию обучения, повысить мотивацию учащихся, обеспечить наглядность представления материала, обучать современным способам самостоятельного получения знаний, что явится условием достижения нового качества образования.

Библиографический список:

1 Гусарова, М.Н. Принципы и теоретические основы проектирования информационно-образовательной среды // Современные проблемы науки и образования. – 2014. – № 1. – С. 210-219.

2 Адаманский, А.В. Информационная модель управления высшим учебным заведением / А.В. Адаманский // Вестник НГУ – 2010 – Т. 8, выпуск 3 – С. 11-18.

3 Денисова, А.Л. Концептуальные основы проектирования систем непрерывной профессиональной подготовки в условиях многоуровневого комплекса: монография / А.Л. Денисова, Н.В. Молоткова, Е.Э. Захаржевская. – Орел: Изд-во Орл. регион. акад. гос. службы, 2005. – 328с.

4 Репета, Л.М. Педагогические условия формирования информационно-исследовательской компетенции// Современные проблемы науки и образования. – 2013. – № 2. – С. 120–130.

5 Трайнев, В.А. Электронно-образовательные ресурсы в развитии информационного общества (обобщение и практика): монография / В.А. Трайнев. – М.: Издательско-торговая корпорация «Дашков и К°», 2015. – 256 с.

6 Федотова, Е.Л. Информационные технологии и системы: Учебное пособие / Е.Л. Федотова. – М.: ИД ФОРУМ: НИЦ Инфра-М, 2013. – 352 с.

7 Стратегия развития сетевого взаимодействия образовательных учреждений: новое качество образования. Материалы межрайонной научно-практической конференции. – Белгород: ООО «ГиК», 2010. – С. 210-239.

8. Ролевич, И.В. Формирование информационно-образовательной среды в учреждениях высшего образования: научное издание/ И.В. Ролевич, Е.В. Зеленухо, Г.И. Морзак. - Минск: РИВШ, 2019.-124 с.

УДК 338.2:378.2

ОПТИМИЗАЦИЯ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ И «ЗЕЛЕНАЯ» ПОЛИТИКА

Морзак Г.И., Сидорская Н.В., Мартынюк С.С., Зеленухо Е.В.
Белорусский национальный технический университет,
г.Минск, Республика Беларусь

В работе рассмотрены условия проведения «зеленой» политики. Проведен анализ выпуска специалистов с высшим образованием по профилям образования - техника и технологии; экологические науки. Рассмотрены профессиональные компетенции выпускника учреждения образования технического и экологического профиля высшего образования по осуществлению принципов «зеленой» политики. Сделан вывод о необходимости применения в учреждениях высшего образования комплекса информационных образовательных ресурсов для обеспечения профессиональных компетенций специалистов по природопользованию и охране окружающей среды.

«Зеленая политика» направлена на создание экологически устойчивого общества, основанного на защите окружающей среды. На практике цели «зеленой политики достигаются в основном путем снижения воздействия на окружающую среду от производства, государственных и частных инвестиций, создания рабочих мест. На национальном уровне выделены шесть условий для обеспечения зеленого роста:

- обучение и подготовка специалистов;
- сдвиг в приоритетах госзатрат;
- более эффективное применение законодательства;
- правовые режимы пользования ресурсами и землей;
- создание условий для необходимых изменений в психологии и поведении;
- помощь бизнесу по полной интеграции в свою деятельность принципов устойчивости и равенства.

Переход к устойчивой экономике приведет к изменениям в профессиональных структурах работников, вырастет потребность в получении специалистами новой квалификации, в совершенствовании профессиональных знаний, необходимых для устойчивого развития. Для того чтобы получить новый опыт и знания, необходимо повышать квалификацию во всех видах деятельности [1].

Основными принципами организации учебного процесса получения высшего образования являются системность, полисубъектив-

ность, с выделением ведущей роли обучающегося в организации и управлении образовательного процесса, актуальность содержания, форм и методов организации образовательного процесса, модульность, многофункциональность [6,7].

К принципам организации полного образовательного процесса относятся:

– многокомпонентность – разработка и внедрение учебно-методических материалов, наукоемкого программного обеспечения, тренинговых систем, системы контроля знаний, технических средств, баз данных и информационно-справочных систем и др., взаимосвязанных между собой;

– интегральность – информационная компонента процесса образования должна включать в себя всю необходимую совокупность базовых знаний, определяемых профилями подготовки специалистов, учитывать междисциплинарные связи, информационно-справочную базу дополнительных учебных материалов, детализирующих и углубляющих знания;

– распределенность – информационная компонента образовательного процесса оптимальным образом распределена по хранилищам информации (серверам);

– адаптивность – используемый образовательный процесс должен не отторгаться существующей системой образования, не нарушать ее структуры и принципов построения, также должен позволить гибко модифицировать ее, адекватно отражая потребности общества.

На основании данных [2-4] нами проведен анализ выпуска специалистов с дипломом о высшем образовании и выпуска специалистов с дипломом магистра по следующим профилям образования - техника и технологии; экологические науки.

Таблица 1.1

Основные показатели высшего образования

Основные показатели	года				
	2015	2016	2017	2018	2019
Численность студентов в учреждениях высшего образования, тыс. человек	362,9	336,4	313,2	284,3	268,1
Выпущено специалистов с дипломом о высшем образовании, тыс. человек	81,1	78,0	74,6	81,0	64,9
Численность магистрантов, человек	8855	10 27	11782	14947	14705
Выпущено специалистов с дипломом магистра, человек	3 761	4 516	5 034	5920	6774

В табл. 1.1 представлены основные показатели высшего образования за период с 2015 года по 2019 год.

На рисунках 1.1 - 1.7 представлена динамика численности приема студентов и магистрантов и выпуска специалистов с высшим образованием всего и с учетом профиля образования.

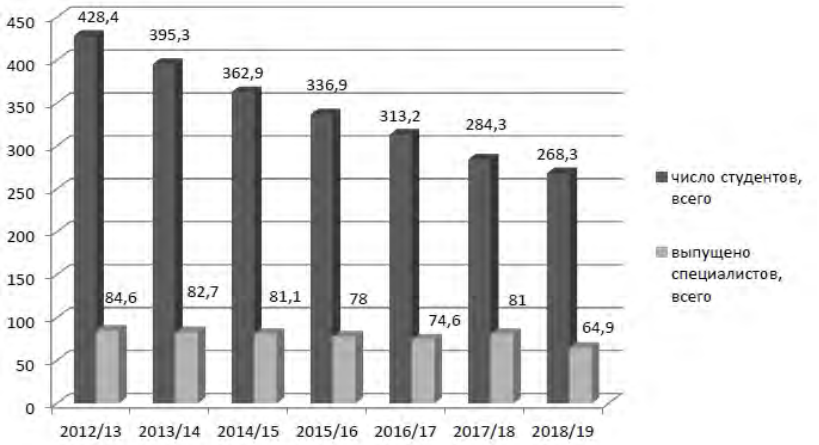


Рис.1.1 Общие показатели по численности приема студентов и выпуска специалистов из учреждений высшего образования (на начало учебного года, тысяч человек)

Характер выпуска специалистов по профилям образования техника и технологии и экологические науки как для высшего образования I ступени, так и для II ступени высшего образования имеет стабильный характер.

Современный образовательный процесс, представляющий собой совокупность распределенных информационных ресурсов, сетевых структур, организационно-методических компонентов системы образования, обеспечивает новое качество получаемых знаний. Для создания, поддержки и развития образовательного процесса к основным источникам учебой информации необходимо отнести базы данных и информационно-справочные системы, электронные учебники и энциклопедии, ресурсы Интернета и т.д.

Разработка и использование комплекса информационных образовательных ресурсов привносит в учебный процесс новые возможности: сочетание высокой экономической эффективности и гибкости учебного процесса, существенное расширение возможностей традиционных форм обучения, а также возможность построения новых эффективных

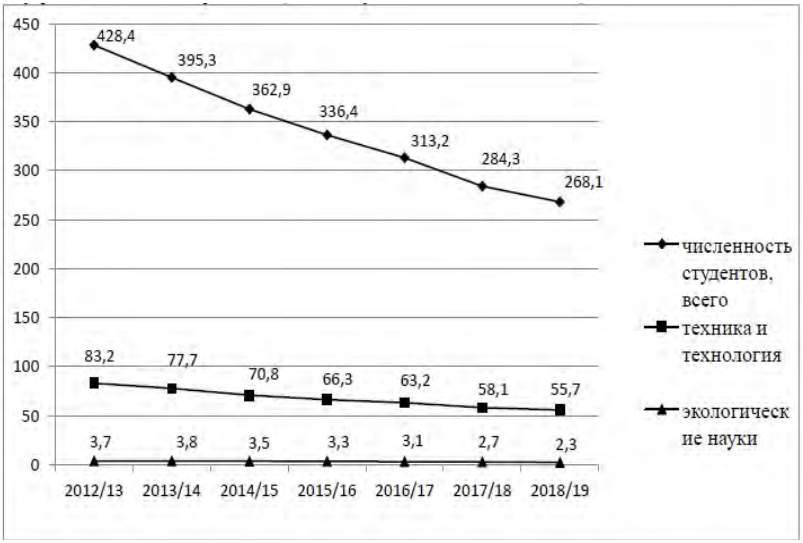


Рис. 1.2 Численность студентов в учреждениях высшего образования по профилю образования (на начало учебного года, тысяч человек)

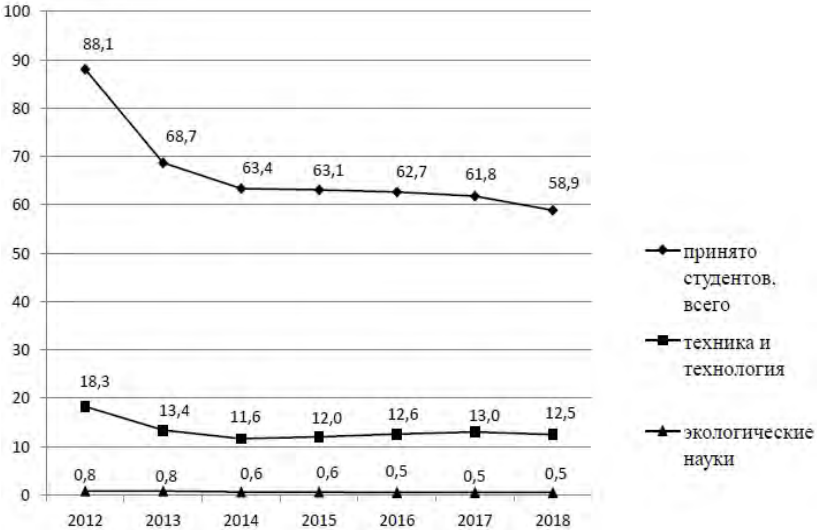


Рис.1.3 Прием студентов в учреждения высшего образования по профилю образования (тысяч человек)

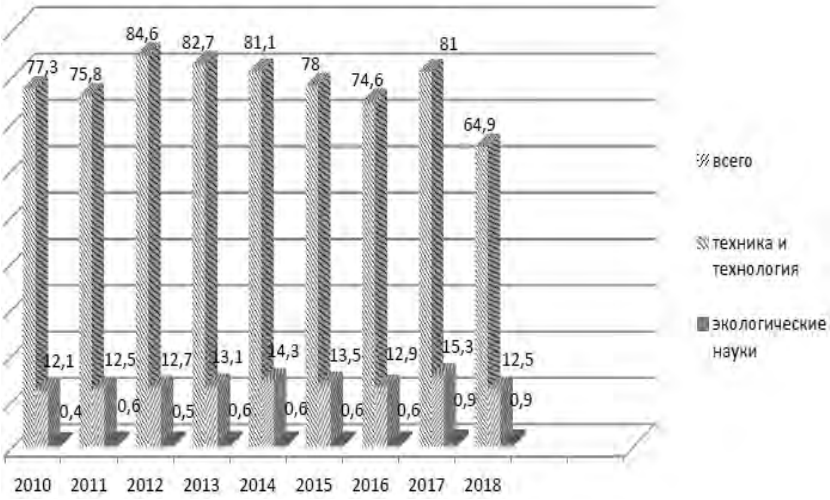


Рис.1.4 - Выпуск специалистов с дипломом о высшем образовании по профилю образования (тыс. человек)

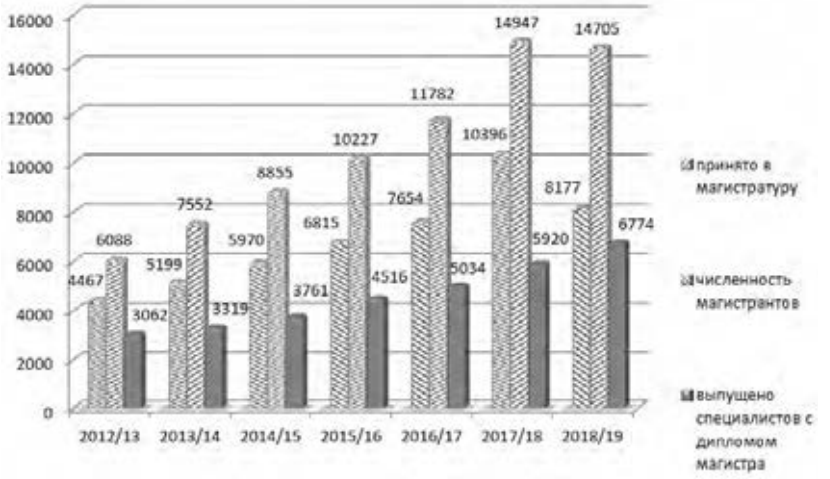


Рис.1.5 Общие показатели по численности, приему и выпуску магистрантов из учреждений высшего образования (на начало учебного года, человек)

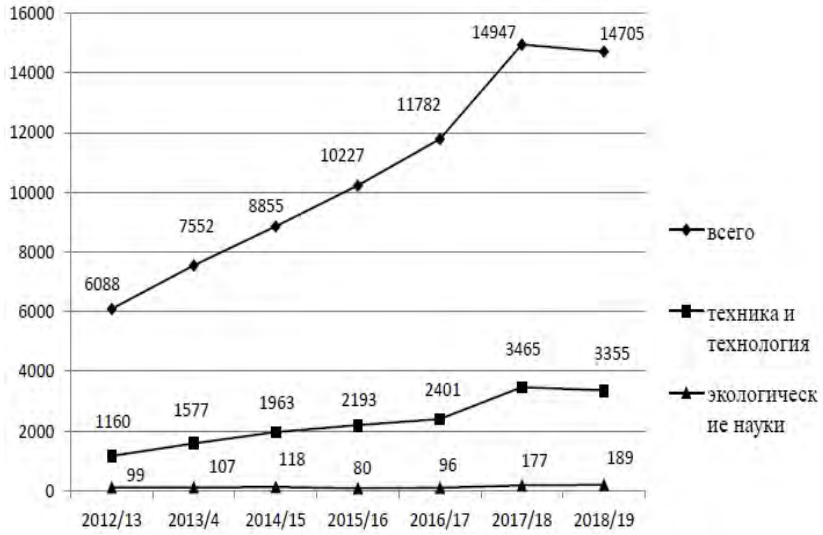


Рис.1.6 Численность магистрантов по профилю образования (человек, на начало учебного года)

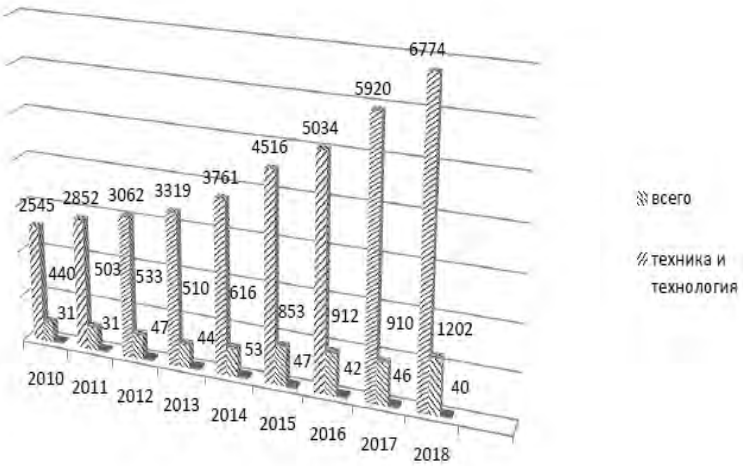


Рис.1.7 - Выпуск специалистов с дипломом магистра (человек)

форм обучения [5]. Следовательно, наличие педагогически полезного и необходимого дидактического обеспечения и комплексный учет всех

факторов и условий обеспечивает результативное функционирование образовательного процесса, что, в свою очередь, ведет к повышению качества подготовки специалистов, способных конкурировать на рынке труда, ориентироваться в сложных ситуациях и принимать правильные управленческие решения.

Таким образом, средства поддержки и развития образовательного процесса включают в себя комплекс информационных образовательных ресурсов, в том числе методическое обеспечение и цифровые образовательные ресурсы ВУЗа.

К основным профессиональным компетенциям выпускника учреждения образования технического и экологического профиля I ступени высшего образования по осуществлению принципов «зеленой» политики относятся осуществление поиска, систематизация и анализ информации по перспективам развития отрасли, инновационным технологиям проектам и решениям, проведение комплексного эколого-экономического анализа всех видов деятельности предприятия и разработка мер по эффективному использованию ресурсов с целью повышения эффективности производственно- хозяйственной и ресурсосберегающей деятельности, осуществления контроля за соблюдением эффективного использования природных ресурсов, лимитов допустимых выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух, сбросов сточных вод и лимитов размещения отходов производства.

Молодой специалист технического и экологического профиля II ступени высшего образования должен обладать универсальными профессиональными компетенциями такими как быть способным применять принципы экологического законодательства, экологические нормы и правила в практической деятельности, проводить экологическую экспертизу и аудит инновационных проектов в области охраны окружающей среды, быть способным понимать и применять в профессиональной деятельности современные достижения науки и инновационные технологии в области экологии, природопользования и охраны окружающей среды.

На основании анализа данных по подготовке и выпуску специалистов по профилям образования - техника и технологии; экологические науки, можно сделать заключение, что уровень высшего образования обеспечивает условие для развития «зеленой» политики в Республике Беларусь.

Библиографический список

1. *Полещук, Л. Н. Система высшего образования в контексте "зеленой экономики" Республики Беларусь / Л. Н. Полещук, А. П. Чуракова // Сб. науч. ст. студентов, магистрантов, аспирантов / Белорус. гос. ун-т, Фак. междунар. отношений. – Минск, 2016. – Вып. 16. – С. 233–235.*

2. *Статистический ежегодник Республики Беларусь: статистический ежегодник / Нац. стат. комитет Респ. Беларусь. Минск: Нац. стат. комитет Респ. Беларусь, 2019 – 471 с.*

3. *Образование в Республике Беларусь (2018/2019 учебный год): статистический сборник / Нац. стат. комитет Респ. Беларусь. Минск: Нац. стат. комитет Респ. Беларусь, 2018. – 46с.*

4. *Образование в Республике Беларусь: статистический сборник / Нац. стат. комитет Респ. Беларусь. Минск: Нац. стат. комитет Респ. Беларусь, 2019. – 187с.*

5. *Ролевич, И.В. Формирование информационно-образовательной среды в учреждениях высшего образования / Ролевич И.В, Зеленухо Е.В. Морзак Г.И.- Минск: РИВШ, 2019.-124 с.*

УДК 338.2:378.2

ЭКОЛОГИЧЕСКОЕ ПРАВО КАК КОМПОНЕНТ ПОДГОТОВКИ ИНЖЕНЕРОВ

Скуратович И.В.
Белорусский национальный технический университет,
г. Минск, Республика Беларусь

Получение образования на первой ступени при подготовке инженеров предусматривает изучение тем, связанных с охраной окружающей среды, в том числе и изучениеэкологического законодательства. Знакомство с принципами и источниками экологического права, а также тенденциями развития законодательства Республики Беларусь и международного права в данной области является необходимым компонентом подготовки инженеров.

Современный подход к охране окружающей среды базируется на принципах устойчивого развития. Обязательным условием при этом является закрепление этих принципов, а также критериев качества природной среды и механизмов его регулирования на законодательномуровне.

Несмотря на то, что развитие промышленности началось в 1760-х годах, люди стали осознавать необходимость установления определенных правил и требований, направленных на уменьшение вредного влияния производственных факторов на природную среду сравнительно недавно.

В дореволюционный период на территории нашей страны развивались положения о правовом режиме природных ресурсов в рамках гражданского законодательства.В период СССР сформировались самостоятельные отрасли права - водное, горное, земельное, лесное.В 1961 году в БССР был принят Закон «Об охране природы».

Экологическое право стало самостоятельной отраслью права с принятием в 1992 году Закона Республики Беларусь «Об охране окружающей среды». Этот этап развития экологического законодательства связан с обретением Республикой Беларусь суверенитета.

В настоящее время белорусское экологическое законодательство является в достаточной степени развитым и разветвленным и состоит из природоохранного и природоресурсного, экологизированных норм иных отраслей законодательства. Важное место в системе экологического законодательства занимают нормы международного права, регулирующие отношения по охране окружающей среды.

С основами законодательства в области охраны окружающей среды и рационального природопользования должен быть знаком каждый инженер. Это позволит специалистам выявлять экологические аспекты деятельности предприятий и снижать вредные воздействия технологических процессов на компоненты окружающей среды в соответствии с актуальными нормами законодательства. Вопросы природоохранной деятельности касаются не только экологов на предприятии, а буквально каждого сотрудника.

Для специальностей инженерного профиля на первой ступени получения образования экологическое законодательство изучается в рамках дисциплин «Основы экологии» и «Основы эколого-энергетической устойчивости производства». При подготовке инженеров-экологов на первой ступени получения высшего образования изучается дисциплина «Экологическое право», в рамках которой рассматриваются более детально не только общие вопросы экологического законодательства, но и особенности правового режима земель, недр, вод, растительного мира, лесов, животного мира, особо охраняемых природных территорий, атмосферного воздуха, озонового слоя, климата, а также правовое регулирование системы обращения с отходами.

Законодательство Республики Беларусь в области охраны окружающей среды и рационального природопользования развивается в рамках международных тенденций. В нормативных правовых актах отражены механизмы эколого-правового регулирования, при помощи которых обеспечивается необходимое качество среды. Знания о нормировании в области окружающей среды, оценки воздействия на окружающую среду, экологической сертификации и экологического ау-

дита, расширенной ответственности производителя, наилучших доступных технических методах и др. безусловно пригодятся будущим инженерам в их профессиональной деятельности.

Изучение экологического законодательства в рамках учебных дисциплинВУЗа обеспечивает формирование следующих компетенций у будущих инженеров:применять базовые научно-теоретические знания для решения теоретических и практических задач, связанных с природоохранной деятельностью, владеть системным и сравнительным анализом, владеть исследовательскими навыками, а также самостоятельно приобретать и использовать в практической деятельности новые знания и умения, в том числе в областирационального природопользования и охраны окружающей среды.

Библиографический список

1. *Балашенко, С.А. Экологическое право: учебник / С.А. Балашенко, Т.И. Макарова, В.Е. Лизгаро. – Минск: Вышэйшая школа, 2016. – 383 с. 3.*
2. *Войтов, И.В. Научные основы анализа и прогнозных оценок состояния природопользования и охраны окружающей среды как основных функций экологобезопасной «зеленой» экономики / И.В. Войтов; УО «Белорусский государственный технологический университет». – Минск: БГТУ, 2017. – 578 с. Экологическое право: Учебник / Б.В. Ерофеев. – 5-е изд., перераб. и доп. – М.: Инфра-М, Форум, 2015. – 400 с.*
3. *Лизгаро, В.Е. Экологическое право: ответы на экзаменац. вопр. / В.Е. Лизгаро, Т.И. Макарова. – Минск: Тетралит, 2018. – 239 с.*

УДК 378.016

РОЛЬ ОБЩЕПРОФЕССИОНАЛЬНЫХ ДИСЦИПЛИН В СТРУКТУРЕ ИНЖЕНЕРНОЙ ПОДГОТОВКИ

Белякова Е.В., Бородкин Н.Н., Чернецова Е.А.
Тульский государственный университет, г.Тула, Россия

В статье рассматриваются проблемы в профессиональной подготовке инженера, при котором особую роль необходимо отводить обязательным общепрофессиональным дисциплинам (включая начертательную геометрию и инженерную графику), формирующим системное мышление в конкретной технологической области.

Ключевые слова: Цикл общепрофессиональных дисциплин. Инженерная графика. Качество образования.

Задачи обороноспособности, импортозамещения, реиндустриализации с соответствующей инновационной компонентой требуют резкого улучшения качества инженерной подготовки. Но вместо этого факты констатируют ее ухудшение (см. отзывы работодателей [6], которые особые требования предъявляют к профессиональной подготовке). Неутешительная статистика [3] говорит о том, что недобор инженеров-конструкторов в оборонно-промышленном комплексе составляет 22%, инженеров-технологов 17%. Промышленность совместно с вузами ищет выход, понимая, что так же как с ЕГЭ, дело по развалу инженерного образования зашло слишком далеко, а в ближайшее время радикальных шагов по его улучшению, похоже, не предвидится [6]. В Роскосмосе запрос на специалистов в 4 раза больше, чем на бакалавров. Отметим данные о кадровом дефиците промышленности, составляющие 25 тысяч человек и, самое главное – потребности в специалистах инженерах-универсалах, необходимости изменения образовательных программ под задачи производственного сектора, актуальность географического распределения не только производства, но и проектирования.

Мы видим, что инженерная подготовка «в загоне» по разным причинам.

Субъективные причины. Отказ от специалитета и переход на бакалавриат привёл к уменьшению времени обучения примерно на 50%. Для некоторых гуманитарных направлений подготовки это уменьшение не явилось критичным. Однако, что касается инженерной подготовки, то в силу нехватки времени произошел отказ, как от фундаментальной двухлетней физико-математической подготовки, так и от широкого спектра дисциплин инженерного проектирования с опорой на проектно-производственное обучение и практику, которая для некоторых специальностей доходила до 28 недель.

Понятно, что современные программы бакалавриата не в состоянии удовлетворить требованиям предприятий по качеству инженерной подготовки. Промышленность отказывается признавать бакалавриат уровнем высшего образования. И не только промышленность. В газете «Известия» 26 февраля 2014 года опубликована статья «Бакалаврам запретят занимать руководящие посты в госаппарате» [4], в которой бакалавриат квалифицируется как ступень неполного высшего образования.

Против такой недоподготовки высказались в Государственной Думе представители и Роскосмоса, и Росатома, и Российской академии наук. Суть предложений указанных организаций заключается в том,

чтобы сохранить существующий специалитет, или хотя бы ввести инженерный бакалавриат с увеличением срока обучения до пяти лет с добавлением годичной магистратуры, в которую направлять 60-70% бакалавров. Также введение технологической магистратуры после 5 лет обучения поддерживает и президент МГТУ им. Баумана академик И.Б.Фёдоров [5].

Объективные причины. Все возможные санкции, мировая экономическая война, постиндустриальная технологическая революция, которая носит взрывной характер, ставит перед Россией проблему выживания. Но инерционная и забюрократизированная система образования не способна ответить на этот вызов времени.

Своевременность и актуальность поднимаемых нашей конференцией («Геометрия и графика») проблем поддержал уже и ректор МГУ имени М. В. Ломоносова, президент Российского союза ректоров Виктор Садовничий, выступая на III Конгрессе «Инновационная практика: наука плюс бизнес» 7 декабря 2016 года [7]. Он назвал ошибкой переход на Болонскую систему высшего образования и предложил вернуться к пятилетнему обучению: «Не удержусь и еще раз скажу. Я считаю допущенной нами ошибкой переход на четырехлетнее образование в высшей школе», — сказал В.Садовничий.

Каковы же **основные претензии работодателей** к качеству подготовки инженерных кадров [6]? Чего работодателям не хватает?

Раньше они жаловались, в основном на нехватку технологической подготовки, связанную с отсутствием у молодых специалистов умения работать с конкретными инструментальными средствами, на отсутствие знаний о конкретной технологической цепочке. Жаловались на отсутствие у специалистов общей культуры мышления, а также на то, что мало кто из молодых специалистов в состоянии самостоятельно работать и развиваться.

Сейчас же, в связи со стремительным развитием технологий **невозможно и не нужно** обучать специалистов всему спектру необходимых технологий, поскольку скорость устаревания технологий стремительно растет.

Основополагающий метод – применение системного подхода к составлению программ обучения специалистов, опирающегося на теорию развития и теорию деятельности [8, 9]. **Главная цель** – воспитать **новое поколение профессионалов,** которое умеет решать инженерные задачи независимо от конкретных технологий, но с учетом возможности существующих технологий. На технологическом этапе решение такой задачи должно состоять **в выборе** наиболее оптимальной и эффективной технологии. И если специалист не знает этой тех-

нологии, то он должен **суметь ее изучить** в минимально короткий срок. Для этого у специалиста должно быть развито понятийное мышление, характеризующееся системностью и позволяющее решать задачи на высоком уровне обобщения [8, 9], что обеспечивает их относительную независимость от постоянно меняющейся технологической реализации.

Наличие данного типа мышления у специалиста является предпосылкой формирования одного из наиважнейших качеств инженера: **умения самостоятельно учиться в области профессиональной специализации**. Это качество может дать только грамотно построенный **цикл общепрофессиональных дисциплин.** Эти дисциплины должны обеспечить развитие системного мышления, выражающееся:

· в способности видеть поставленную задачу на любом уровне детализации (конкретного задания, общих задач, стратегических задач) и свободно переходить с одного уровня на другой:

· в умении увидеть поставленную задачу в разных контекстах (производственной ситуации, ресурсов, возможностей, качественных и количественных критериев, общих целей и т.п.);

· в умении спланировать собственную деятельность и оценить возможность достижения цели;

· в умении оценить недостающие знания и эффективно организовать процесс самообучения, адекватно определяя сроки самообучения.

Указанные характеристики профессионала можно получить только лишь в том случае, если его учат **грамотные высококвалифицированные преподаватели**, которые владеют теорией обучения и психологией профессиональной деятельности, теорией развития интеллекта [10], а также умеют применять эти знания при подготовке к конкретной профессиональной деятельности.

Другим важным условием является **интерес** и **мотивация** овладения профессиональной деятельностью, которая должна существовать уже на этапе **довузовской подготовки**. Совершенно бесполезно учить человека немотивированного. Соответственно адекватную мотивацию может дать только нормальная система предпрофессиональной ориентации, работа со школьниками.

Желание овладеть профессией – основная движущая сила профессионального обучения. В конечном счете, эта сила должна способствовать развитию навыка самоорганизации и самостоятельной работы, который в свою очередь базируется на развитии интеллектуальных способностей.

Теперь о конструкторской подготовке. Необходимо подчеркнуть, что она является необходимой частью **общепрофессиональной** подготовки инженера. Конструкция проектируемого объекта должна восприниматься в контексте всего цикла разработки. То есть любой конструктор должен и обязан понимать, что чертежи делаются не просто, чтобы их начертить, а для постановки конкретного изделия на производство. Поэтому технологические знания являются необходимыми. Другой системной взаимосвязью является понимание того, как конструктивные особенности влияют на работоспособность и функциональность разрабатываемого изделия. Будущий конструктор должен разбираться, как, в какой структуре будет работать проектируемое изделие, эксплуатационные нюансы, различные режимы и пр. Если продукция носит дизайнерский характер, то одним из элементов этой структуры будет человек – «заказчик» или любой другой человек, чьи потребности должен удовлетворить дизайн, поэтому знание психологии является необходимым элементом подготовки.

Среди **общих способностей**, которые необходимо развивать у конструкторов - визуально-пространственные способности (особенно способности к конвергентным (C) и оценочным (E) операциям с визуальными (V) системами (S) и трансформациями (T): коды по теории Гилфорда CVS, CVT, EVS, EVT [10]), которые, прежде всего, должны развиваться с помощью дисциплины «Начертательная геометрия».

Внедрение компьютеров в обучение инженерному проектированию кроме положительного эффекта приводит к опасности. Обученный на компьютере человек может приучиться выполнять манипуляции, анализировать форму только во внешнем плане, не загружая свой мозг. В дальнейшем автоматизация неэффективных внешних форм действий неизбежно приведет к ряду негативных последствий, среди которых – крайне неэффективная работа и принципиальное увеличение времени на разработку сложных структур.

Мировоззренческий контекст необходим для профессионального развития и как основа для формирования профессиональной методологии, и как основа для личностного самосознания.

Господствующая в настоящее время точка зрения связана с ориентацией системы образования на реализацию компетенций. Причем развитие общих интеллектуальных компетенций (способностей) часто **не рассматриваются в контексте конкретной профессионально-технологической подготовки**. Общие профессиональные дисциплины утрачивают роль системообразующих дисциплин, поскольку:

1) в связи с переходом на бакалавриат нет возможности разместить все необходимые системообразующие дисциплины в базовой части;

2) у студента в соответствии с ФГОС существует возможность выбора (подчеркнем, что увеличивает вероятность неправильного выбора) набора дисциплин;

3) под давлением внешнего рынка вузы начинают ориентироваться на изучение конкретных технологий в ущерб системообразующим общепрофессиональным дисциплинам;

4) ранняя специализация приводит к интеллектуальной незрелости и узкой направленности выпускаемых специалистов (возникают трудности с адаптацией к иному виду работы);

5) невозможно добиться оперативной корректировки специальных дисциплин, поскольку обратная связь от производства, регулирующая качество вузовской подготовки специалистов требует много времени, это объективно приводит к противоречию между текущими требованиями рынка и уровнем подготовки специалиста.

Вывод – основная роль в профессиональной подготовке инженера должна отводиться обязательным общепрофессиональным дисциплинам (включая начертательную геометрию и инженерную графику), формирующим системное мышление в конкретной технологической области. Объем цикла таких дисциплин должен составлять не менее 25% времени обучения специалиста (5 лет, 10 семестров).

Библиографический список

1. Тозик В.Т. Инженерное образование в современной России (инновации, модернизация, индустриализация…подсечное земледелие): - Проблемы качества графической подготовки. 2014: URL: http://dgng.pstu.ru/conf2014/papers/74/

2. Тихонов-Бугров Д.Е., Тозик В.Т. Инженерная графика в рамках болонского процесса: - Проблемы качества графической подготовки. 2016: URL: http://dgng.pstu.ru/conf2016/papers/37/

3. Иванов В.Г., Зиятдинова Ю.Н., Сангер Ф.А. Современное инженерное образование: единство в многообразии: - Высшее образование в России, 8-9, 2015.

4. Бакалаврам запретят занимать руководящие посты в госаппарате. Известия 26.02.2014. http://izvestia.ru/news/566318/ixzz2wdCB7GNu

5. Фёдоров И.Б., Медведев В.Е. Подготовка научно-инженерной элиты для оборонно-промышленного комплекса России. Высшее образование в России, 8-9, 2015.

6. Яковлев В.В. Состояние российского машиностроения на сегодня. URL: https://www.facebook.com/kubanzheldormash/posts/1806852572896702:0

7. Ректор МГУ призвал отказаться от Болонской системы образования. URL: http://zavtra.ru/events/rektor_mgu_nazval_oshibkoj_perehod_na_bolonskuyu_sistemu_obrazovaniya

8. Гальперин П.Я. Лекции по психологии: учебное пособие: доп. М-вом образования Рос. Федерации в качестве учеб. пособия для студентов высших учебных заведений / П. Я. Гальперин .— [3-е изд] .— М.: Книжный Дом "Университет", 2007 .— 400 с.

9. Выготский Л.С. Мышление и речь. Собр. Соч. в 6 томах/ том 2.-М.:Педагогика, 1982 . – 252 с.

10. Локалов В.А., Миронов А.С., Сопроненко Л.П., Тозик В.Т. Введение в профессионально-педагогическую специальность. Учебно-методическое пособие. М-во образования и науки Рос. Федерации; Федер. агентство по образованию ; СПбГУ ИТМО, каф. инженерной и компьютерной графики.— СПб.: СПбГУ ИТМО, 2008.— 102 с.: ил.

УДК 378.016

КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ НА КАФЕДРЕ НАЧЕРТАТЕЛЬНОЙ ГЕОМЕТРИИ, ИНЖЕНЕРНОЙ И КОМПЬЮТЕРНОЙ ГРАФИКИ ТУЛГУ

Белякова Е.В., Бородкин Н.Н.
Тульский государственный университет, г.Тула, Россия

В статье на примере современных графических пакетов, в свете проектного обучения студентов, приведены фрагменты выполнения графических заданий кафедры «Начертательная геометрия, инженерная и компьютерная графика», рассмотрена методика проектирования изделий машиностроения, предусматривающая рациональное сочетание традиционного («ручного») геометрического моделирования и возможностей компьютерных технологий.

Ключевые слова: проектное обучение, компьютерное моделирование, изделие, система автоматизированного проектирования, геометрическое моделирование.

На базе кафедры НГИКГ ТулГУ, начиная с первого семестра, в учебный процесс внедряется проектная форма обучения студентов. Умение проектировать – это взаимосвязь полученных теоретических знаний и практических навыков.

Компьютерное моделирование, в свете проектного обучения, способствует закреплению пройденного материала в ручном исполнении и развитию творческого подхода к решению проектных заданий.

Проектная деятельность – основной этап проектирования, направленный на:

- поиск идеи (кроки, эскизы);

- выполнение рабочего проекта: осуществление эскизного макетирования; создание комплекта чертежей;

-выполнение проекта (ручного или в технике компьютерной графики), макета, модели объекта

Учитывая переход на проектную форму обучения с первого курса в университете студент, изучающий начертательную геометрию, инженерную графику, строительное черчение, должен уметь создавать геометрические модели. [1]

Кафедры институтов ТулГУ используют в своем учебном процессе программное обеспечение для автоматизированного проектирования, моделирования и расчетов. Обучая своей специальности, выпускающие кафедры заинтересованы в наличии у студента начальных курсов навыков создания моделей, чертежей, эскизов, как вручную, так и с применением специального ПО.

Постоянное совершенствование, требует от учащегося изучать данные инструменты и применять их на практике весь период обучения. В то же время нельзя забывать и полностью перекладывать на ПК задачу ручного построения и оформления чертежа по ЕСКД.

Высокая эффективность применения компьютерной графики в проектировании обусловлена следующим:

- освобождением конструктора от выполнения однообразных рутинных операций, которые возможно формализовать, что определяет возрастание производительности труда, квалификации и творческой активности проектировщика;

- существенным сокращением сроков конструкторской подготовки производства, повышением уровня нормализации и унификации конструкций машин и технологической оснастки;

- повышением качества проектной документации при существенном сокращении ошибок и неточностей на чертежах;

- появлением возможности оптимизации проектных работ за счет возможности быстрого перебора множества вариантов, а следовательно, повышением качества и технико-экономического уровня проектируемых изделий;

- неограниченным расширением сферы применения вычислительной техники вследствие оптимизации ввода и вывода графической информации и обеспечения активного графического диалога проектировщика с ЭВМ.

Графическая информация является наиболее ёмким, наглядным и в то же время экономным средством представления зрительной информации. В общем объёме проектных работ без использования САПР распределение времени процесса проектирования по данным Рейнско-

Вестфальской механической высшей школы распределяется следующим образом [1]:

- время собственно проектирования занимает порядка 15%;
- время на вычислительные операции 3%;
- процесс черчения достигает 70…%.
- ведение архивного хозяйства- 15%
- вспомогательные и подготовительные работы – остальное.

Процесс проектирования – это сложный процесс, включающий совокупность проектно-конструкторских работ, выполняющихся в определённой последовательности, начиная от разработки технического задания и заканчивая выпуском рабочих чертежей на изделие. В реальном проектировании при выполнении отдельных видов работ вносятся изменения, которые влекут за собой изменения предыдущих конструктивных решений. В результате весь цикл работ повторяется многократно, что существенно удлиняет процесс создания новых изделий. С ростом сложности проектируемых объектов сроки и стоимость такого проектирования оказывается чрезмерно большим.

Анализ работ показывает, что процесс проектирования можно интенсифицировать за счёт ускорения выполнения посредством комплексной механизации и автоматизации графических и расчётных работ, относящихся к самому трудоёмкому разделу – «Техническое и рабочее проектирование». Высокая точность, быстрота и аккуратность выполнения чертежей, возможность многократного воспроизведения по однажды отлаженной программе, получение чертежей на изделия с заданными свойствами – преимущества компьютерной графики.

Кафедра «Начертательной геометрии, инженерной и компьютерной графики» ТулГУ использует в своем учебном процессе программное обеспечение от фирм Autodesk и Аскон. AutoCAD, как программа для автоматизированного проектирования, за годы своего существования стал одним из самых популярных инструментов архитектора, строителя и инженера. Компас 3D широко используется для проектирования в машиностроительных отраслях промышленности, приборостроении и судостроении, а также в промышленном и гражданском строительстве. Студенты строительных специальностей, как правило, используют пакеты AutoCAD (рисунок 3), а будущие машиностроители предпочитают Компас 3D (рисунок 1 и рисунок 2).

На примере ряда графических работ, приведены фрагменты вариантов заданий, по разделам Начертательной геометрии инженерной графики и строительного черчения с использования различных графических систем.

Машиностроительное черчение:

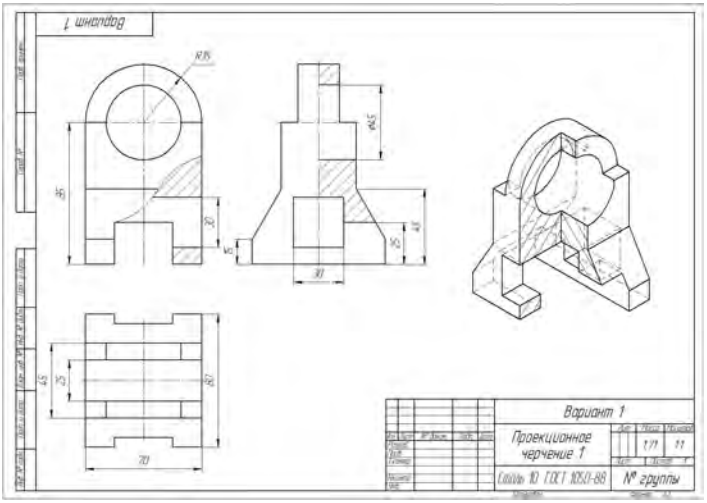


Рис. 1. Проекционное черчение: виды, разрезы, размеры

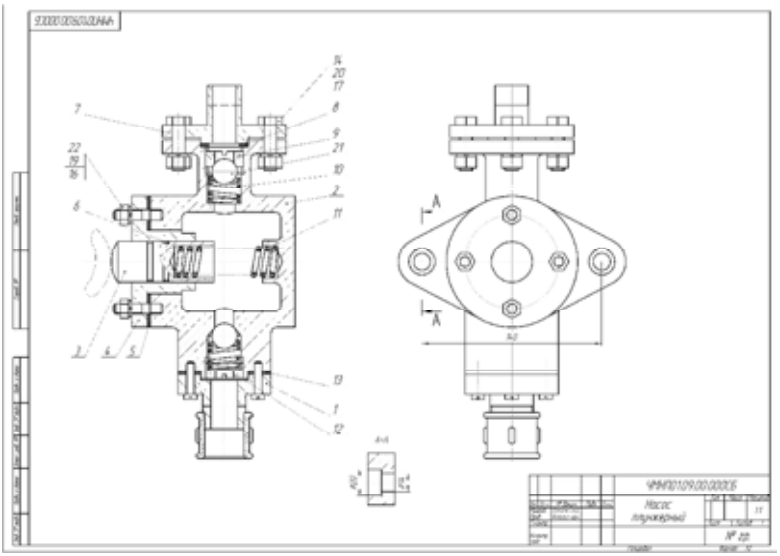


Рис 2. Сборочный чертеж

Строительное черчение:

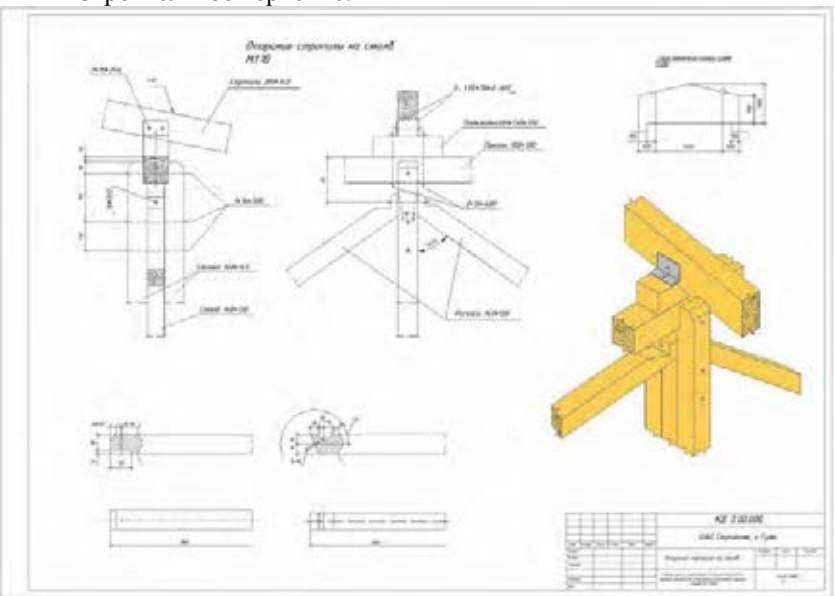


Рис. 3. Чертеж узла деревянной фермы

Приобщение студентов к решению графических задач с помощью компьютерного моделирования осуществляется с первого семестра. Студенческая группа целиком привлекается к разработке реально действующего проекта, параллельно с ручным выполнением графических работ по дисциплинам кафедры «Начертательная геометрия, Инженерная и компьютерная графика».

Это позволяет студентам дополнительно в компьютерном 3D моделировании наглядно представить результаты ручной работы.

Используемые программные комплексы представляют собой систему гибридного параметрического моделирования, которая предназначена для проектирования деталей и сборочных единиц в трехмерном пространстве с возможностью проведения различных видов анализа, а также оформления конструкторской документации в соответствии с требованиями ЕСКД [2]. В пакетах реализован классический процесс трехмерного параметрического проектирования – от идеи к объемной модели, от модели к чертежу. Комплексы обеспечивает разработку изделий любой степени сложности и назначения. Данные пакеты имеют широкую область применения и используется, на-

чиная от создания моделей машиностроительных деталей и конструкций, до сложных сборочных единиц.

Таким образом, использование методов компьютерного моделирования наряду с ручным выполнением графических работ на начальных курсах по дисциплинам кафедры является неотъемлемой частью образовательного процесса.

Выводы:

В учебном процессе целесообразно гармоничное сочетание традиционных классических технологий процесса проектирования и современных информационных (КОМПАС 3D, Inventor, SolidWorks и т.д.).

На графических кафедрах студент должен взять на вооружение следующий принцип: будущий инженер должен уметь, как выполнять чертежи изделий, так и читать их.

Библиографический список

1. Иванов В.Г., Зиятдинова Ю.Н., Сангер Ф.А. Современное инженерное образование: единство в многообразии: - Высшее образование в России, 8-9, 2015.

2. Тихонов-Бугров Д.Е., Тозик В.Т. Инженерная графика в рамках болонского процесса: - Проблемы качества графической подготовки. 2016: URL: http://dgng.pstu.ru/conf2016/papers/37/

МАШИНОСТРОЕНИЕ

УДК 621.91.01

НЕОБХОДИМЫЕ УСЛОВИЯ ПРОЦЕССА СТРУЖКОЛОМАНИЯ ПРИ ИЗГОТОВЛЕНИИ ДЕТАЛЕЙ ГОРНОГО МАШИНОСТРОЕНИЯ

Хлудов С.Я., Маркова Е.В., Чечуга О.В.
Тульский государственный университет, Россия

Рассмотрены вопросы разрушения витка стружки при изготовлении деталей горного машиностроения из материалов групп P и M по классификации ISO. Дано обоснование разрушения витка сливной стружки как процесса стружколомания. Приведены необходимые и достаточные условия разрушения витка сливной стружки как процесса стружколомания.

Ключевые слова: виток сливной стружки, процесс стружколомания, параметры, форма витка, жесткость витка.

Особенностью современного горного машиностроения является использование для изготовления его изделий материалов групп P и M по классификации ISO, обладающих высокими эксплуатационными характеристиками. Эти группы составляют материалы, при лезвийной обработке которых на высоких скоростях резания образуется сливная непрерывная стружка. В зависимости от рода и механических свойств обрабатываемого материала, геометрических параметров и формы передней поверхности режущего инструмента, условий обработки в процессе точения образуется сливная стружка, принимающая различную форму и размеры ее витка.

Отсутствие разрушения витка сливной стружки вызывает снижение производительности, повышение себестоимости и, при этом, не обеспечивается требуемое качество обработанной поверхности (рис. 1).

Причины образования стружки различной формы, проблема управления ее сходом и последующее разрушение витка являлись и

являются предметом пристального внимания многих исследователей [1 - 5].

Учитывая, что основным признаком сливной стружки является ее сплошность (непрерывность), разрушение ее витка есть следствие дополнительного воздействия [5]. Если такое воздействие осуществляется до начала процесса стружкообразования, реализуется процесс разделения. Например, нанесение на обрабатываемую поверхность различных по форме и размерам канавок, получившее название способа предварительные подготовки обрабатываемой поверхности, можно отнести к процессу разделения, как и метод ОПД (опережающей пластической деформации), предполагающий создание на поверхности резания концентраторов напряжений путем воздействия на нее специальных роликов [1, 4, 6].

Если разрушение витка стружки в процессе резания реализуется как результат воздействия механизма или устройства, такой процесс называют дроблением. Разрушение происходит в месте приложения воздействия на уже сформированный виток стружки. К процессу дробления следует отнести электроискровой способ.

Рис. 1. Взаимосвязь непрерывной сливной стружки с выходными параметрами лезвийной обработки

Процесс стружколомания это результат воздействия на уже сформированный виток со стороны препятствий, когда разрушение его целостности находится на некотором расстоянии от места воздействия. В качестве препятствий на пути движения стружки могут выступать поверхности заготовки – обрабатываемая и обработанная, а также по-

верхность резания и задняя поверхность инструмента. Все другие препятствия, расположенные на удалённом расстоянии от зоны стружкообразования влияют на процесс стружколомания в значительно меньшей степени. Процесс стружколомания в отличие от процесса дробления является случайным процессом и его реализация возможна при обеспечении ряда необходимых и достаточных условий [4].

Из всех способов стружколомания наибольшее распространение получил способ, в основе которого заложено использование сменных многогранных пластин (СМП), имеющих сложную форму передней поверхности.

Топография передней поверхности СМП состоит из выпуклых, вогнутых и плоских участков сопряженных между собой. Расположение отдельных участков передней поверхности, их размеры и форма определяются функциями, которые они выполняют в процессе резания. Каждый из таких участков может одновременно выполнять одну или несколько функций. При изменении условий обработки отдельные участки передней поверхности могут менять свои функции [1].

Взаимодействие витка стружки с выступами и уступами, сформированными на передней поверхности, предопределяет его форму, параметры и траекторию движения [1, 4].

Параметрами, характеризующими форму стружки, являются: P – шаг спирали; γ – угол наклона контактной стороны стружки (угол между касательной к контактной стороне стружки и перпендикуляром к оси винтовой спирали); d_1 – диаметр наружного края стружки; d_2 – диаметр внутреннего края стружки (рис. 2). Для стружки, имеющей форму винтовой спирали, соотношение диаметров находится в следующей зависимости:

$$d_1 > d_2 . \qquad (1)$$

Стружка, имеющая форму винтовой спирали, формируется при завивании ее относительно как плоскости передней поверхности, так и вертикальной плоскости. После схода с передней поверхности режущей пластины и перемещаясь по своей естественной траектории, стружка, имеющая форму винтовой спирали, контактирует с обрабатываемой и задней поверхностями.

Если условия стружкообразования приводят к уменьшению угла γ, то стружка получает форму плоской винтовой спирали. При $\gamma = 0^0$:

$$d_1 = d_2 + b_{ст} , \qquad (2)$$

где $b_{ст}$ – ширина стружки. Для этой формы стружки характерно снижение влияния завивания стружки в плоскости передней поверхно-

сти, а в качестве препятствий выступают обрабатываемая и задняя поверхности.

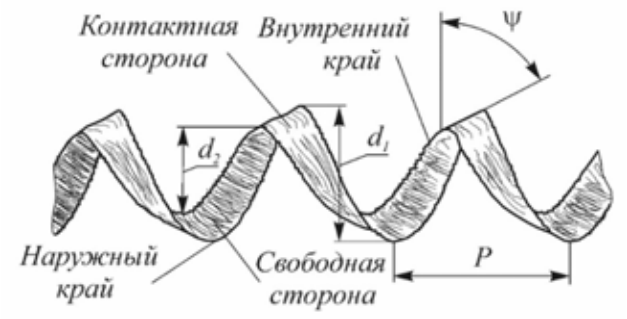


Рис. 2. Параметры витка сливной стружки

В том случае, когда стружка принимает форму цилиндрической винтовой спирали, значение угла у стремиться к 90°, при этом:

$$d_1 = d_2 . \qquad (3)$$

Для этой формы завивание осуществляется в плоскости передней поверхности, а влияние на форму в вертикальной плоскости уменьшается.

Если шаг P витка стружки стремится к нулю, цилиндрическая спираль вырождается в плоскую. Для плоской спирали значения d_1 и d_2 переменны. При у не равном 90°:

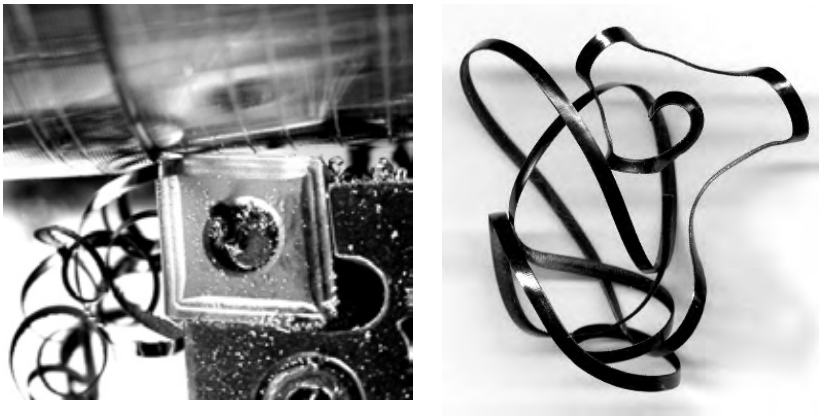
$$d_1 \neq d_2 . \qquad (4)$$

При формировании стружки в форме плоской спирали, завивание в плоскости передней поверхности отсутствует. Стружка, перемещаясь по естественной траектории, контактирует с поверхностью резания и обработанной поверхностью.

При значении шага спирали P и среднего диаметра, стремящихся к бесконечности, стружка имеет форму, получившую название прямая.

Для такой формы характерно отсутствие влияния завивания стружки, как в плоскости передней поверхности, так и в вертикальной плоскости. Перемещаясь по естественной траектории, стружка в форме прямой не имеет контакта с препятствиями, расположенными непосредственно вблизи от передней поверхности режущей пластины. Такая форма наиболее часто является причиной появления «путанки» (рис. 3).

Путаная стружка усложняет работу устройств, предназначенных для эффективного использования транспортных емкостей при перевозке стружки на вторичную переработку.



а б

Рис. 3. Процесс формирования прямой стружки при точении: а – образование «путанки»; б – образец стружки

Разрушение витка, как процесса стружколомания, осуществляется на одновитковые или многовитковые элементы [1]. Процесс стружколомания на многовитковые элементы сливной стружки предшествует разрушению на одновитковые элементы. Для разной формы стружки процесс стружколомания реализуется по разным схемам.

Анализ приведенных схем позволил обосновать необходимые и достаточные условия разрушения витка стружки как процесса стружколомания (рис. 4).

В качестве критериев, определяющих результат взаимодействия стружки с препятствиями, приняты: жесткость витка, критический и предельный радиусы витка [7]. Критическим радиусом $r_{кр}$ является радиус витка, при котором происходит его разрушение, а предельным $r_{пр}$ радиусом считается такой, при котором виток теряет устойчивость.

В качестве оценки жесткости витка стружки предлагается использовать ее относительное значение $W_{отн}$:

$$W_{отн} = \frac{a_1^5}{D_{ср}^3 b_1}, \qquad (5)$$

где a_1 – толщина стружки; b_1– ширина стружки; $D_{ср}$ – средний диаметр витка стружки:

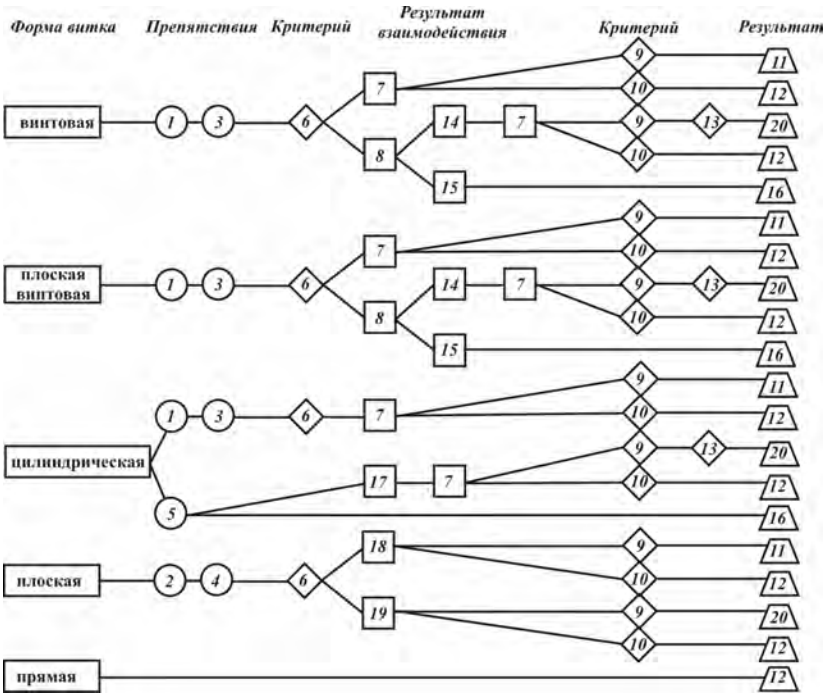


Рис. 4. Система необходимых и достаточных условий реализации процесса стружколомания:
1 – обрабатываемая поверхность; 2 – обработанная поверхность;3 – задняя поверхность СМП; 4 - поверхность резания;5 – передняя поверхность СМП; 6 – жесткость витка стружки;7 – торможение витка; 8 – проскальзывание; 9 – критический радиус витка; 10 – предельный радиус витка; 11 - одновитковый элемент; 12 – «путаная» стружка; 13 – три точки контакта; 14 – усиление колебаний; 15 – гашение колебаний; 16 – непрерывная спираль; 17 – соскальзывание с передней поверхности; 18 – движение свободного конца витка вверх; 19 - движение свободного конца витка вниз; 20 - многовитковый элемент

$$D_{\text{ср}} = \frac{d_1 + d_2}{2} \qquad (6)$$

Экспериментально установлено, что для каждого обрабатываемого материала в узком диапазоне скоростей резания разрушению витка сливной стружки соответствует критическое значение $W_{\text{кр}}$ относительной жесткости.

Необходимыми условиями разрушения витка сливной стружки являются:

- отличная от прямой форма витка стружки;
- взаимодействие витка с препятствиями;
- три точки контакта;
- жесткость витка равная или большая ее критической величины.

Отсутствие одной из точек контакта, как было установлено экспериментально, даже при большой жесткости витка исключает торможение и, соответственно, разрушение витка.

Достаточным условием реализации процесса стружколомания является создание в теле витка напряжений, как результат взаимодействия с препятствиями, превышающих предел прочности материала витка стружки.

При проектировании передней поверхности СМП система необходимых и достаточных условий процесса стружколомания обосновывает форму и расположение выступов и уступов, определяющих форму и параметры витка сливной стружки конкретного обрабатываемого материала для чернового, получистового и чистового точения. При использовании системы необходимых и достаточных условий, осуществляется процесс прогнозирования разрушения витка стружки с установлением необходимых действий для его реализации.

Библиографический список:

1. *Васин С.А., Хлудов С.Я. Проектирование сменных многогранных пластин. Методологические принципы / М.: Машиностроение, 2006. 352с.*
2. *Петров В.Н. Разрушение витка сливной стружки как процесс стружколомания / Всероссийская научно-практическая конференция «Отечественный и зарубежный опыт обеспечения качества в машиностроении». Сборник докладов. Тула: Изд-во ТулГУ, 2019. С. 198-203.*
3. *Зябрева Д.С. К вопросу о процессах «дробления», «ломания» или «разделения» витка стружки / VIII Молодежная научно-практическая конференция Тульского государственного университета «Молодежные инновации». Сборник докладов. Секция: Технические науки. Часть 1. Тула: Изд-во ТулГУ, 2014, С. 107-112 .*
4. *Васин С.А., Иванов В.В. Стружкодробление при точении / Тула: Изд-во ТулГУ, 2001, 151с.*
5. *Бобров В.Ф. Основы теории резания металлов / М.: Машиностроение, 1975, 344с.*
6. *Ярославцев В. М. Резание с опережающим пластическим деформированием в технологиях утилизации металлической стружки // Наука и образование: научное издание МГТУ им. Н.Э. Баумана. 2013. № 7. С. 79-90.*
7. *Зябрева Д.С. Критерии разрушения витка стружки и их уточнение / Молодежный вестник политехнического института. Сборник статей. Тула: Изд-во ТулГУ, 2014, С. 118-121.*

УДК 621.833.16

ОБОСНОВАНИЕ ВЫБОРА ПЛАНЕТАРНОЙ ПЕРЕДАЧИ ДЛЯ УНИФИЦИРОВАННОГО ПРИВОДА ПЕРЕДВИЖЕНИЯ ТРАНСПОРТНОЙ МАШИНЫ

Крюков В.А., Плясов А.В., Судаков С.П., Трушин Н.Н.
Тульский государственный университет, Россия

Изложены фрагменты обоснования основных параметров унифицированного планетарного привода передвижения тележки мостового крана. Выполнен синтез структурной схемы и размерного ряда главных параметров в одном по размеру корпусе и заготовок основных деталей планетарной передачи.

Ключевые слова: мостовой кран, планетарный механизм, эвольвентные зацепления, электропривод, параметрические ряды, унификация.

Современные поточное производство, транспорт в цехах и на открытых площадках различных предприятий, погрузочные работы связаны с применением разнообразных грузоподъемных машин [1, 2], гарантирующих непрерывность и ритмичность производственных процессов. Правильный выбор оборудования является главным фактором эффективной работы. Транспортная машина, на пример мостовой кран является основой транспортного машиностроения [2-5]. Поэтому несовершенство их сказывается на всем производстве. Повышенная удельная масса конструкции, устаревшие его элементы, такие как редукторы передвижения тележки прямо влияют на затраты при использовании крана, а также влияют на транспортабельность, стоимость монтажных работ и т.д.

Совершенствование приводов кранов относиться к приоритетному направлению в модернизации серийных грузоподъемных машин. Подавляющее большинство кранов специального назначения обслуживает непрерывные технологические процессы. В связи с этим обстоятельством требуется уделять особое внимание обеспечению надежности. Мостовые краны общего назначения опорные двухбалочные с электрическим приводом (ГОСТ 25711 – 83) грузоподъемностью 5 – 50 т имеют скорость передвижения тележки 0,32—0,63 м/с [4]. Одним из представителей таких кранов является кран 20/5–А5–22,5–12,5/14 У3. Эти краны опираются на четыре ходовых колеса.

Мостовые краны, перемещающиеся по рельсовым путям, и опоры (буксы) приводных ходовых колес жестко закреплены на подвиж-

ной платформе (мосте) крана и приводятся в движение с помощью привода. Приводной двигатель, редукторы и приводные колеса колесных движителей соединены трансмиссионными валами между собой.

На рис. 1 система передвижения мостового крана с групповым приводом и тихоходным трансмиссионным валом включает один приводной двигатель 1 с тормозом Т, трехступенчатый редуктор 2 и трансмиссионный валопровод, выполненный из нескольких отдельных секций 3, а также с выходным валом редуктора и валами приводных колес 4 муфтами 5.

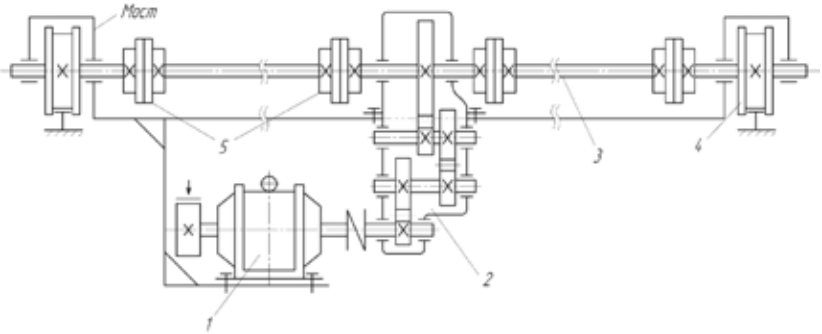


Рис. 1. Система передвижения моста с групповым приводом

Однако наличие двух дополнительных концевых редукторов в виде открытых зубчатых передач значительно снижает общую массу системы и является серьезным недостатком такого исполнения.

Система передвижения мостового крана с групповым приводом и быстроходным трансмиссионным валом представлена на рис. 2 [6]. Сборный трансмиссионный вал 3 системы передвижения моста имеет частоту вращения, равную частоте вращения соединенного с ним вала электродвигателя 1 с тормозом Т, установленного в средней части моста. С трансмиссионного вала вращение передается на два двухступенчатых редуктора 2, а с них на ходовые колеса. Быстроходный вал в отличие от тихоходного имеет меньший (в 2 – 3 раза) диаметр и меньшую (в 4 – 6 раз) массу, но требует высокой точности монтажа промежуточных подшипников на жестких опорах и динамической балансировки вращающихся частей.

Кроме того, при нагружении крана упругие деформации моста могут вызвать значительные смещения подшипников и дополнительный перекос осей смежных секций, особенно опасный для быстроходного трансмиссионного вала. Поэтому использование быстроходного

вала целесообразно для мостовых кранов при длине пролета более 15 – 20 м с повышенной жесткостью фермы в вертикальной плоскости и жесткой установке подшипников. При тихоходном трансмиссионном вале деформация кранового моста под нагрузкой оказывает малое воздействие на работу вала и на применяют на главных тележках литейных кранов [4, 6].

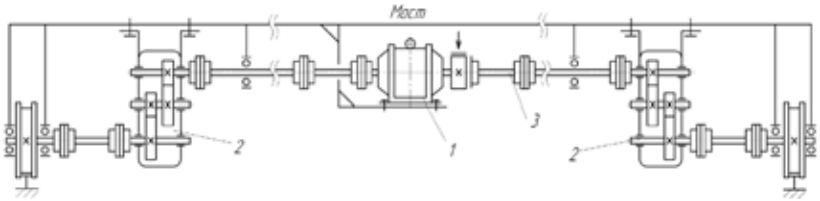


Рис. 2. Система передвижения моста с групповым приводом

Трансмиссионные валы механизмов передвижения рассчитывают на прочность по крутящему и изгибающему моментам. Быстроходные трансмиссионные валы представляют собой колебательные системы, в которых при совпадении частоты собственных колебаний с частотой изменения внешних сил наступает явление резонанса при варьировании частоты вращения [7], соответствующее определенной критической частоте вращения. Следует отметить, что трубчатые трансмиссионные валы имеют критическую частоту в 4,5 – 5,5 раз больше, чем сплошные валы.

На основании вышеизложенного можно сделать глобальный вывод, что групповой привод в системах передвижения мостовых кранов полностью исчерпал свои возможности по габаритно-массовым и экономическим соображениям и на современном уровне утратил целесообразность его применения в мостовых кранах нового поколения.

Система передвижения моста с автономными приводами [1-3] одна из которых представлена на рис. 3. Она включает два приводных электродвигателя 1 с тормозами 2, два зубчатых редуктора 3 и два приводных колеса 4, соединенных между собой трансмиссионными валами.

Для механизма передвижения с навесным редуктором не требуются специальные опорные стойки на раме под редуктор и электродвигатель. Кроме того, этот механизм передвижения отличается компактностью и простотой установки по отношению к другим существующим приводам. Однако при замене приводных колес на этом механизме усложняется ремонт.

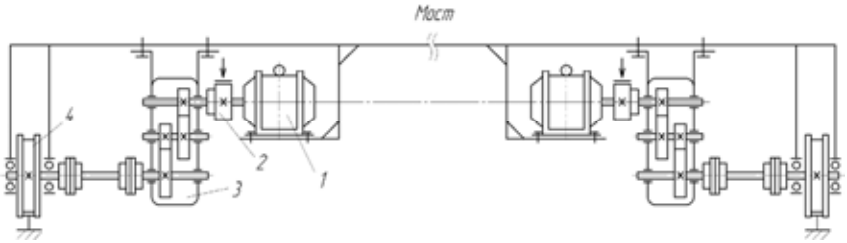


Рис. 3. Система передвижения крана с автономным приводом

При работе систем передвижения с индивидуальным приводом и приводными колесами происходит периодическое перераспределение нагрузок между двигателями приводов через металлоконструкцию моста [8, 9], размеры и жесткость которой могут влиять на характер движения моста. Выравнивание режимов работы двигателей посредством системы управления является одним из требований к современным системам передвижения. Оно позволяет уменьшить перекосы моста и увеличить сроки службы ходовых колес и опорных рельсов. Можно однозначно утверждать, что в мостовых кранах нового поколения достойное место займет регулируемый электропривод на базе двигателей с управлением.

По оценке специалистов, внедрение регулируемых электроприводов возрастает, и будет продолжать возрастать многократно в течение ближайших лет. По статистике, более 65 % электроэнергии в промышленности потребляется электроприводами, а порядка 40 % электродвигателей применяется в приводах транспортных машин, конвейеров, насосов, вентиляторов, компрессоров, в том числе в добывающих отраслях [2].

Широкий диапазон регулирования скорости вращения ротора (до 1000 и более); обеспечение постоянного максимального вращающего момента на валу ротора, в 2 – 2,5 раза превышающего номинальное его значение, при пуске и в течение до 10 мин и при стационарном движении привода делают неоспоримым преимущества регулируемого электропривода по габаритно-массовым, энергоресурсосберегающим и экономическим показателям перед нерегулируемым.

Сложившаяся практика оценки электропривода как технической системы, включающей в себя в качестве автономных элементов: преобразователь электрический в механическую энергию (электродвигатель); передаточный механизм, согласующий в статике кинематические и энергосиловые параметры вращательных движений двигателя и транспортной машины, и аппаратуру системы управления, не дает о

нем полного представления как о единой сложной динамической системе. Однако такой подход вполне согласуется со спецификой создания автономных приводов ряда машин различного отраслевого назначения и в корне противоречит созданию унифицированных, энергосберегающих, недорогих приводов общепромышленного и специального назначения с широкой гаммой выходных параметров по скорости и моменту в одном типоразмере.

Принято считать, что каждый структурный элемент электропривода сам по себе представляет собой динамическую систему со своими кинематическими, энергетическими, жесткостными и инерционными параметрами. Поэтому для создания электроприводов нового технического уровня как динамических систем возникает потребность в формулировке технических требований к структурному элементу как объекту регулирования [10].

Передаточный механизм как мультипликатор выходного момента и редуктор выходной скорости в унифицированном приводе должен обладать широкими возможностями дискретного регулирования этих параметров при постоянстве их произведения в заданном типоразмере. К сожалению, широко распространенные в электроприводах силовые трансмиссии на базе рядовых зубчатых механизмов в виде цилиндрических, конических и червячных передач или их комбинаций, как жестких связей, как было показано выше полностью не обладают этими возможностями, а потому создаваемый на их основе электропривод автономен, и его нельзя признать современным и перспективным для машин нового поколения.

Этот недостаток прослеживается во всех рассмотренных приводах передвижения мостовых кранов и является существенным. Вышеуказанные возможности могут быть реализованы, если внедрить концепцию многопоточного подвода энергии, т.е. энергию от электродвигателя передавать рабочей машине сразу несколькими параллельными потоками, за счет этого габариты привода могут быть многократно снижены. Эта концепция была разработана кафедрой ПМДМ ТулГУ [10]. Она получила апробацию в подъемно-транспортных, горнодобывающих машинах, трубопроводном транспорте и принята за основу в настоящей работе при обосновании технического решения на силовую трансмиссию привода «мотор-колесо».

На рис. 4 представлена кинематическая схема высоконагруженной многопоточной трансмиссии ВМТ [2] на базе многосателлитной планетарной передачи «$2k - h$» по классификации В.Н. Кудрявцева.

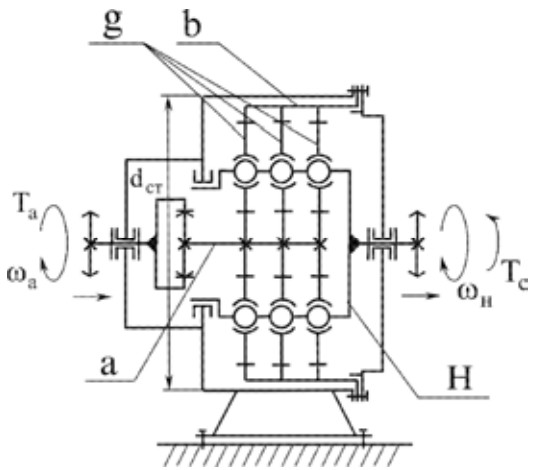


Рис. 4. Кинематическая схема ВМТ

При числе рядов сателлитов a_p ³ 1 и числе сателлитов в каждом из них a_c ³ 3 число потоков мощности в самоадаптивной трансмиссии возрастает до $a_p \times a_c = 3$ ¸ 15. Трансмиссия имеет малые габариты и металлоемкость, а поэтому легко встраивается в лимитированные габариты исполнительных органов машин (ступиц шнеков, барабанов, колес и т.д.). Однако, использовать это техническое решение непосредственно в рассматриваемом случае не представляется возможным из-за ограниченных диапазонов воспроизводимых передаточных функций и невозможности построения параметрических рядов выходных параметров по скорости и моменту в одном типоразмере.

Попытки использования двухступенчатых передаточных механизмов на базе многопоточных рядовых и планетарных передач в многосателлитном исполнении были в отрасли и ранее. Заслуживают внимания приводы, у которых источники механической энергии встраиваются непосредственно в ступицы колес колесных движителей. В этих случаях приводные колеса превращаются в компактные конструкции «мотор-колесо». Известны приводы «мотор-колесо» на основе электро- и гидродвигателей [3].

На рис. 5 представлена схема привода “мотор-колесо” фирмы General Electric, а на рис. 6 – схема привода фирмы ВНИИСтройдормаш.

В варианте привода по рис. 5 используется трехпоточная рядовая двухступенчатая передача.

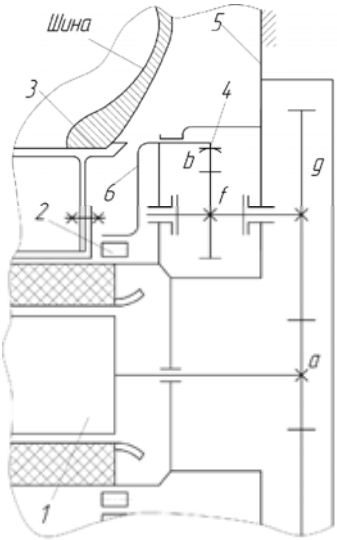


Рис. 5. Привод «мотор-колесо» фирмы General Electric

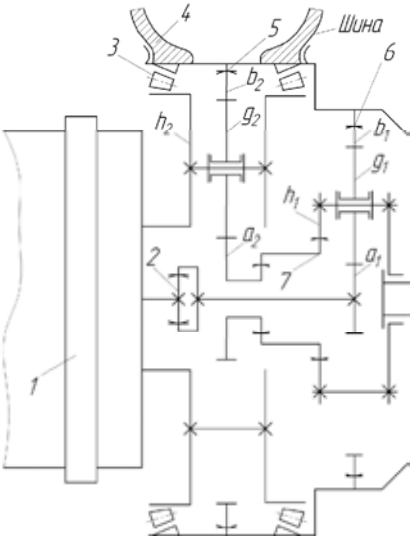


Рис. 6. Привод «мотор-колесо» ВНИИСтройдормаша

Электродвигатель 1 постоянного тока встроен в пустотелую ступицу колеса 3, которое опирается на подшипник 2. Двухступенчатая трехпоточная трансмиссия располагается в раме 5. Мощностной поток с двигателя через зубчатый венец a передается на колеса g первой ступени, а далее через колеса f на венец b второй ступени на звене 6 с помощью зубчатой муфты 4. Общее передаточное отношение трансмиссии определяется как

$$u_{ab} = u_{ag} \times u_{fb} = -\frac{z_g}{z_a} \times \frac{z_b}{z_f},$$

где u_{ag}, u_{fb} – передаточные отношения рядовых ступеней “a - g” и “f - b”; z_a, z_g, z_f и z_b – числа зубьев зубчатых звеньев трансмиссии.

Для получения большего передаточного отношения ВНИИСтройдормаш (рис. 6) применил замкнутую дифференциальную передачу.

Мощностной поток от двигателя 1, жестко закрепленного на раме 8 машины, через кардан 2 передается на плавающее колесо a_1 первой ступени, а с него через сателлиты g_1 и колесо b_1 на водило h_1 и через кардан 7 – на колесо a_2 второй ступени. Далее через сателлиты g_2 и остановленное водило h_2 – на колесо b_2, кинематически связанное с колесом b_1 через кардан 6. Плавающие конструкции колес a_1 и a_2, b_1 и b_2 ступеней позволили частично устранить избыточные связи, но при этом значительно усложнили привод в целом при его изготовлении, монтаже и эксплуатации.

Из-за кинематической сложности привод оказался строго автономным и исключил возможность его унификации в типоразмере. Это послужило причиной его ограниченного применения. Поиск, выявил, что наиболее перспективным является привод по схеме «мотор-колесо» (рис. 7).

Рис. 7. Общий вид многопоточной планетарного привода

Привод содержит двигатель с блоком управления и многопоточную трансмиссию на базе планетарной передачи с внутренними за-

цеплениями [11], включающую входной вал водило, опорное центральное колесо с внутренними зубьями, выходное колесо с внутренними зубьями, двухвенцовые сателлиты, зубья которых зацепляются с зубьями опорного и выходного колес, образуя два зацепления. Числа зубьев выходного колеса варьируют в диапазоне $40 \pounds z_a \pounds 120$ и кратный числу сателлитов $2 \pounds a_c \pounds 4$, а число зубьев опорного колеса определяется как $z_b = z_a - a_c$. Передаточное число определяется $u_{ha}^b = \dfrac{z_a}{a_c} = 60; 40; 30$ при $a_c = 2, 3, 4$.

Недостатками рассмотренного привода являются разные углы зацепления в рабочих эвольвентных зацеплениях, наличие конструктивных трудно устраняемых избыточных связей и ограниченные возможности по вариации выходных параметров по скорости и моменту.

Сдерживающими факторами внедрения этих передач в современные приводы были и остаются геометрические параметры и их расчет, и особенно внутренних [11]. Существующие системы расчета [12, 13] базируются только на многовариантности назначения смещений исходного контура, что требует от проектировщика высокой квалификации. Проектирование зацеплений возможно только на основе многопараметрического синтеза во взаимосвязях смещений с радиальными зазорами. Отсутствие визуализации на стадии их проектирования является серьезным недостатком [14], отрицательно сказывающимся на качестве проектных работ и сроках.

Специфика электроприводов мостовых кранов состоит в том, что воспроизводимые ими передаточные числа лежат в интервале $30 \pounds u_{\text{пм}} \pounds 90$, а поэтому все приводы и рядовые и многопоточные планетарные содержат в своей структуре, по меньшей мере, двухступенчатые зубчатые передачи. Поэтому ближайшим аналогом рассматриваемого привода является привод с редуктором рп2–66 по классификации проф. В.н. кудрявцева [10].

Наличие двух водил и как следствие этого увеличенные осевые габариты, ограниченные воспроизводимые передаточные числа ($u_{\text{пм}} < 60$), невозможность построения параметрических рядов выходных параметров по скорости и моменту в одном габарите. За прототип привода принимаем двухступенчатую передачу планетарно-дифференциального типа, известную в технической литературе как планетарный редуктор рп3-54 (рис. 8).

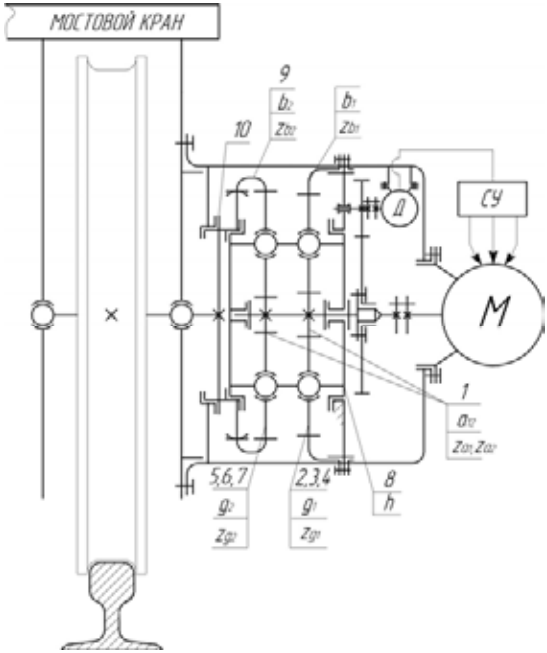


Рис. 8. Кинематическая схема привода передвижения мостового крана

Планетарный редуктор рп3-54 в отличие от предыдущего варианта рп2-66 [10] образован по методу проф. Ю.н. кирдяшева путем параллельного соединения друг с другом планетарных механизмов "$2k$ - h" [15]. При трехсателлитном исполнении число подвижных звеньев в приводе составляет $n = 9$. Число низших кинематических пар пятого класса p_5, образуемых подвижными звеньями со стойкой и водилом $p_н = p_5 = 10$, а число высших кинематических пар второго класса $p_в = p_2 = 12$. Число избыточных связей структурной схемы определяется по формуле А.П. Малышева

$$q_s = W - 6n + \sum_{i=1}^{i=5} i p_i = 1 - 6 \times 9 + 1 \times 0 + 2 \times 12 + 3 \times 0 + 4 \times 0 + 5 \times 10 = 21. \quad (1)$$

Двадцать одна избыточная связь в кинематической схеме привода по схеме передачи рп3-54 свидетельствует о его многократной статической неопределимости, что потребует для обеспечения линейчатых контактов сопряженных зубьев в двенадцати рабочих зацепле-

ниях строгой параллельности осей вращения всех десяти зубчатых звеньев основной оси вращения, роль которой принадлежит оси вращения водила. Избыточные связи частично уменьшаются за счет: установки сателлитов первой и второй ступеней на общие оси вращения; совместной обработкой сателлитов при их изготовлении; выполнения расточных работ в водиле и корпусе с одной установки и другими технологическими мероприятиями. Однако это не гарантирует высокой надежности трансмиссии по схеме рп3-54, так как допуски на изготовление и упругие деформации звеньев при работе обязательно приведут к перекосам парных осей вращения, кромочным контактам в зацеплениях, неравномерному распределению нагрузки вдоль контактных линий и, как следствие, – к снижению надежности и ресурса.

Для устранения многократной статической неопределимости в силовой трансмиссии по схеме рп3-54 сателлиты целесообразно перевести с цилиндрических кинематических пар на сферические с двумя угловыми подвижностями, а зубчатый венец выходного центрального колеса b_2 установить на выходном валу на зубчатый кардан. Число подвижных звеньев в этом случае в передаче увеличится до $n = 10$, при этом $p_2 = 12$, $p_3 = 7$, $p_5 = 4$, $q_s = 2$. При установке венца опорного колеса b_1 на зубчатый кардан избыточные связи устраняются полностью $q_s = 0$.

Такое резкое снижение числа избыточных связей (с 21 до 2 или до нуля) свидетельствует о высокой адаптивности новой силовой трансмиссии (см. Рис. 8) к условиям работы, нечувствительности её к неточностям изготовления и монтажа и упругим деформациям звеньев при работе.

Кинематические связи в трансмиссии выражаются общим передаточным числом и диапазоном его изменения в одном типоразмере, которые определяются через числа зубьев зубчатых звеньев по формуле

$$\frac{z_{b_2}}{z_{a_1} - z_{a_2}} \pm u_{a_{12}b_2}^{b_1} = \left(1 + \frac{z_{b_1}}{z_{a_1}} \cdot \left(\frac{z_{b_2} \cdot z_{a_1}}{z_{b_2} \cdot z_{a_1} - z_{b_1} \cdot z_{a_2}}\right)\right) \pm z_{b_2} \text{ при } z_{a_1} > z_{a_2}. \quad (2)$$

При назначении чисел зубьев выходного центрального колеса из диапазона $z_{b_2} = 40, 41, ..., 120$ очевидно, что максимальное передаточное число $\left(u_{a_{12}b_2}^{b_1}\right)_{\max} = 120$, а варьируя разностью чисел зубьев малых центральных колес z_{a_1} и z_{a_2} можно изменять передаточные числа

привода в целом в одном заданном габарите.

Для унификации звеньев передачи, минимизации её габаритов и обеспечения возможности построения параметрических рядов выходных параметров по скорости и моменту в одном габарите целесообразно, чтобы суммы чисел зубьев центральных колес ступеней были равны между собой

$$\frac{(z_{a_1}+z_{g_1})\cos\alpha}{\cos\alpha_{w_{a_1g_1}}}=\frac{(z_{a_2}+z_{g_2})\cos\alpha}{\cos\alpha_{w_{a_2g_2}}}=\frac{(z_{b_1}-z_{g_1})}{\cos\alpha_{w_{g_1b_1}}}=\frac{(z_{b_2}-z_{g_2})}{\cos\alpha_{w_{g_2b_2}}}, \qquad (3)$$

где $\alpha_{w_{a_1g_1}}, \alpha_{w_{g_1b_1}}, \alpha_{w_{a_2g_2}}, \alpha_{w_{g_2b_2}}$ – углы зацепления рабочих зацеплений.

Параметрический ряд выходных параметров по скорости и моменту передаточного механизма рп-80/31

Типоразмер	Числа зубьев зубчатых колес			$u^{b_1}_{a_{1,2}b_2}$
	z_{a_1}/z_{a_2}	z_{g_1}/z_{g_2}	z_{b_1}/z_{b_2}	
$a_{w_0}=19{,}5m$ $m=4$ мм $a_w=79{,}6$ мм $\alpha_w=22{,}956^{\circ}$	13/12	26/27	65/66	66
	14/13	25/26	64/65	65
	15/14	24/25	63/64	64
	16/15	23/24	62/63	63
	17/16	22/23	61/62	62
	18/17	21/22	60/61	61
	14/12	25/27	64/66	33
	16/14	23/25	62/64	32
	18/16	21/23	60/62	31
	20/18	19/21	58/60	30
	13/10	26/29	65/68	22,7
	16/13	23/26	62/65	21,7
	19/16	20/23	59/62	20,7
	14/10	25/29	64/68	17
	18/14	21/25	60/64	16
	15/10	24/29	63/68	13,6
	18/12	21/27	60/66	11

При равных углах зацепления во всех рабочих зацеплениях в приводе отсутствуют конструктивные несоосности, а следовательно причины «вредных» избыточных связей, а поэтому задаваясь числом зубьев меньшего центрального колеса из параметрического ряда $z_{a_2} = 12, 13, ..., 20$.

В таблице приводится параметрический ряд выходных параметров электропривода рп-1500/30 с передаточным механизмом рп-80/31, разработанных кафедрой для ооо «стройтехника» (г. Донской, тульская обл.).

Параметрический ряд возможных выходных параметров по скорости и моменту в таблице в одном габарите подтверждает, с одной стороны высокий технический уровень и конструктивное совершенство рассматриваемого привода.

Более перспективными являются приводы «мотор-колесо» со встроенными в ступицу колесного движителя силовыми трансмиссиями. Они отличаются компактностью, малой металлоемкостью, короткими кинематическими цепями и нуждаются в создании новых схемных решений на малометаллоемкие и малогабаритные силовые трансмиссии.

Для повышения технического уровня, ресурса работы и конкурентоспособности грузоподъемных машин, выпускаемых в Тульском регионе и РФ, необходимо: создание новых технических решений на силовые малогабаритные многопоточные трансмиссии с широкими диапазонами дискретного изменения выходных параметров по скорости и по моменту в одном габарите; разработке на их основе базовых конструкций на унифицированные и универсальные приводы типа «мотор-колесо», включая инженерные методы их синтеза и проектирования; построение параметрических рядов выходных параметров по скорости и моменту в одном габарите для унификации и универсализации выпускаемой грузоподъемной техники.

Библиографический список:

1. Грузоподъемные машины: Учебник для вузов по специальности «Подъемно-транспортные машины и оборудование»/ М. П. Александров, Л. Н. Колобов, Н. А. Лобов и др.: – М.: Машиностроение, 1986 – 400 с.

2. Силовые зубчатые трансмиссии угольных комбайнов. Теория и проектирование / Сидоров П.Г., Козлов С.В., Крюков В.А., Полосатов Л.П. М.: Машиностроение, 1995. 296 с

3. Анцев В.Ю., Трушин Н.Н. Гидромеханическая передача / Патент на изобретение RU 2695477, 23.07.20

4. ГОСТ 534-78. Краны мостовые опорные. Пролеты. – Введен в действие с 01.07.1979. – М.: Изд-во стандартов, 1979. – 23 с.

5. Шабашов А. П., Лысяков А. Г. Мостовые краны общего назначения. М.: Машиностроение, 1980. 304 с.

6. ГОСТ 25835-83. Краны грузоподъемные. Классификация механизмов по режимам работы. – Введен в действие с 01.01.1985. – М.: Изд-во стандартов, 1985. – 34 с.

7. ГОСТ 25546-82. Краны грузоподъемные. Режимы работы. – Введен в действие с 01.01.1986. – М.: Изд-во стандартов, 1986. – 37 с

8. Справочник по кранам: В 2 т. Т. 1. Характеристики материалов и нагрузок. Основы расчета кранов, их приводов и металлических конструкций/В. И. Брауде, М. М. Гохберг, И. Е. Звягин и др.; Под общ. ред. М. М. Гохберга. — Л.: Машиностроение. Ленингр. отд-ние, 1988. — 536 с. ил.

9. Гохберг М.М. Металлические конструкции подъемно-транспортных машин. Л.: Машиностроение, 1976. 454 с.

10. Сидоров П.Г., Пашин А.А., Плясов А.В. Многопоточные зубчатые трансмиссии: теория и методология проектирования/под общей ред. П.Г. Сидорова. М.: Машиностроение, 2011. 340 с.

11. Сидоров П.Г. Синтез внутренних эвольвентных зацеплений планетарных передач / П.Г. Сидоров и [др.] // Вестник машиностроения. М. : Изд-во Машиностроение, 2009, №6, С. 3-8.

12. Крюков В.А., Нгуен З.Т., Плясов А.В. Геометрический синтез четырехзвенной зубчатой передачи со связанными колесами // Проблемы машиноведения: мат. III Междунар. науч-техн. конф Ч.1 / ОмГТУ – Омск, 2019. С. 139-144.

13. Sidorov P.G, Kryukov V.A., Plyasov A.V. [alia]. Synthesis of internal involute couplings of planetary transmissions // Russian engineering research. 2009. V. 29. № 6. P. 531-537

14. Krukov V.A., Nguyen D.T., Plyasov A.V. GEOMETRICAL SYNTHESIS OF FOUR-BAR GEAR TRAIN WITH RELATED GEARS / Journal of Physics: Con-ference Series 2019. С. 112017.

15. Двухступенчатая планетарная передача. Сидоров П.Г., Сидоров О.П., Смелов Ю.Е., Пашин А.А., Плясов А.В., Ширяев И.А. Патент на изобретение № 2402707 от 08.10 2008. Опубл. 27.10.2010, бюлл. № 30.

УДК 621.8

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ДИНАМИЧЕСКИХ И ТЕПЛОВЫХ ПРОЦЕССОВ В МНОГОДИСКОВОЙ ФРИКЦИОННОЙ МУФТЕ

Судаков С.П., Горлатых Н.В.
Тульский государственный университет, Россия

Изложена математическая модель определения основных параметров функционирования простейшей многодисковой фрикционной муфты с учетом изменения температуры рабочих поверхностей фрикционных дисков пакета. Получены зависимости геометрических параметров фрикционного пакета от основных технических характеристик муфты.

Ключевые слова: муфта, многодисковая фрикционная муфта, пакет фрикционных дисков, сила трения, уравнение теплопроводности.

В современной технике, в различных системах автоматического управления механизмами и машинами широко используются фрикционные муфты. Они управляют процессами передачи крутящего момента от источника механической энергии вращательного движения к потребителю. С помощью фрикционных муфт осуществляется плавное сцепление и расцепление валов, защита от ударов, реверсирование электродвигателей и т.д.

В многодисковых фрикционных муфтах, являющихся разновидностью фрикционных муфт и состоящих из пакета фрикционных и стальных дисков, крутящий момент передается за счет силы трения, возникающей при сжатии дисков. На рис. 1 показан общий вид пакета фрикционных дисков.

Рис. 1 Общий вид пакета фрикционных дисков

Основная задача многодисковой муфты – в нужный момент плавно соединить и разъединить входной (ведущий) и выходной (ведомый) валы. Механизм обеспечения силы прижатия фрикционных дисков в пакете может быть различным – пружина, давление жидкости и др.

Главное отличие многодискового механизма от других заключается в том, что за счет наращивания количества дисков увеличивается количество соприкасающихся поверхностей, в результате чего стано-

вится возможным передавать больший крутящий момент. При этом конструкция остается достаточно компактной.

Рассматриваемую в работе фрикционную муфту (рис. 2) можно отнести к дисковым муфтам. Рабочие поверхности имеют простейшую форму. Эти муфты при малых габаритах могут иметь большую поверхность трения. Потребная сила включения невелика, так как она последовательно осуществляет давление на все поверхности трения, а не распространяется между ними.

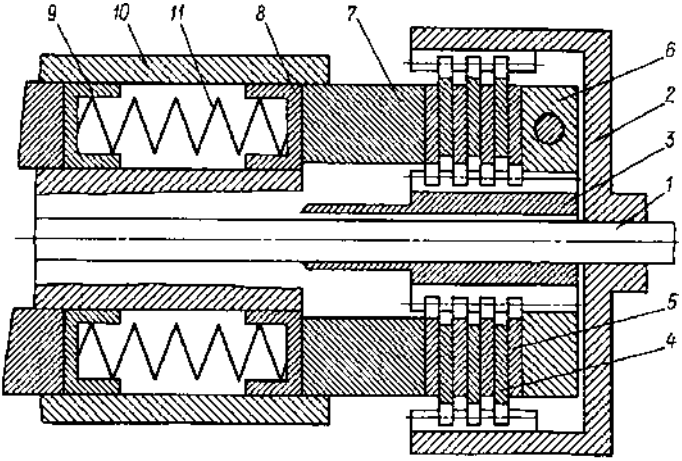


Рис. 2. Фрикционная многодисковая муфта : 1 – вал; 2 – шестерня с внутренними зубьями; 3 – втулка с внешними зубьями; 4 – диск наружный; 5 – диск внутренний; 6 – гайка регулировочная; 7 – диск нажимной; 8 – упор; 9 – заглушка; 10 – гайка; 11 – пружина

Основными критериями работоспособности фрикционных муфт являются: прочность (надежность) сцепления, износостойкость поверхностей трения и их теплостойкость.

Фрикционные диски изготовляются из чугуна, стали, латуни, бронзы или из фрикционных пластмасс.

Многодисковые фрикционные муфты широко применяются в автомобилестроении, например, в следующих системах:

– сцепление (в вариаторах без гидротрансформатора);

– автоматическая коробка передач (АКПП): муфта в АКПП служит для передачи крутящего момента к планетарному ряду;

– роботизированная коробка передач: пакет дисков с двойным сцеплением в коробке–роботе используется для высокоскоростного переключения передач;

– системы полного привода: фрикционное устройство устанавливают в раздаточной коробке (муфта здесь необходима для автоматического блокирования межосевого дифференциала);

– дифференциал: механическое устройство выполняет функцию полной или частичной блокировки.

Расчеты параметров функционирования муфты производим по допускаемому давлению на рабочих поверхностях при известном номинальном значении крутящего момента на соединяемых валах. Давление выбираем с поправкой на окружную скорость на поверхностях трения и число включений муфты. Допускаем, что контактные напряжения (давления) от усилия сжатия равномерно распределены между наружным и внутренним диском, что значительно упрощает решение задачи.

Крутящий момент, который может передавать муфта:

$$M = \frac{1}{S} f F S_{cp} n = \frac{1}{S} \pi f F R_{cp} n \left(R^2 - r^2\right)[p],$$

отсюда при выбранных радиальных размерах необходимое число пар поверхностей трения

$$n = \frac{SM}{\pi f R_{cp}\left(R^2 - r^2\right)|p|},$$

где F – сила сжатия диска; S – коэффициент запаса сцепления; R и r – наружный и внутренний радиусы кольцевой поверхности трения; $R_{cp} = ½ (R + r)$ – средний радиус поверхности трения; f – коэффициент трения; $[p]$ – допускаемое давление; n – число пар поверхностей трения.

Для расчета параметров функционирования муфты определим необходимое усилие F сжатия внутренних и наружных дисков до полной остановки вала, имеющего крутящий момент M. Допустим, что контактные напряжения (давления) p от усилия Fсжатия равномерно распределены между наружным и внутренним диском. Тогда из уравнения равновесия дисков найдем:

$$p = \frac{4F}{\pi\left(D^2 - d^2\right)},$$

где D и d – наружный и внутренний диаметры кольцевой поверхности трения (рис. 3).

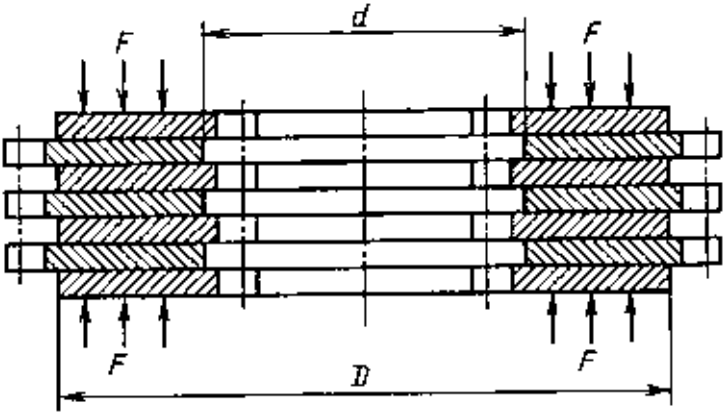


Рис. 3 Наружные и внутренние диски пакета

Если принять, что удельные силы q трения связаны с давлением p зависимость $q = fp$, то момент трения, возникающий между дисками пары, можно записать как:

Момент трения равен:

$$M = 2\int_{\frac{d}{2}}^{\frac{D}{2}} \pi f p n r^2 dr = \frac{1}{12}\pi f p n (D^3 - d^3).$$

Установим зависимость момента трения M между дисками от их усилия F сжатия:

$$M = \frac{1}{3} f F n \frac{D^3 - d^3}{D^2 - d^2} = f F n R_{\text{т}},$$

где $R_{\text{т}}$ – приведенный радиус трения.

Определим усилие сжатия дисков фрикционной муфты, которое необходимо для полной остановки вала, имеющего крутящий момент M

$$F = \frac{M}{f n R_{\text{т}}}.$$

Изменяя в формуле число n трущихся пар дисков, можно варьировать усилием сжатия дисков тормозящей фрикционной муфты.

При расчете температуры на рабочих поверхностях муфты будем решать дифференциальное уравнение теплопроводности (Фурье) для тел простейшей формы (бесконечная пластина, бесконечный цилиндр) с постоянными физическими коэффициентами

$$\frac{\partial T}{\partial t} = a\left(\frac{\partial^2 T}{\partial x_1^2} + \frac{k-1}{x_1} \times \frac{\partial T}{\partial x_1}\right) + \frac{q_v}{c'},$$

где x_1 – первая координата в ортогональной системе координат: $x_1 = x$ в декартовой системе координат, $x_1 = r$ в цилиндрической и сферической системах координат; $k = 1, 2$ – коэффициент формы тела: $k = 1$ – бесконечная пластина; $k = 2$ – бесконечный цилиндр.

При отсутствии в системе внутренних источников теплоты ($q_v = 0$) дифференциальные уравнения Фурье для тел простейшей формы записываются следующим образом:

$$k = 1: \frac{\partial T}{\partial t} = a\frac{\partial^2 T}{\partial x^2}; \quad k = 2: \frac{\partial T}{\partial t} = a\left(\frac{\partial^2 T}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \times \frac{\partial T}{\partial r}\right).$$

В результате решения одномерного дифференциального уравнения для стационарного процесса теплопроводности находим температурное поле в виде $T(x_1)$ или в явном виде $T(x)$ – в декартовой системе координат и $T(r)$ – в цилиндрической и сферической системах координат. Решение уравнения производилось численным методом с использованием пакета MathCAD.

В работе установлена зависимость момента сил трения между дисками фрикционного пакета от их усилия сжатия, кроме этого, показано, как зависит усилие сжатия дисков фрикционной муфты от числа трущихся пар дисков при изменяющейся температуре поверхностей трения в муфте.

Библиографический список:

1. *Комбалов В.С. Методы и средства испытаний на трение и износ конструкционных и смазочных материалов: Справочник. М. : Машиностроение, 2007. 384 с.*
2. *Леликов О.П. Основы расчета и проектирования деталей и узлов машин. М. : Машиностроение, 2007. 464 с.*
3. *Пенкин Н.С., Пенкин А.Н., Сербин В.М. Основы трибологии и триботехники: учеб. пособие. 2-ое изд. М. : Машиностроение, 2012. 208 с.*
4. *Гаркунов Д.Н. Триботехника (износ и безизносность): учеб. М. : МСХА, 2001. 616 с.*
5. *Кондратович В.В. Оценка трибологических свойств фрикционной муфты. М. : Машиностроение, 2008. 82 с.*

СОДЕРЖАНИЕ

Тульский государственный университет 100 лет…… **5**

Тульский государственный университет - крупнейший опорный вуз региона……**8**

Институт горного дела и строительства ТулГУ 70 лет……**15**

Беларусский национальный технический университет 100 лет……**5**

Донецкий национальный технический университет 100 лет……..**5**

Тульский кремль 500 лет……**38**

ГЕОТЕХНОЛОГИИ И ГЕОТЕХНИКА

Шишлянников Д.И., Трифанов Г.Д., Суханов А.Е.
Оценка нагруженности приводов комбайнов «Урал-20р» при отработке забоя неполным сечением исполнительных органов……**53**

Яконовская Т.Б., Жигульская А.И., Оганесян А.С.
Обоснование рационального способа разработки торфяного месторождения в условиях ограниченной геологической информации.. **60**

Фролов А.А., Бельтек Н.И.
Влияние трещиноватости горного массива на радиус зоны разрыхления при взрыве скважинного заряда……**66**

Бельская Г.В., Хрипович А.А., Зеленухо Е.В.
Факторы повышения эффективности производства и использования биогаза……**71**

Поликарпова Н.Н.
Изучение торфа и нефти с применением it технологии……**77**

Марийчук И.Ф., Купенко И.В., Барсук Н.Д.
Математическая модель системы «породныймассив – анкерная крепь – крепь из модифицированного бетона» горных выработок угольных шахт……**85**

Новиков А.О., Шестопалов И.Н., Лепешкин В.Г.
Результаты обследования состояния горных выработок шахт ГП «ДУЭК» и пути его улучшения…… **90**

Яконовская Т.Б., Жигульская А.И., Сергеева А.С.,Сувырин Е.А.
Влияние изменений горно-геологических условий освоения торфяного месторождения на конструкцию торфодобывающего оборудования……..**97**

Стр.

Жуков Н.М., Яблонев А.Л.
Экспериментальное исследование параметров косоугольного резания торфяного монолита штифтовой фрезой……..…… **103**

Шубин А.А
Анализ мероприятий по борьбе с техногенными проявлениями на горнорудных предприятиях……. **106**

Барков Н.С., Отрезов А.А., Пухова О.В., Тимофеев А.Е.
Технология разработки месторождения с улучшением параметров торфяного расстила ……...**112**

Яконовская Т.Б., Жигульская А.И., Оганесян А.С.
Геотехнология созданияискусственного месторождения торфодревесного сырья……**118**

Оника С.Г., Дереповская Е.Р., Кишко АА., Здор Д.В, Зотов А.А.
Оценка степени дробления горных пород на гранитном карьере ……**123**

Степачёва А.А., Дожделев А.М.
Каталитическая переработка торфа для получения жидкого углеводородного топлива ……**128**

Фомин К.В., Крылов К.С., Харламов В.Е., Морозихин Н.Н.
Анализ повреждающих воздействий на режущих элементах рабочего органа торфяного фрезерующего агрегата……..**135**

Фомин К.В., Крылов К.С., Харламов В.Е., Морозихин Н.Н.
Расчет вероятностных характеристик повреждающих воздействий на резцах рабочего органа торфяного фрезерующего агрегата……**141**

Мокроусова И.В., Лаптева С.Б.
Результаты исследования геохимической подвижности микроэлементов в торфяных залежах……..**146**

Беляков В.А., Купорова А.В.
О возможности добычи торфа за полярным кругом……...**152**

Мартынов А.А., Плотникова Ю.А., Майбенко Н.И.,
Алгоритм и решаемые задачи с помощью компьютерной технологии расчетов температурных условий в глубоких шахтах ……..**159**

Мисников О.С., Гамаюнов С.Н., Левинский В.В., Русакова А.А.
Использование торфоминеральных мелиорантов в рекультивационных работах и для улучшения плодородия почв……**167**

Копенкина Л.В.
Становление торфяной отрасли (к 100-летию плана ГОЭЛРО)……**175**

Столбикова Г. Е., Купорова А.В.
Исследование увлажнения фрезерной крошки в ночные часы……..… **181**

Шабаев О.Е., Степаненко Е.Ю., Бридун И.И., Зинченко П.П.
Влияние дополнительных погрузочных устройств на производительность очистных комбайнов со шнеками малых диаметров……**187**

Стр.

Белов В.В., Куляев П.В., Артемьев А.А.
Оптимизация гранулометрического состава минеральной части мелкозернистых бетонов, модифицированных ультразвуком…….. **194**

Басалай Г. А.
Динамическая модель привода соосных роторов проходческого комбайна……..**202**

Саммаль А.С., Павлова Н.С., Тормышева О.А.
Оценка несущей способности крепи горной выработки, сооружаемой вблизи границы раздела пород с различными характеристиками…… **206**

Воронина И.Ю., Саммаль А.С.
Определение толщины зоны укрепительной цементации пород, обеспечивающей несущую способность обделки подводного тоннеля…**214**

Анциферов С.В., Бурзяев В.С., Анциферова Л.Н.
Представление комплексных потенциалов при построении математической модели формирования напряженного состояния обделки тоннеля, сооруженного с применением укрепительной цементации грунта …… **219**

Саммаль А.С., Залесский К.В. , Нгуен В.К.
Совершенствование методики расчета анкеров контактного типа применительно к условиям угольных шахт вьетнама…… **227**

Анциферов С.В., Дворянкин В.Г., Копылов А.Б.
Исследование напряженного состояния обделки от веса технологического оборудования, расположенного внутри тоннеля…… **234**

Анциферов С.В., Трещева О.В., Феклин А.А.
Математическое моделирование напряженного состояния обделки тоннеля, сооружаемого с применением защитного экрана……**240**

Basalai I.A., Slesarenok E.V.
Nonmetallic mineral resources of Belarus for the production of construction materials …… **247**

Кологривко А.А., Астапенко Т.С.
Отходы калийных предприятий: получение уовых физико-механических и водно-физических свойств отходов обогащения калийных руд в процессе гидронамыва……**251**

Абдрахманова З.Т., Кан А.Н., Юн Р.В., Ефименко С.А.
Online мониторинг руд на технологических конвейерах тоо «Корпорация Казахмыс» с помощью энергодисперсионных рудоконтролирующих станций……**254**

Новиков А.О., Шестопалов И.Н., Дрипан П.С.
Лабораторные исследования безклеевого способа установки анкера под действием статической нагрузки…….. **265**

Стр.

СТРОИТЕЛЬСТВО И АРХИТЕКТУРА

Трофимов В.И., Ясюкович В.А., Желев Н.А.
К вопросу получения изделий из конструкционного легкого бетоны на пустотелом заполнителе……**273**

Белов В.В., Куляев П.В., Артемьев А.А.
Оптимизация гранулометрического состава минеральной части мелкозернистых бетонов, модифицированных ультразвуком…….. **279**

Пеева И. Э., Кулинич В. Д.
Методика исследований влияния неразрушающих динамических воздействий на остаточную прочность материала……. **287**

Прохорова А.В., Сычева Т.Н., Копылов А.Б.
Проблемы при использовании современных стеновых конструкций для обеспечения комфортного режима в зданиях ……. **290**

Трофимов В.И., Джабаров А.С., Желев Н.А., Ясюкович В.А.
Дорожная плита с композитным несущим слоем……**293**

Овчинников И.И., Овчинников И.Г., Караханян В.Б.
К вопросу об оценке долговечности сооружений и их частей……..**297**

Апухтина Д.В., Колесников А.Г.
Экономический эффект учета прогрессирующего обрушения……**302**

Белякова Е.В., Головин К.А., Ковалев Р.А., Томилова Б.И.
Особенности применения технологии гидроструйной цементации в дорожном строительстве……**309**

Левтеева И.А., Иватанова Н.П.
Значимость экономического контроля выполнения целевых программ в строительной сфере…….. **318**

Левтеева И.А.
Проблемы выбора подрядной организации в сфере строительства для реализации целевых программ…….. **321**

Гончарова А.Р.
Актуальность развития концепции устойчивого развития для крупных инфраструкурных объектов…….. **327**

МЕХАНИКА МАТЕРИАЛОВ И СТРОИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ

Трещев А.А.
Об особенностях экспериментального определения деформационных характеристик композитных материалов…… **332**

Гавриленко А. В., Субботин С. Л., Баркая Т. Р.
Параметрическое исследование несущей способности постнапряжённых шарнирно опёртых балок при отслеживании процесса их нагружения по деформациям……...**343**

Стр.

Зюзин Б.Ф., Жигульская А.И.
Проявление энтропии при деформировании материалов…….. **350**

Babaqulova N.B., Mukhamedgaliev B.A.
Development of technology of epoxy resin modification new modifiers……**354**

Kamalova D.M., Kasimova G.A.
New additives to increase fire resistance of building consructions…… **362**

Журавлев Г.М., Теличко В.Г., Куриен Н.С.
Нелинейная модель высокоскоростного деформирования бетона при взрыве железобетонной стены ……**368**

Трещев А.А., Лапшина М.А., Завьялова Ю.А.
Построение конечно-элементной модели деформирования прямоугольных ортотропных пластин средней толщины из разносопротивляющихся материалов…….. **377**

ОБРАЗОВАНИЕ

Ролевич И.В., Морзак Г.И., Зеленухо Е.В.
Повышение качества высшего образования в области экологического менеджмента в горнодобывающей промышленности и строительстве…**381**

Морзак Г.И., Сидорская Н.В., Мартынюк С.С., Зеленухо Е.В.
Оптимизация высшего образования и «зеленая» политика……...**388**

Скуратович И.В.
Экологическое право как компонент подготовки инженеров……**395**

Белякова Е.В., Бородкин Н.Н., Чернецова Е.А.
Роль общепрофессиональных дисциплин в структуре инженерной подготовки…….. **397**

Белякова Е.В., Бородкин Н.Н.
Компьютерное моделирование на кафедре начертательной геометрии, инженерной и компьютерной графики ТулГУ……**403**

МАШИНОСТРОЕНИЕ

Хлудов С.Я., Маркова Е.В., Чечуга О.В.
Необходимые условия процесса стружколомания при изготовлении деталей горного машиностроения……..…… **409**

Крюков В.А., Плясов А.В., Судаков С.П., Трушин Н.Н.
Обоснование выбора планетарной передачи для унифицированного привода передвижения транспортной машины…….. **416**

Судаков С.П., Горлатых Н.В.
Математическое моделирование динамических и тепловых процессов в многодисковой фрикционной муфте……..**429**

Научное издание

16 я Международная конференция по проблемам горной промышленности, строительства и энергетики

СОЦИАЛЬНО-ЭКОНОМИЧЕСКИЕ И ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ ГОРНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ, СТРОИТЕЛЬСТВА И ЭНЕРГЕТИКИ

Материалы конференции

Том 2

Компьютерное редактирование и верстка Копылов А.Б.

Изд.лиц. JIP №020300 от 12.02.97. Подписано в печать 24.10.20.
Формат бумаги 60x84 1/16. Бумага офсетная.
Усл. печ. л. 37,5. Уч.-изд. л. 32,24. Тираж 100 экз. Заказ
Тульский государственный университет.
300600, г. Тула, просп. Ленина, 92.

Отпечатано в Издательстве
Тульского государственного университета.
300600, г. Тула, просп. Ленина, 95