



МИНОБРНАУКИ РОССИИ

Российская академия архитектуры и строительных наук

Администрация Тульской области и г. Тулы

Тульский государственный университет

Кафедра «Строительство, строительные материалы
и конструкции»

СБОРНИК МАТЕРИАЛОВ

XV Международной научно-технической конференции «Актуальные проблемы строительства и строительной индустрии» (1-3 июля 2014 г.)



ТУЛА
2014

В настоящем сборнике опубликованы материалы, представленные участниками XV Международной научно-технической конференции «Актуальные проблемы строительства и строительной индустрии» (Тульский государственный университет, 1-3 июля 2014 года, г. Тула).

Тезисы докладов соответствуют авторским оригинал макетам, поступившим в оргкомитет конференции.

ТЕМАТИЧЕСКИЕ СЕКЦИИ КОНФЕРЕНЦИИ

Механика материалов и строительных конструкций, проектирование зданий и сооружений.

Технология и экологические проблемы строительных материалов.

Эксплуатация, обследование и усиление строительных конструкций.

ОРГКОМИТЕТ КОНФЕРЕНЦИИ

Председатель:

Грязев М.В. – д.т.н., проф., ректор ТулГУ

Зам. председателя:

Трещёв А.А. – советник РААСН, д.т.н., проф., зав. каф. ТулГУ

Члены оргкомитета:

Лигай С.Е. – зам. главы г. Тулы,

Захарова И.А. – к.ф.-м.н., доц. ТулГУ,

Теличко В.Г. – к.т.н., доц. ТулГУ,

Теличко Г.Н. – к.т.н., проф. ТулГУ

Секретариат – Фомичёва А.А., инженер ТулГУ

ПРОГРАММНЫЙ КОМИТЕТ

Сопредседатели:

Карпенко Н.И. – действительный член РААСН, д.т.н., проф. (РААСН);

Петров В.В. – действительный член РААСН, д.т.н., проф. (СГТУ);

Миронов В.А. – почётный член РААСН, д.т.н., проф., ТверьГТУ (г. Тверь)

Члены программного комитета:

Бобрышев А.Н. – чл.-корр. РААСН, д.т.н., проф., ПГУАС (г. Пенза)

Белов В.В. – советник РААСН, д.т.н., проф., ТверьГТУ (г. Тверь)

Зубчанинов В.Г. – д.т.н., проф., ТверьГТУ (г. Тверь)

Калашников В.И. – советник РААСН, д.т.н., проф., ПГУАС (г. Пенза)

Трещёв А.А. – советник РААСН, д.т.н., проф., ТулГУ (г. Тула)



Ministry of Education and Science of the Russian Federation

Russian Academy of Architecture and Construction Sciences

Administration of Tula and the Tula Region

Tula State University

Department of engineering, engineering materials
and constructions

INFORMATION PACKAGE

**XV International
scientific and technical conference
«Contemporary issues of engineering
and building industry»
(July 1-3, 2014)**



**TULA
2014**

This package consists of articles submitted by participants of XV International scientific and technical conference «Contemporary issues of engineering and building industry» (Tula State University, July 1-3, 2014, Tula).

Theses of reports match with original drafts that were submitted to organizing committee.

CONFERENCE SESSIONS

Mechanics of materials and engineering structures, structural design.

Technology and ecological issues of constructional materials.

Operation, structural survey and reinforcement of engineering structures.

ORGANIZING COMMITTEE

Convener:

Gryazev M.V. – Doctor of Engineering, professor, president of TSU;

Deputy convener:

Treschev A.A. – advisor of Russian Academy of Architecture and Construction Sciences, Doctor of Engineering, professor, head of the department, TSU;

Members of the committee:

Ligai S.E. – deputy mayor of Tula;

Zaharova I.A. – Candidate of Physical and Mathematical Sciences, docent, TSU;

Telichko V.G. – Candidate in Engineering Sciences, docent, TSU;

Telichko G.N. – Candidate in Engineering Sciences, professor, TSU;

Secretary – Fomicheva A.A., Engineer, TSU.

PROGRAM COMMITTEE

Co-conveners:

Karpenko N.I. – active member of Russian Academy of Architecture and Construction Sciences, Doctor of Engineering, professor, RAACS;

Petrov V.V. – active member of RAACS, Doctor of Engineering, professor, Saratov State Technical University;

Mironov V.A. – honorary member of RAACS, Doctor of Engineering, professor, Tver State Technical University.

Members of program committee:

Bobrishev A.N. – corresponding member of RAACS, Doctor of Engineering, professor, Penza State University of Architecture and Engineering;

Belov V.V. – advisor of RAACS, Doctor of Engineering, professor, Tver State Technical University;

Zubchaninov V.G. – Doctor of Engineering, professor, Tver State Technical University;

Kalashnikov V.I. – advisor of RAACS, Doctor of Engineering, professor, Penza State University of Architecture and Engineering;

Treschev A.A. – advisor of RAACS, Doctor of Engineering, professor, TSU.

ФОРМООБРАЗОВАНИЕ СТРОИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ

Абовский Н.П., Деордиев С.В., Инжутов И.С.,
Енджиевский Л.В., Палагушкин В.И.

ИСИ ФГАОУВПО СФУ, г. Красноярск, Россия

Рациональное формообразование требует преодоления сложившейся узкой специализации и нацелено на творческое системное содружество архитектора, конструктора, технолога. Авторами разработаны системные основы формообразования конструкций, включающие в себя:

- **общие принципы и требования** к формообразованию конструкций: системность, комплексная связь, пространственность, многосвязность, принцип декомпозиции глобальной конструкции на типовые; обеспечение надежности, живучести, безопасности, долговечности; а также *активное формообразование* конструкций (управление НДС конструкций при строительстве), энергетические аспекты формообразования, трансформируемые и перестраивающиеся конструкции;

- **частные принципы**, нацеленные на преодоление конкретных специфических условий внешней среды (строительство в сейсмических районах, строительство при сложных инженерно-геологических условиях, в том числе на слабых грунтах), особенности формообразования конструкций из различных материалов; вопросы практической оптимизации.

Сталежелезобетонные пространственные конструкции – конструктивные формы частей или зданий в целом, основой которых дискретно-континуальный строительный элемент. Универсальный строительный элемент применен для создания полносборных зданий и сооружений различного типа, например, сталежелезобетонные, состоящие из тонкой легкой ребристой железобетонной плиты и подкрепляющего металлического шпренгеля.

Деревометаллические пространственные конструкции. Использование пространственных совмещенных блок-ферм, блок-арок, плит на пролет, рамно-панельных блок-секций и др. позволяет резко снизить трудоемкость монтажа вследствие уменьшения количества монтажных элементов; уменьшения расхода строительных материалов; упрощения конструктивной схемы здания.

Пространственные тонколистовые металлические конструкции основаны на принципе пространственного формообразования, придает тонкому металлическому листу жесткость. Разработаны и комплексно исследованы несколько типов облегченных предварительно напряженных двухпоясных конструкций покрытий или более сложных составных континуально-стержневых систем, в структуру которых входят отдельные блоки из стандартных и профилированных листов.

О ТОЧНОСТИ УПРОЩЕННОГО ВАРИАНТА УРАВНЕНИЙ В ПЕРЕМЕЩЕНИЯХ НЕЛИНЕЙНО ДЕФОРМИРУЕМЫХ ПОЛОГИХ ОБОЛОЧЕК

Аншакова А.А., Кривошеин И.В.

СГТУ, г. Саратов, Россия

Известны несколько вариантов разрешающих уравнений теории гибких нелинейно упругих пологих оболочек в компонентах вектора перемещения. По упрощенному варианту уравнений пренебрегают величиной жесткости $I_2 = \int_{-h/2}^{h/2} E_c z dz$, в этой связи в усилиях мембранной группы N_x, N_y, N_{xy} отсутствуют компоненты, связанные с изменениями кривизн оболочки $\chi_x, \chi_y, \chi_{xy}$, а в усилиях моментной группы M_x, M_y, M_{xy} нет компонентов, зависящих от деформаций в срединной поверхности $\varepsilon_x^{(0)}, \varepsilon_y^{(0)}, \gamma_{xy}^{(0)}$. Исследуем погрешности расчётов гибких нелинейно упругих пологих оболочек по упрощенному варианту уравнений. Используем метод конечных разностей (МКР) с точностью аппроксимации $O(\Delta^2)$ для расчёта шарнирно-неподвижно опертых оболочек на квадратном плане $2a \times 2a$ с относительными толщинами $h/(2a)$ и параметрами кривизны $k_\xi = k_x(2a)^2/h = 24$, $k_\eta = k_y(2a)^2/h = 24$ из несжимаемого нелинейно деформируемого материала с $\sigma_{ie} = 102$ (МПа), $\varepsilon_{ie} = 0,03$. В таблице приведены результаты расчётов на уровне верхней критической нагрузки для значений $h/(2a) = 1/40 \div 1/80$ при размере сетки МКР 24×24 , данные в числителе соответствуют полному варианту разрешающих уравнений, в знаменателе – упрощенному варианту с $I_2 = 0$.

$h/(2a)$	P	$\bar{w}(0,0)$	$\bar{w}_{\max}$	$M_{\xi \max}$	$N_{\xi}(0,0)$	$\varepsilon_{i \max}$
1/40	526,64	0,19028	0,58	0,69009	-2,50401	0,002286
	556,74	0,19255	0,63	0,82227	-2,62009	0,002406
1/60	583,77	0,18204	0,66	0,93011	-2,68845	0,001122
	591,67	0,17842	0,68	0,98854	-2,70179	0,001150
1/80	596,39	0,17436	0,69	1,02127	-2,70329	0,000657
	599,01	0,17162	0,69	1,05059	-2,70099	0,000665

Выявлено, что с уменьшением параметра толщины оболочки $h/(2a)$ результаты по упрощенному варианту ($I_2 = 0$) уравнений в перемещениях приближаются к данным по полному варианту уравнений, что обосновывает правомочность использования уравнений с $I_2 = 0$ при $h/(2a) \leq 1/80$.

ПРИМЕНЕНИЕ КОМПОЗИТНОЙ АРМАТУРЫ В ДОРОЖНОМ СТРОИТЕЛЬСТВЕ*

Ачкасов М.А., Гончарова М.А.

ЛГТУ, г. Липецк, Россия

Рост количества, интенсивности и скорости движения автомобилей предъявляет к дорожному строительству повышенные требования. В числе многочисленных задач строительной отрасли важную роль играют уменьшение энергоемкости и увеличение срока службы дорожного полотна. Одним из способов обеспечения заданных свойств является использование композитных сект и арматуры, сделанных на основе стеклопластика.

В дорожном строительстве стеклопластиковую арматуру можно применять для упрочнения дорожного основания, укрепления дорожного полотна, в дорожных и тротуарных плитах, ограждениях.

Дорожная сетка, изготовленная из композитной арматуры, предотвращает образование трещин и разрушений. Низкий модуль упругости позволяет быстро и без последствий гасить вибрацию, что очень важно в дорожном и мостовом строительстве. Также композитная арматура не подвержена коррозии, возникающей в результате неизбежного влияния погодных условий, солей, которые используют во время гололеда, и стойка к кислотным средам. Высокие антикоррозионные свойства стеклопластиковой арматуры допускают наличие в грунте засыпки хлоридов и сульфатов.

Дорожное строительство с использованием стеклопластиковой арматуры требует гораздо меньших финансовых затрат за счет более низкой стоимости материалов и их транспортировки, упрощает труд рабочих и обеспечивает надежную эксплуатацию дорожного покрытия без необходимости проведения ремонтных работ, а также за счет сокращения использования строительного оборудования (достаточно бульдозеров и катков). Также исчезает необходимость устройства заглубленного фундамента и возникает возможность использования местных грунтов.

Высокие прочностные характеристики арматуры позволяют создавать качественные дорожные покрытия, сохраняющие целостность в течение гарантийного срока эксплуатации.

Таким образом, несомненна актуальность и практическая значимость исследований применения композитной арматуры в дорожном строительстве.

*Работа выполнена при финансовой поддержке со стороны Минобрнауки России в рамках базовой части НИР 496

ТЕОРИИ РАСЧЕТА ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ, ЭКСПЛУАТИРУЕМЫХ В АГРЕССИВНЫХ СРЕДАХ

Башкатов А.В., Сысоева Е.А.

ТулГУ, г. Тула, Россия

В процессе эксплуатации железобетонные конструкции зданий и сооружений подвергаются комплексу внешних воздействий: нагрузок, температур и агрессивных эксплуатационных сред, различных физических полей, совместное влияние которых приводит к интенсивному развитию повреждений и сокращению срока службы сооружений. Хлоридсодержащая среда является одной из наиболее распространенных эксплуатационных сред для многих конструкций заводов химической промышленности и транспортных сооружений. Существующие различные методики расчёта конструкций, работающих в агрессивных средах, имеют частный характер, так как основываются на выведенных авторами формулах с коэффициентами, определяемыми на основе опытных данных.

Традиционно различают следующие направления решения задач по расчёту конструкций с учетом воздействия агрессивной среды. В первом из них расчётная схема представляется в виде пластинки с переменной толщиной, где слой, поврежденный средой, исключается из работы. Параметр поврежденности (глубина каверны) представляется в виде различных функций. Этот подход представлен в работах P. Aziz, T. Champion, G. Metcalfe, A. Liddiard, Н.Д. Томашова, Н. Godart, G. Drumm, Л.Я. Цикермана и другие.

Важным достижением исследователей при построении моделей деформирования тел, контактирующих с рабочей средой, является применение методов механики сплошной среды. Это направление связано с работами авторов Palmgren, Baily, Miner и получило дальнейшее развитие в работах В.В. Новожилова, Ю.Н. Работнова, Л.М. Качанова, В.В. Москвитина, А.А. Ильюшина и др. В работах этих авторов строятся феноменологические математические модели.

Новое направление в построении моделей коррозионного процесса в виде дифференциальных уравнений, позволяющих учитывать влияние напряженно-деформированного состояния конструкции на коррозию, предложено В.М. Долинским, В.Г. Карпуниным, В.В. Петровым, И.Г. Овчинниковым, В.К. Иноземцевым, А.И. Попеско и другими авторами.

Наиболее эффективно решать подобного рода задачу методом конечных элементов (КЭ), который лишен недостатков, присущих методу конечных разностей. Р. Куком получены две модификации гибридных КЭ с тремя степенями свободы в узле. Непосредственное применение конечных элементов Р. Кука к расчёту железобетонных пространственных конструкций некорректно, т.к. они не учитывают продольные усилия и перемещения в срединной плоскости, а также не дают возможности достаточно просто определить вектор обобщенных сил в центре КЭ.

ПРИМЕНЕНИЕ КОНЕЧНОГО ЭЛЕМЕНТА ДЛЯ ЗАДАЧ ПО ОПРЕДЕЛЕНИЮ НДС СЛОИСТЫХ КОНСТРУКЦИЙ ИЗ НЕЛИНЕЙНОГО МАТЕРИАЛА

Башкатов А.В., Теличко В.Г.

ТулГУ, г. Тула, Россия

Для решения задач по определению НДС слоистых конструкций из нелинейного материала, находящихся под действием агрессивной среды, наиболее эффективно использовать метод конечных элементов (КЭ). Применение данного метода позволяет избежать недостатков, присущих методу конечных разностей. Однако применение модификаций КЭ, разработанных Р. Куком, к расчёту пространственных железобетонных конструкций некорректно, т.к. они не учитывают продольные усилия и перемещения в срединной плоскости. Поэтому предложено использовать модификацию КЭ с пятью степенями свободы в узле, представленную в работе [1].

При построении матрицы жесткости данной модификации КЭ внутри него вектор обобщенных сил представлялся следующим образом:

$$\{M\} = [P]\{\beta\}$$

где $[P]$ – матрица некоторых функций от координат точки элемента; $\{\beta\}$ – вектор коэффициентов, подлежащих определению.

Вектор обобщенных деформаций представлен в виде:

$$\{\varepsilon\} = [D]^{-1}\{M\} = [E]\{M\}$$

где $[E]$ – матрица податливости.

Используя [2], получен функционал, предложенный П. Тонгом и П. Пианом, на котором основаны КЭ данного класса. После этого находился вектор сил на границе элемента. Далее определялись вариации полученного ранее функционала и приравнивали их к нулю, получая выражение, из которого в дальнейшем выделяется матрица жесткости элемента.

Библиографический список

1. Теличко, В.Г. Гибридный конечный элемент для расчёта пространственных конструкций с усложненными свойствами / В.Г. Теличко, А.А. Трещёв // Сборник научных трудов XXXII Всероссийской научно-технической конференции: «Актуальные проблемы современного строительства». – Пенза: Изд-во ПГАСА, 2003. – Ч. 2. Строительные конструкции. – С. 138-143.
2. Tong, P. A variation principle and the convergence of a finite-element method based on assumed stress distribution / P. Tong, Pian H.H. // Int. J. Solids Struct. – 1969. – P. 463-472.

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ЗАДАЧИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ НДС СЛОИСТЫХ АРМИРОВАННЫХ КОНСТРУКЦИЙ ИЗ НЕЛИНЕЙНОГО МАТЕРИАЛА

Башкатов А.В., Трещёв А.А.

ТулГУ, г. Тула, Россия

Для решения задач по определению НДС слоистых конструкций из нелинейного материала, находящихся под действием агрессивной среды, наиболее эффективно использовать метод конечных элементов (КЭ).

Для построения математической модели полимербетонного слоя за основу принимаем теорию малых упругих деформаций А.А. Ильюшина [1] применительно к механике сплошной среды. При построении инкрементальной модели изгиба, необходимо иметь уравнения, связывающие приращения напряжений с приращениями деформаций. Для их получения требуется построить применительно к вышеуказанной теории дифференциал Гао, который позволяет получить физические соотношения в инкрементальной форме.

Данные соотношения построены В.В. Петровым в работе [2]. Однако, в рассматриваемой нами модели присутствуют еще два касательных напряжения:

$$\Delta\tau_{xz} = \frac{1}{3}E_k^*\Delta\gamma_{xz} + \frac{1}{3}\Delta\gamma_{xz}\frac{\partial E_c^*}{\partial[\delta(t)]}\Delta\delta; \quad \Delta\tau_{yz} = \frac{1}{3}E_k^*\Delta\gamma_{yz} + \frac{1}{3}\Delta\gamma_{yz}\frac{\partial E_c^*}{\partial[\delta(t)]}\Delta\delta;$$

где $\Delta\sigma_x$, $\Delta\sigma_y$, $\Delta\tau_{xy}$, $\Delta\tau_{xz}$, $\Delta\tau_{yz}$ – приращения нормальных и касательных напряжений, вызванные приращением внешних воздействий; $\Delta\varepsilon_x$, $\Delta\varepsilon_y$, $\Delta\gamma_{xy}$, $\Delta\gamma_{xz}$, $\Delta\gamma_{yz}$ – приращение линейных и угловых деформаций, E_k^* – переменный касательный модуль, $\Delta\delta$ – приращение глубины проникания агрессивной среды.

Построение слоев железобетонной плиты проводилось на основе работ Гензиева Г.А. и подробно изложено в работе [3].

Библиографический список

1. Ильюшин, А.А. Пластичность / А.А. Ильюшин. – М.: Гостехиздат, 1948. – 376 с.
2. Петров, В.В. Построение инкрементальных соотношений для физически нелинейного материала с развивающейся неоднородностью / В.В. Петров // Проблемы прочности элементов конструкций под действием нагрузок и рабочих сред / Саратов: Сарат. ун-т, 2005. – С. 138-143.
3. Теличко, Трещёв А.А. Моделирование напряженно-деформированного состояния оболочечных конструкций из железобетона / Теличко В.Г., Трещёв А.А. // Известия ТулГУ. Сер. Строительные материалы, конструкции и сооружения. – Тула: Изд-во ТулГУ, 2005. – Вып. 8. – С. 147-161.

ИССЛЕДОВАНИЕ МОДЕЛЕЙ ПЛОТНЫХ УПАКОВОК ПОЛИДИСПЕРСНЫХ ЧАСТИЦ ЗАПОЛНИТЕЛЯ БЕТОНОВ НА КОМПЬЮТЕРНЫХ МОДЕЛЯХ

Белов В.В., Образцов И.В.

ГГТУ, г. Тверь, Россия

Одним из эффективных способов подбора оптимального фракционного состава заполнителя для бетона является приближение расчётной гранулометрической кривой проектируемой смеси к эталону, выраженному функцией «идеальной» кривой [1, 2]. Существует ряд уравнений «идеальных» кривых, наиболее распространенными из которых являются:

- уравнение Фуллера (1907 г.):

$$Y = 100 \sqrt{\frac{D}{D_{\text{верхн}}}}, \quad (1)$$

где Y – полный проход частиц, % через сито с размером ячейки D , мм; $D_{\text{верхн}}$ – наибольшая крупность зерна в системе, или размер отверстия верхнего сита, через которое проходят все зерна системы, мм;

- уравнение Болломея (20-е годы XX века):

$$Y = A + (100 - A) \sqrt{\frac{D}{D_{\text{верхн}}}}, \quad (2)$$

где A – коэффициент, вводимый в уравнение для получения щебенистых и малопластичных смесей ($A = 10$) или для пластичных смесей с гравием ($A = 12$), или для пластичных смесей со щебнем ($A = 14$); остальные обозначения те же, что и в первой формуле;

- уравнение Тэлбот-Ричарда или уравнение Гуммеля (20-е годы XX века):

$$Y = 100 \left(\frac{D}{D_{\text{верхн}}} \right)^m, \quad (3)$$

где m – экспериментально найденный показатель степени, изменяющийся в пределах от 0,46 до 0,52 (по Гуммелю – показатель степени m может колебаться от 0,1 до 1). При $m = 0,5$ получается уравнение Фуллера;

- уравнение Функа-Дингера (1994 г.), модифицированное В.В. Беловым:

$$Y = 100 \cdot \left(\alpha + (1 - \alpha) \frac{D^n - D_{\text{нижн}}^n}{D_{\text{верхн}}^n - D_{\text{нижн}}^n} \right), \quad (4)$$

где α – коэффициент, учитывающий форму зерен; причем α может изменяться по данным многих исследователей от 0 до 0,14; n – коэффициент распределения (0,5 и 0,37).

Формулы «идеальных» гранулометрических кривых описывают абстрактное распределение геометрических тел правильной сферической формы в

трехмерном пространстве по размерам. При этом не учитывается способ размещения сфер относительно друг друга и их возможное вмещаемое количество в ограниченном объеме. Следовательно, возникает математическая задача о реализации плотной упаковки полидисперсных сфер [3, 4] в элементарной ячейке известного объема, решив которую можно судить о степени пустотности или же о степени заполненности объема сферами. Для решения этой задачи в трехмерном кубическом объеме смоделированы упаковки шаров, распределение которых по размерам задано формулами «идеальных» кривых. Для моделирования упаковок использованы программно-вычислительные средства, а именно язык программирования Dark Basic Professional v.1.071. Целью теоретического исследования являлось смоделировать в трехмерном кубическом объеме массив сфер, распределение которых по размерам задано определенной формулой «идеальной» кривой, и сравнить фактические значения плотности упаковки всех моделей.

Поскольку построение компьютерных моделей основано на геометрических вычислениях, в основу расчетов брались объемные характеристики системы, а в качестве единицы масштаба рассматривались условные миллиметры. Для построения модели достаточно знать линейный размер элементарной ячейки S , суммарное количество сфер $N_{\text{всего}}$ в системе, а также средние диаметры условных фракций системы $D_{\text{фр } i}$. Расчет моделей производился для пяти условных фракций со средними диаметрами: 25; 12,5; 6,25; 3,125; 1,5625 мм. Для определения количественного состава каждой модели требовалось решить систему уравнений с пятью неизвестными $N_{\text{фр } i}$:

$$\begin{cases} f_{\text{фр } i} = \frac{V_{\text{фр } i}}{\sum_{i=1}^{n=5} V_{\text{фр } i}} \cdot 100, \\ V_{\text{фр } i} = N_{\text{фр } i} \cdot \frac{\pi}{6} D_{\text{фр } i}^3, \\ N_{\text{всего}} = \sum_{i=1}^{n=5} N_{\text{фр } i}. \end{cases} \quad (5)$$

где $f_{\text{фр } i}$ – объемная доля i -й условной фракции в системе, %, равная величине частного остатка на условном сите, согласно уравнению «идеальной» кривой; $V_{\text{фр } i}$ – суммарный объем i -й условной фракции, мм³; $D_{\text{фр } i}$ – диаметр сфер i -й условной фракции, мм; $N_{\text{фр } i}$ – неизвестное число сфер i -й условной фракции, шт; $N_{\text{всего}}$ – заданное общее количество сфер модели, шт.

Данная система уравнений была решена методом последовательных подстановок с помощью пакета Microsoft Excel. В качестве исходных параметров модели были заданы: линейный размер элементарной ячейки $S = 50$ мм и суммарное количество сфер $N_{\text{всего}} = 3500$ шт. Помимо перечисленных параметров

рассчитывалась суммарная удельная поверхность системы $S_{y\partial}$ – как межфазная поверхность, приходящаяся на единицу объема дисперсной фазы:

$$S_{y\partial} = \frac{\sum S_{\partial \phi}}{\sum V_{\partial \phi}}, \quad \frac{\text{мм}^2}{\text{мм}^3} = \text{мм}^{-1}, \quad (6)$$

где $\sum S_{\partial \phi}$ – суммарная площадь поверхности дисперсной фазы, мм^2 ; $\sum V_{\partial \phi}$ – суммарный объем дисперсной фазы, мм^3 .

Суммарная площадь поверхности дисперсной фазы для системы сферических частиц рассчитывалась как сумма площадей поверхности каждой частицы:

$$\sum S_{\partial \phi} = \pi \sum_{i=1}^{n=5} D_{\text{фр } i}^2, \quad (7)$$

Соответственно, суммарный объем дисперсной фазы:

$$\sum V_{\partial \phi} = \pi/6 \sum_{i=1}^{n=5} D_{\text{фр } i}^3, \quad (8)$$

С учетом (7) и (8),

$$S_{y\partial} = 6 \frac{\sum_{i=1}^{n=5} D_{\text{фр } i}^2}{\sum_{i=1}^{n=5} D_{\text{фр } i}^3}, \quad \text{мм}^{-1}, \quad (9)$$

Построение геометрической модели происходило по специальному алгоритму.

Алгоритм позволяет в случайном порядке сформировать геометрическую структуру из сфер уменьшающегося диаметра. Случайный характер заполнения элементарной ячейки сферами приближает модельную структуру к реальной по степени хаотичности, а переход размеров частиц от большего к меньшему позволяет получить непрерывный зерновой состав. Непосредственная задача алгоритма формулировалась следующим образом: «последовательно разместить в ограниченном кубическом объеме n -ое количество сферических частиц, при условии, что каждая новая частица будет занимать свободную позицию, не пересекая поверхности ранее созданных частиц». Хаотичное распределение частиц получается случайной генерацией начальной позиции каждой частицы. В процессе добавления новых частиц в систему их координаты пересчитываются при обнаружении пересечения поверхностей частиц. Особенность алгоритма заключается в последовательном расчёте пересечений поверхностей для каждой отдельной частицы в цикле, что повышает производительность работы программы.

Расчётные параметры различных моделей «идеальных» упаковок, полученные с помощью компьютерного анализа, приведены в таблице.

Уравнение «идеальной» кривой	Количество сфер, шт.						$V_{\text{пустот}}$ мм ³	$V_{\text{частиц}}$ мм ³	Пустот- ность, %	Плотн. упак., %	$S_{\text{уд}}$, мм ⁻¹
	$N_{\text{фр.1}}$	$N_{\text{фр.2}}$	$N_{\text{фр.3}}$	$N_{\text{фр.4}}$	$N_{\text{фр.5}}$	$N_{\text{всего}}$					
Фуллер	4	16	103	508	2869	3500	48914	76086	39,13	60,87	0,87
Функ ($\alpha = 0; n = 0,5$)	3	16	106	507	2868	3500	56714	68286	45,37	54,63	0,94
Функ ($\alpha = 0,14; n = 0,5$)	4	16	104	507	2869	3500	48786	76214	39,03	60,97	0,87
Функ ($\alpha = 0; n = 0,37$)	2	12	91	472	2923	3500	71353	53647	57,08	42,92	1,08
Функ ($\alpha = 0,14; n = 0,37$)	3	12	89	472	2924	3500	63425	61575	50,74	49,26	0,97
Гуммель ($m = 0,2$)	6	9	68	429	2988	3500	45193	79807	36,15	63,85	0,76
Гуммель ($m = 0,6$)	5	19	117	535	2824	3500	35518	89482	28,41	71,59	0,80
Боломей ($A = 10$)	5	16	102	507	2870	3500	40859	84141	32,69	67,31	0,81
Боломей ($A = 12$)	6	16	102	507	2869	3500	32678	92322	26,14	73,86	0,76
Боломей ($A = 14$)	6	16	102	507	2869	3500	32678	92322	26,14	73,86	0,76

«Идеальный» наполнитель характеризуется наименьшей межзерновой пустотностью при минимальной поверхности частиц. Минимальная поверхность частиц системы достигается путем увеличения доли крупных частиц, а минимизация пустотности возможна при достижении максимально плотной упаковки их в объеме элементарной ячейки. В практическом значении данное условие уменьшает вероятность перерасхода вяжущего для обволакивания зерен, смесь утрачивает способность к расслоению, а прочностные характеристики композиции повышаются. По расчётным данным наибольшей плотностью упаковки и наименьшей удельной поверхностью характеризуется модель, построенная по уравнению Боломея с эмпирическим параметром A свыше 12.

Таким образом, в результате проведенного теоретического исследования построены компьютерные модели оптимального распределения сферических частиц по размерам на основании «идеальных» гранулометрических кривых и выявлена наиболее плотная система. Однако остается открытым вопрос о применимости моделей «идеальных» зерновых составов к реальным сыпучим системам, используемым в качестве минерального скелета в производстве строительных композиционных материалов.

Библиографический список

1. Белов, В.В. Метод определения оптимального зернового наполнителя тяжелого бетона / В.В. Белов, М.А. Смирнов, И.В. Образцов // Вестник Тверского государственного технического университета: научный журнал. Тверь: ТГТУ, 2012. – Вып. 20. – С. 72-76.

2. Белов, В.В. Компьютерный расчёт оптимальных зерновых составов строительных композитов / В.В. Белов, И.В. Образцов // Вестник Отделения строительных наук: выпуск 16: в 2-х т. / РААСН, ФГБОУ ВПО МГСУ, под ред. Ю.М. Баженова. Москва: МГСУ, 2012. – Том 1. – С. 22-28.

3. Аникеенко, А.В. Структурные особенности плотных упаковок твердых сфер. Критические плотности / А.В. Аникеенко, Н.Н. Медведев // Журнал структурной химии. 2007. – Том 48. – № 4. – С. 798-805.

4. Королев, Л.В. Анализ упаковки полидисперсных частиц в композитных строительных материалах / Л.В. Королев, А.П. Лупанов, Ю.М. Придатко // Современные проблемы науки и образования. 2007. – № 6. – С. 105-108.

СОВРЕМЕННЫЕ СПОСОБЫ И ОБОРУДОВАНИЕ ПРИ УСТРОЙСТВЕ ФУНДАМЕНТОВ

Биринова А.А., Козырева Л.В., Черных В.К.
СГТУ, г. Саратов, Россия

Современные транспортные сооружения испытывают колоссальные нагрузки от транспортных потоков. Для того чтобы сооружение было надежным и нормально эксплуатировалось, необходимо в первую очередь запроектировать мощный фундамент. В последнее время распространение получили буровые сваи, т. к. эффективность применения свайных опор определяется их высокой экономичностью, технологичностью и высокими темпами строительства.

Свайные опоры обладают неоспоримыми преимущественными перед опорами с ростверками: они просты по конструкции, включая всего 2 элемента (свая и насадка), имеют большую несущую способность, не требуют при возведении выполнения «котлованных» работ, т.е. устройства шпунтового ограждения, разработки грунта, сооружения ростверка. Недостатком безростверковых опор, возводимых на акватории, является необходимость принятия специальных конструктивных мер по усилению и защите конструкции опоры на воздействие ледохода.

Для устройства такого вида фундаментов необходимо современное оборудование типа буровой установки SWDM Sunward:

- максимальный диаметр бурения 2500 мм;
- максимальная глубина бурения 75 м.

Самоходные гидравлические буровые установки серии SWDM – это современное буровое оборудование большого диаметра. Оборудованные длинным и коротким бурами, расширителем грейферного типа, колонковым буром, гидравлическим молотом, ковшом для фундаментов, другими поворотными буровыми приспособлениями, установки способны бурить в глине, песке, щебне, каменных породах средней твердости.

Самоходные буровые установки Sunward применяются:

- при возведении фундаментов высотных зданий;
- в строительстве дорог, мостов, причалов и др. сооружений;

- при устройстве буронабивных и буроинъекционных свай;
- для погружения бурозавинчиваемых и винтовых свай;
- при устройстве фундаментов методом «стена в грунте».

Таким образом, устройство буровых свайных фундаментов и применение современного оборудования (на примере вышеописанного) обеспечит надежность и устойчивость возводимого фундамента и сооружения в целом.

Тем не менее, тема с буровыми сваями ещё остается открытой, так как они не всегда могут применяться по конструктивным соображениям, необходимо совершенствовать их конструкцию и дальше.

ИССЛЕДОВАНИЕ ФОРМООБРАЗОВАНИЯ ПАНЕЛИ В ПК ЛИРА

Бойчук С.В.

ИТТУ СГТУ, г. Балаково, Россия

Для изучения процесса формообразования новой панели было использовано компьютерное моделирование с использованием программного комплекса ЛИРА. Для конструкции ребристой панели принята расчётная схема в виде пластины и закреплённой к ней полосам, условно разбитой на конечное число элементов. С помощью программного пакета были разработаны математическая модель металлической панели с реальными геометрическими размерами с учетом формирования продольных полых ребер (рис. 1).

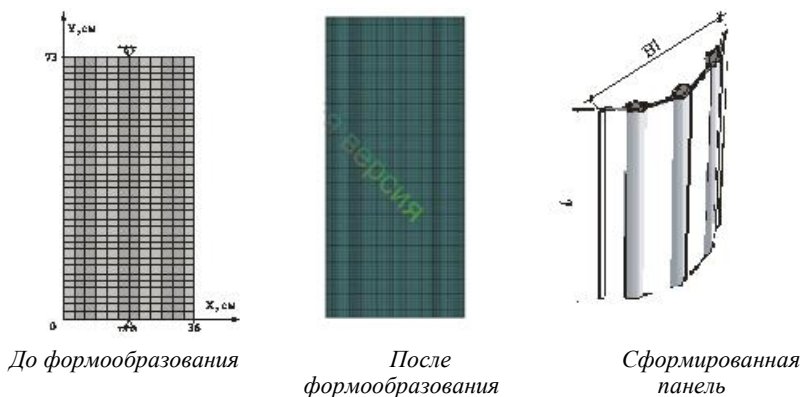


Рис. 1

Закрепление полученной расчётной схемы производится по трем направлениям OX , OY , OZ по центральной оси, что моделирует установку модели панели в свободном ее положении на плоскости. Нагрузка прикладывалась к полосам, в которых формировались продольные ребра. Были получены данные, позволяющие проанализировать процесс создание формы ребристой цилиндрической панели.

Анализ полученных результатов в ПК ЛИРА и экспериментальных данных показал, что использование компьютерного моделирования и конечно-элементного анализа позволяет оценить процесс формообразования тонкостенной металлической ребристой панели.

Применение компьютерного моделирования дает возможность наблюдать за изменением формы панели в процессе поэтапного ее загрузки сжатым воздухом. Позволяет приблизить работу новой ребристой панели к реальным условиям с учетом материала конструкции и условий ее работы.

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ И ПРИМЕНЕНИЕ КЛИНКЕРНОГО КИРПИЧА

Борисенко О.Г., Лапунова К.А., Терехина Ю.В.
РГСУ, г. Ростов-на-Дону, Россия

Клинкером, или клинкерным кирпичом, называют кирпич, обожженный до полного спекания черепка без остеклования поверхности и признаков деформации. В Древней Руси такой кирпич называли «звончаком», поскольку при ударе он издавал звонкий металлический звук.

Это экологически чистый материал, в его состав входит только глина, природные добавочные материалы и вода, свои свойства он приобретает благодаря термообработке. Температура обжига 1200°C придаёт клинкерному кирпичу повышенные характеристики по прочности и низкий уровень водопоглощения благодаря очень плотной внутренней структуре. Клинкерный кирпич обладает прекрасными эксплуатационными характеристиками: он водостоек, морозоустойчив и обеспечивает хорошую звуко- и теплоизоляцию. Клинкерный кирпич обладает высокой устойчивостью к атмосферным воздействиям и механическим повреждениям. Он прочен, устойчив к истиранию, долговечен, не боится воздействия внешней агрессивной среды. Фасады из кирпича не впитывают влагу, антистатичны, соответственно, не подвергаются загрязнению.

В зависимости от области применения различают дорожный клинкер, строительный, облицовочный и клинкер для гидротехнических сооружений. Наиболее важная составляющая сырья при производстве клинкерного кирпича – это оксид алюминия (Al_2O_3), содержащийся в глине. Он повышает вязкость расплава, а достаточное его содержание позволяет уменьшить деформацию изделий в процессе обжига. Глины не должны содержать оксида железа (Fe_2O_3) более 6...8%, оксида кальция должно быть не более 7...8%, оксида магния – 3...4%. Повышенное содержание CaO в глине обуславливает уменьшение интервала спекания. Недопустимо наличие крупных включений карбонатов, поскольку образующиеся при обжиге свободные оксиды кальция могут вызвать

изменение объема, растрескивание и даже разрушение изделий при взаимодействии с атмосферной влагой. Вредными примесями в глинах являются некоторые железистые соединения, такие, как пирит и сидерит, встречающиеся в виде крупных включений. По гранулометрическому составу более пригодны тонкодисперсные глины, так как в наиболее тонких фракциях содержится наибольшее количество плавней.

Клинкерный кирпич является уникальным строительным материалом, так как объединяет в себе множество необходимых для строительства характеристик. Клинкерный кирпич давно зарекомендовал себя в Европе и становится все популярнее в России. Применяется как при реконструкции старых зданий, так и при строительстве новых объектов в районах со сложившейся исторической застройкой. Он незаменим в ландшафтном дизайне.

ИССЛЕДОВАНИЕ ПОЛЗУЧЕСТИ СПЛАВА АМГ6 ПРИ СЛОЖНОМ НАПРЯЖЕННОМ СОСТОЯНИИ

Гараников В.В.

ТГТУ, г. Тверь, Россия

Данная статья посвящена изучению микроползучести конструкционных материалов при сложном напряженном состоянии. Для этого было разработано устройство для создания внутреннего давления и растягивающего усилия в трубчатом образце. Устройство позволяет создать в трубчатом образце внутреннее давление до 300 атм и приложить растягивающее усилие до 100 кН. Основной частью конструкции является компенсатор с системой подачи давления, который необходим для исключения влияния осевой составляющей нагрузки от давления и для обеспечения герметичности системы. Герметичность обеспечивается маслостойкими уплотнительными кольцами.

Схема работы состоит в следующем. В образец 1 вставляется компенсатор 2 с присоединенной системой подачи масла. На образец накручиваются резьбовые втулки 3, и он при помощи пальцев 4 устанавливается в вилки 5. Вилки крепятся в захватах испытательной машины. Растягивающее усилие в устройстве создается испытательной машиной FPZ-100/1 и передается через пальцы (4). Внутреннее давление создается насосом высокого давления испытательной машины ЦДМУ-30, которая расположена рядом. Нагружение трубчатого образца осевой растягивающей силой и внутренним давлением осуществляется как в ручном, так и в автоматическом режиме.

Достоинством системы является независимость регулирования внутреннего давления и осевого усилия. Данное устройство помещается в термостате, который установлен в рабочей зоне машины FPZ-100/1. Разработана система стабилизации давления в трубчатом образце. Она предназначена для автома-

тического поддержания давления масла в образце при проведении механических испытаний на растяжение и внутреннее давление. Позволяет создавать и поддерживать давление в образце от 0 до 300 атм.

Для создания давления использована гидравлическая система испытательной машины ЦДМУ-30. Эта система) содержит масляный насос, емкость для масла и стабилизатор давления. Насос работает с постоянной производительностью. Подаваемое им масло через стабилизатор давления, который представляет собой подпружиненный клапан, возвращается в емкость. Давление масла в гидравлической системе зависит от силы, с которой давит на клапан пружина в стабилизаторе. Изменять давление можно поджимая или ослабляя пружину поджимным винтом. В машине ЦДМУ-30 давление устанавливается вращая поджимной винт ручным маховиком. В этой системе установленное давление может со временем «уходить» от заданного значения из-за разогрева масла и некоторых других причин.

Исследование ползучести сплава АМгб проводились на образцах с толщиной стенки 2,5 мм. Размеры образцов и требования к точности изготовления регламентировались по ГОСТ 3248-81; 26007-83; 1493-73. При подготовке образцов к испытанию в трех сечениях рабочей части контролировалась разностенность, которая не превысила 5%. Для измерения деформаций использованы тензорезисторы типа 5П1-20-400-А-12 с базой 20 мм. Тензорезисторы наклеивались попарно в двух диаметрально противоположных сторонах в продольном и поперечном направлении. Диаграммы σ - ϵ снимались на испытательной машине FPZ-100/1 в устройстве для создания внутреннего давления и растягивающего усилия. Температура испытания составляла +50 °С.

Проведены две серии опытов: 1 – испытание на растяжение, 2 – испытание на внутреннее давление. Результаты испытаний показали, что данный сплав обладает существенной начальной анизотропией механических свойств. Основные механические характеристики при испытаниях на растяжение и внутреннее давление соответственно получились: модуль упругости (E) – $6,944 \cdot 10^4$ МПа, $7,495 \cdot 10^4$ МПа; предел текучести (σ_{02}) – 192 МПа, 168 МПа. Разница по пределу текучести составляет 13%.

Испытания на ползучесть программировались по напряжениям и проводены при повышенной температуре (+50 °С). Осуществлены следующие три программы простого нагружения при различных $k = \sigma_1/\sigma_2 = 0; 1; \infty$ (σ_1, σ_2 – нормальные напряжения в направлении осей x, y). Во всех опытах соблюдалось условие $\sigma_1 = 0, \sigma_2 = \text{const}$, где σ_i – интенсивность напряжений. Предел текучести (σ_{02}) в виду анизотропии свойств сплава АМгб принимался средним по испытаниям на растяжение и внутреннее давление.

По каждой программе испытывались по три образца. Получены следующие экспериментальные результаты. Наибольшая деформация ползучести при $\sigma_1 = 0, \sigma_2$ наблюдается при испытаниях на внутреннее давление, наименьшая – при испытаниях на одноосное растяжение. Промежуточное значение деформаций ползучести наблюдалось при испытаниях на совместное действие растягивающей силы и внутреннего давления при условии, что в процессе опыта $k = \sigma_1/\sigma_2 = 1$.

СВОБОДНЫЕ КОЛЕБАНИЯ КРИВОЛИНЕЙНЫХ ВЯЗКОУПРУГИХ СТЕРЖНЕЙ

Гордон В.А., Шмаркова Л.И., Потураева Т.В.
Госуниверситет – УНПК, г. Орел, Россия

Предлагается система анализа динамического поведения криволинейных стержней из вязкоупругого материала. Ее особенностью является практическая независимость от характера изменения внешнего воздействия во времени, т.е. одна и та же методика применима к различным классам динамических задач; свободным и вынужденным колебаниям, ударным воздействиям и т.п. [1-4]. При разработке системы был модифицирован известный метод модальных разложений. Вместо вариационной постановки в перемещениях использовались дифференциальные уравнения не только в перемещениях, но и в напряжениях [5]. Последнее значительно расширяет круг аналитических моделей, которые можно применять в рамках данного метода за счет использования ряда известных решений в напряжениях, усилиях, моментах. Для построения функционального базиса – форм свободных колебаний применен вариант метода фазовых интегралов, что позволило найти аналитические зависимости для решения динамической задачи для вязкоупругого тела [6-7].

При решении отдельных задач выявлены закономерности динамического поведения криволинейного вязкоупругого стержня, очерченного по логарифмической спирали. Для свободных колебаний получены резонансные частоты и коэффициенты затухания, установлены опасные сечения, получена зависимость несущей способности стержня от характера возмущения. При анализе вынужденных движений исследовано влияние различных факторов внешней нагрузки на один из откликов стержня – наибольшее напряжение. Построенные собственные амплитудно-частотные характеристики показывают, что для заданных параметров ядра релаксации наибольшая резонансная амплитуда соответствует первой резонансной частоте. При исследовании ударных воздействий выявлены виды и продолжительность наиболее опасных импульсов. Результаты исследований позволяют дать рекомендации по конструированию и использованию подобных стержней.

В целом разработанный метод анализа динамического поведения вязкоупругих криволинейных стержней оказался эффективным. Применение построенных аналитических решений существенно снижает объем вычислительных работ.

Библиографический список

1. Гордон, В.А. Расчёт динамических усилий в конструктивно – нелинейных элементах стержневых систем при внезапных структурных изменениях / В.А. Гордон, Н.В. Клюева, А.С. Бухтиярова, Т.В. Потураева // Строительная механика и расчёт сооружений. – М: ФГУ НИЦ «Строительство», 2008. – № 6. – С. 23-26.

2. Гордон, В.А. Оценка динамического эффекта при внезапной структурной перестройке конструкции / В.А. Гордон, Т.В. Потураева // Известия ОрелГТУ. Серия Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии. – Орел: ОрелГТУ, 2008. – № 1/269(544). – С. 3-8.

3. Потураева, Т.В. Переходный динамический процесс в стержневой конструкции при внезапном изменении условий опирания / Т.В. Потураева // Известия ОрелГТУ. Серия Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии. – Орел: ОрелГТУ, 2008. – № 4/272. – С. 27-31.

4. Потураева, Т.В. Динамическое догружение свободно опёртой нагруженной балки, инициированное образованием трещины / Т.В. Потураева, В.А. Гордон // Известия ОрелГТУ. Серия. Строительство. Транспорт. «Строительство и реконструкция». – Орел, 2009. – № 4/24(572). – С. 28-33.

5. Шмаркова, Л.И. Плоские колебания криволинейных стержней / Л.И. Шмаркова // Изв. Тульского гос. Ун-та. – 1995. – Т. 1. – С. 163-168.

6. Гордон, В.А. Реакция криволинейного вязкоупругого стержня на силовое и кинематическое возбуждение / В.А. Гордон, Л.И. Шмаркова // Изв. Вузов. Машиностроение. – 1997. – С. 33-39.

7. Gordon, V.A. Modal Analysis of Dynamics of Viscoelastic Elements of Machines / V.A. Gordon, L.I. Shmarkova // Proc. Intern. Conf. on Applied Mechanics, SACAM. – Durban, South Africa, 2000. – P. 318-323.

ОБОБЩЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ ЧИСЛЕННЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ СОВМЕСТНЫХ КОЛЕБАНИЙ БАЛОЧНЫХ СИСТЕМ И ДВИЖУЩИХСЯ ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ С ЖИДКИМИ ГРУЗАМИ ПРИ ТОРМОЖЕНИИ

Гриднев С.Ю., Будковой А.Н.
ВГСАУ, г. Воронеж, Россия

В условиях значительного увеличения интенсивности движения на автомобильных дорогах страны, появления в составе обращающихся автомобилей транспортных средств повышенной грузоподъемности необходимо исследование особенностей их динамического воздействия при переходных режимах движения. Отметим также, что увеличение грузоподъемности и скоростей движения транспортных средств, приводит к возникновению новых качественных и количественных особенностей и эффектов динамического воздействия, которые ранее не проявлялись или были незначительными. Вместе с тем из-за участившихся аварий на дорогах и установления нового скоростного режима такие явления, как экстренное торможение становятся весьма распространенными и требуют глубокого изучения.

До настоящего времени мало внимания уделялось исследованиям колебаний упругих систем при неравномерном движении инертных грузов. Наряду с этим в составе обращающихся автомобилей растет и процент специализированных видов подвижной нагрузки, особенности динамического воздействия которых еще только начинают изучаться. Среди таких подвижных нагрузок

следует выделить транспортные средства с жидкими грузами – автоцистерны. Отличительной особенностью их динамики при неравномерном движении является значительные колебания жидкости внутри полости цистерны при эксплуатационном недоливе, что создает дополнительное воздействие на путь. Этому вопросу посвящена, например, работа [1].

Для моделирования динамического воздействия на пролетное строение одиночной подвижной нагрузки в виде механической системы с полостью, содержащей жидкость, а также с твердым грузом, была разработана обобщенная модель на базе пакета Simulink вычислительного комплекса MatLab, включающая укрупненные динамические блоки «жидкость», «автомобиль» и «мост».

Созданная методика позволяет учитывать гидравлический удар, деление полости на независимые отсеки и демпфирующие свойства жидкости через декремент свободных колебаний. Динамическое воздействие оценивалось динамическим коэффициентом прогибам среднего сечения однопролетной шарнирно опертой балки. Длина пролета – 42,5 м. Подвижная нагрузка представлена автоцистерной 66052 на базе КамАЗ. Экстренное торможение моделировалось равнозамедленным движением с ускорением в диапазоне $1 \dots 6 \text{ м/с}^2$. При этом учитывались периоды нарастания тормозного усилия, связанные с эффективностью срабатывания тормозной системы и принимаемые при расчетах тормозного пути. Общая длина пролетного строения разбивалась на участки длиной равной $1/3$ пролета, и рассматривалась возможность торможения в пределах каждого из этих участков во всем диапазоне рассматриваемых ускорений.

Результаты численных исследований совместных колебаний без учета подвижности жидкости представлены в работе [2]. Максимальный динамический коэффициент по прогибам при торможении составил 1,26.

В случае учета подвижности жидкости рассматривалась автоцистерна без отсеков, с двумя и тремя отсеками. Результаты вычислительного эксперимента показали, что подвижность жидкости при экстренном торможении и максимальной рассмотренной величине ускорения увеличивает динамические прогибы в 1,29-2,54 раза в сравнении с твердыми грузами аналогичной массы. Соответствующие динамические коэффициенты по отношению к статическим значениям находятся в диапазоне 1,65...3,25.

Сопоставление результатов вычислительных экспериментов и натурных измерений, выполненное в [3], также показывают значительное увеличение динамического воздействия движущейся системы с жидкостью при наличии эксплуатационного недолива.

Полученные в результате выполненных исследований по воздействию автоцистерн на путь свидетельствуют о необходимости выделения их в особый класс подвижных нагрузок. Действующая в настоящий момент в нормативных документах система динамических коэффициентов никак не учитывает особенности воздействия таких транспортных средств на пролетные строения и поэтому требует дополнения после системного изучения. Особый интерес в

этом случае представляет изучение аварийного воздействия, связанного с лобовым столкновением транспортных средств, в том числе и с жидкими грунтами, или их ударом о ограждение проезжей части, что определяет направление дальнейших исследований.

Библиографический список

1. Гриднев, С.Ю. Динамическое воздействие автоцистерн с отсеками на путь при учете гидроуда / С.Ю. Гриднев, А.Н. Будковой // Строительная механика и конструкции. – 2012. – Вып. № 1 (4). – С. 115-121.
2. Гриднев, С.Ю. Колебания балочных систем при переходных режимах движения одиночного автомобиля / С.Ю. Гриднев, А.Н. Будковой // Строительная механика и конструкции. – 2013. – Вып. № 1 (6). – С. 84-91.
3. Гриднев, С.Ю. Сопоставление результатов расчёта колебаний балочной системы при переходных режимах движения автоцистерн с экспериментальными данными / С.Ю. Гриднев, А.Н. Будковой // Строительная механика и конструкции. Научно-технический журнал. – Воронеж, 2014. – Вып. № 1 (8). – С. 52-58.

НЕСУЩАЯ СПОСОБНОСТЬ И ПЕРЕМЕЩЕНИЯ ФУНДАМЕНТОВ С ПРОМЕЖУТОЧНОЙ БЕТОННОЙ ПОДГОТОВКОЙ

Девицкий А.А., Куницын И.С., Худяков А.В.
ТГТУ, г. Тамбов, Россия

Одним из возможных путей снижения стоимости фундаментов является совершенствование методов расчёта конструкций фундаментов. Приводятся результаты экспериментальных исследований по изучению перемещений и несущей способности моделей круглых фундаментов с промежуточной подготовкой на песчаном основании. Показано, что устройство под фундаментами промежуточной подготовки, увеличивает несущую способность основания.

Количество арматуры в железобетонных фундаментах определяется по изгибающим моментам, возникающим от отпора грунта в характерных сечениях. Эти моменты пропорциональны контактному давлению на консольных участках фундаментной плиты. Количество арматуры может быть сокращено за счёт уменьшения моментов. Сорочан Е.А. предложил применить фундаменты с промежуточной бетонной подготовкой под их центральной частью, что позволило уменьшить давление под консольной частью плиты и увеличить его под средней.

Экспериментальных исследований по этому вопросу проводилось мало, с этой целью в лаборатории механики грунтов ТГТУ с моделями круглых фундаментов была проведена серия экспериментов. Исследования проводились в

пространственном лотке, размером $200 \times 170 \times 130$ (h) см основанием моделей фундаментов служил послойно уплотнённый мелкозернистый песок с оптимальной влажностью 10%. Ступенчатую вертикальную осевую нагрузку на штамп передавали рычагом с 10-кратным увеличением. Каждая ступень нагружения составляла приблизительно 0,1 от предварительно определённой разрушающей нагрузки. Вертикальные и горизонтальные перемещения измерялись индикаторами ИЧ-10. За условную стабилизацию перемещений принимали величину 0,1 мм/ч.

В качестве моделей использовались 2 круглых штампа $d = 200$ мм. У одного из них (Ш2) под центральной частью имеется дополнительная ступень $d = 100$ мм. При проведении эксперимента оба штампа устанавливались на выровненную поверхность. При осадке Ш2 до 5 мм он работал как круглый фундамент с $d = 100$ мм. При осадке больше 5 мм – как с $d = 200$ мм.

Проведённые эксперименты показали, что несущая способность основания штампа Ш2 приблизительно на 15% выше штампа Ш1 при небольшой разнице в осадках, изгибающие моменты от отпора грунта по грани выступа меньше на 20%.

ЗАВИСИМОСТЬ ПРОЧНОСТНЫХ СВОЙСТВ СТАЛЕФИБРОБЕТОНОВ ОТ КОМПЛЕКСНОГО ВЛИЯНИЯ РАСШИРЯЮЩЕЙ ДОБАВКИ И СТАЛЬНОЙ ФИБРЫ

Елсуфьева М.С.

МГСУ, г. Москва, Россия

Исследования зависимости прочностных свойств сталефибробетонов от комплексного влияния расширяющей добавки и стальной фибры проводились на образцах, изготовленных с Ц:П = 1:2 при В/Ц = 0,4, С-3 = 0,8%. В качестве расширяющей добавки использовалась добавка РСАМ алюминатно-сульфатного типа в количестве 5, 10, 15% от массы цемента, в качестве фибры – стальная волновая высокоуглеродистая проволока длиной 15 мм, диаметром 0,3 мм с коэффициентом армирования по объёму (μ_v) = 0,3; 1,1; 1,9%.

Анализируя полученные результаты, представленные ниже в таблице 1, можно сделать вывод, что с увеличением коэффициента армирования в пределах одной дозировки добавки прочностные показатели сталефибробетона возрастают за счет обжатия структуры бетонной матрицы стальными волокнами, ограничивающими силу расширения, что вызывает сжимающие напряжения и способствует уплотнению бетона.

Таблица 1 – Прочностные показатели сталефибробетона с расширяющими добавками в возрасте 28 суток

μ_v	Прочность при сжатии, Мпа				Прочность на растяжение при изгибе, Мпа			
	Содержание расширяющей добавки, %							
	0	5	10	15	0	5	10	15
0	38,0	42,1	42,5	41,2	7,22	8,04	9,53	7,85
0,3	38,8	42,7	43,9	42,3	9,25	9,68	10,44	9,71
1,1	44,2	46,9	48,9	46,9	16,27	16,47	19,63	14,38
1,9	46,8	47,1	55,4	46,6	18,74	19,18	24,13	18,05

Увеличивая содержание расширяющей добавки от 5 до 10%, прочность на сжатие и изгиб так же растет, но при применении добавки от 10 до 15% прочность падает, что, скорее всего, связано с перенапряжением структуры бетона за счет образования гидросульфатомината кальция и недостаточной степени ограничения расширения.

При совместном применении стальной фибры и расширяющей добавки видно, что оптимальная дозировка расширяющего компонента – 10%.

Таким образом, комплексное применение стальной фибры и оптимального количества расширяющей добавки способствует увеличению прочности в сравнении с раздельным применением этих компонентов и указывает на формирование особой структуры получаемого материала – предположительно объемно-преднапряженного сталефибробетона, в котором отдельные фибры находятся в преднапряженном состоянии, вызванном расширением цементно-песчаной матрицы.

ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СТАЛЕФИБРОБЕТОНОВ

Елсуфьева М.С.

МГСУ, г. Москва, Россия

Одним из главных направлений в строительной отрасли, наряду с повышением эксплуатационных характеристик, является снижение материалоемкости, энергоемкости и трудоемкости при производстве изделий и конструкций.

К традиционным строительным материалам, в том числе и к бетону, предъявляются требования по повышению долговечности и надежности.

Как показывает практика одним из перспективных направлений в усовершенствовании бетонных и железобетонных изделий является развитие дисперсно-армированных бетонов. Такие бетоны по сравнению с традиционным бетоном и железобетоном обладают повышенной трещиностойкостью и прочностью к ударным воздействиям, возможностью частичного или полного исключения стержневого армирования и, как следствие, уменьшение расхода материала, снижение толщины и массы изделий и конструкций при обеспечении

заданных прочностных характеристик, сокращение времени производства работ и пр.

Сталефибробетон – это композиционный материал, в котором в качестве непрерывной дисперсной среды- матрицы выступает бетон, включая и частицы заполнителя, а в качестве дисперсной составляющей – стальные волокна.

Применяемые стальные волокна имеют диаметр 0,2...1,2 мм и длину превышающую диаметр в 50...400 раз, а модуль упругости волокон в 6 раз превышает модуль упругости бетона.

Стальные волокна, как материал для промышленного армирования, появились на мировом рынке в 1973 г. Появление фибры как самостоятельного технологического продукта для армирования предопределили развитие исследований в данной области, благодаря которым подтвердились уникальные эксплуатационные свойства сталефибробетона, и послужило дальнейшему применению его в строительстве.

Равномерное распределение фибры по объему бетона и различная ориентация фибры в плоскости сечения бетона способствует перераспределению напряжений, возникающих в теле бетона, и препятствует развитию и образованию трещин, предопределяя тем самым высокую трещиностойкость.

Кроме того, большая поверхность контакта стальной фибры с бетоном способствует увеличению работы разрушения и ударостойкости сталефибробетона.

На основании вышесказанного можно с уверенностью сказать, что имеющиеся научные и практические знания зарекомендовали сталефибробетон с положительной стороны и продолжение исследований в данной области послужат к привлечению большего интереса к данному материалу и постепенной замены традиционных материалов сталефибробетоном.

ЭКОЛОГИЧЕСКИ ЧИСТЫЕ КРОВЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ

Ерёменко Г.Н., Черевкова Я.В.
РГСУ, г. Ростов-на-Дону, Россия

Немаловажным фактором при строительстве дома является использование экологически чистых материалов. Экологически чистым называется материал, который не выделяет токсичных, вредных, раздражающих и радиоактивных веществ. Такой материал производится с соблюдением всех санитарных норм и стандартов, может подвергаться переработке и последующему использованию без угрозы здоровью и жизни человека. На сегодняшний день существует множество видов кровельных материалов с разными качественными и дизайнерскими характеристиками.

Одним из наиболее известных и древнейших натуральных, экологически чистых кровельных материалов является керамическая черепица. Для изготов-

ления черепицы используется глина, которая впоследствии проходит этап обжига. Используется черепица уже ни одно столетие. Самые древние образцы кровельной черепицы были обнаружены в Греции, их возраст более 4000 лет. Керамическая черепица включает в себя несколько подвидов: ангобированная черепица, пазовая керамическая черепица, «бобровый хвост» и др.

Преимуществом керамической черепицы является то, что она обладает хорошей шумоизоляцией, морозоустойчивостью, низкой теплопроводностью. Одной из главных ее характеристик является прочность на изгиб. А также черепица может иметь множество дизайнерских форм и видов кладки.

Довольно популярным современным кровельным материалом является металлочерепица. Выглядит она довольно стильно, в основном имитирует керамическую черепицу. Помимо того, что она экологически безопасна, она также износостойчива, надежна, не плавится, не горит и не деформируется. Преимущества металлочерепицы заключаются в том, что она механически прочна, стойка по отношению к ультрафиолету и атмосферному воздействию, огнестойка, водонепроницаема, долговечна, устойчива к биологическому воздействию.

Гибкая битумная черепица также считается экологически безопасной. Изготавливается она из стеклохолста, который пропитывается модифицированным битумом. Для защиты и декорации на лицевую, верхнюю часть черепицы наносятся специальные каменные гранулы, а ее нижнюю часть покрывают слоем клея. Данный вид черепицы богат разнообразием своих форм. Также стоит отметить и то, что ее можно укладывать в тех случаях, когда невозможна укладка других видов черепицы. Ее монтаж довольно прост, сама по себе она очень легкая и тонкая. Особенностью битумной черепицы является то, что она хороший звуко- и теплоизолятор, не подвержена коррозии, ржавчине, гниению. Она устойчива к химическим кислотам, мхам, грибам, лишайникам, водонепроницаема, диэлектрик, не имеет свойства выгорать.

АВТОЗАПРАВОЧНЫЕ СТАНЦИИ КАК ОБЪЕКТ ДОРОЖНОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ

Задирака А.А., Кокодеева Н.Е.
СГТУ, г. Саратов, Россия

Автозаправочные станции (АЗС) являются стационарным источником загрязнения атмосферы парами бензина, дизельного топлива и их составляющими, а также продуктами сгорания моторного топлива. В настоящее время возросло количество необоснованно построенных АЗС. Как правило, их размещение осуществляется без инженерно-технического сопровождения и без учета экономического сравнения вариантов; в результате ошибок они наносят большой вред окружающей среде. В связи с тем, что АЗС обычно располагают на примыканиях к автомобильным дорогам общего значения, то задачи

охраны окружающей среды следует решать комплексно, оценивая совместное воздействие АЗС и транспорта на прилегающую территорию.

АЗС следует рассматривать как объект дорожной инфраструктуры и, в соответствии с ФЗ № 184-ФЗ «О техническом регулировании» и ФЗ № 257-ФЗ «Об автомобильных дорогах и о дорожной деятельности в Российской Федерации», необходимо устанавливать риск распространения пожара по причине недостаточного расстояния от АЗС до объекта с использованием теоретико-вероятностного подхода, созданного научной школой проф. Столярова В.В., который является руководителем научного направления «Проектирование, строительство и эксплуатация автомобильных дорог по условию обеспечения безопасности движения с учетом теории риска» в СГТУ имени Гагарина Ю.А. Для этого приведенные в статье 71 ФЗ № 123-ФЗ «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности» противопожарные расстояния от АЗС бензина и дизельного топлива до граничащих с ними объектов (автомобильных дорог различных категорий) считаем установленными законодательно.

Экспериментальные исследования были проведены на территории г. Саратова и г. Энгельса. Например, в результате недостаточного фактического противопожарного расстояния (10 м) от АЗС до автомобильной дороги II категории при допустимом противопожарном расстоянии равном 12 м получили риск распространения пожара на дорогу равный от $1,4 \cdot 10^{-2}$ до $2 \cdot 10^{-2}$. Рост вероятности распространения пожара на дорогу обусловлен ростом коэффициента вариации фактического расстояния от АЗС до объекта. Таким образом, получаем, что на данной автозаправочной станции существует от 14 до 20 возможных случаев распространения пожара на дорогу из 1000 потенциально опасных ситуаций при коэффициенте вариации фактического расстояния от 0,1 до 0,15.

УСЛОВИЯ ПРОЧНОСТИ БЕТОНА В30

Зиборов Л.А., Теличко В.Г.

ТулГУ, г. Тула, Россия

Расчёт прочности, трещиностойкости при решении инженерных задач по обеспечению предельного состояния железобетонных конструкций, учет действительной работы бетона в сложном напряженном состоянии позволяет обеспечить высокую надежность и снизить материалоемкость.

Необходимые данные, отражающие физические процессы, происходящие в материале при разрушении, проверку предельного условия прочности бетона можно получить в экспериментах.

Для бетона как для изотропного разнсопротивляющегося тела, предложено пяти параметрическое условие прочности в виде поверхности второго порядка:

$$\sigma_1^2 + \sigma_2^2 + A_{12}\sigma_1\sigma_2 + A_{23}\sigma_2\sigma_3 + A_{31}\sigma_3\sigma_1 + (R_b - R_t)(\sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3) = R_b R_t, \quad (1)$$

где $\sigma_1 > \sigma_2 > \sigma_3$ - главные напряжения;

R_b – предел прочности при сжатии ($\sigma_1 = \sigma_2 = 0, \sigma_3 = -R_b$);

R_t – предел прочности при растяжении ($\sigma_1 = R_t, \sigma_2 = \sigma_3 = 0$);

A_{12}, A_{23}, A_{31} – экспериментально определяемые параметры материала.

Для определения параметров A_{12}, A_{23}, A_{31} и проверки условия (1) выполнен ряд экспериментальных опытов по исследованию прочности бетона В30 на образцах в виде тонких плиток при двухосном сжатии и на тонких трубчатых образцах при двухосном растяжении и при сжатии с растяжением простого нагружения.

При двухосном сжатии ($\sigma_1 = 0$) условие (1) имеет вид:

$$\sigma_2^2 + \sigma_3^2 + A_{23}\sigma_2\sigma_3 + (R_b - R_t)(\sigma_2 + \sigma_3) = R_b R_t, \quad (2)$$

$$A_{12} = \frac{R_b R_t}{R_{2b}^2} + \frac{R_b - R_t}{R_{2b}} - 2,$$

где R_{2b} - предел прочности бетона при двухосном сжатии равной интенсивности $\sigma_2 = \sigma_3 = -R_{2b}$.

Экспериментально для бетона В30 при двухосном сжатии на бетонных образцах в виде тонких плиток получено условие прочности в виде:

$$\sigma_2^2 + \sigma_3^2 - 0,09\sigma_2\sigma_3 + 24,50(\sigma_2^2 + \sigma_3^2) = 64,60. \quad (3)$$

При двухосном растяжении ($\sigma_3 = 0$) условие (1) имеет вид:

$$\sigma_1^2 + \sigma_2^2 + A_{12}\sigma_1\sigma_2 + (R_b - R_t)(\sigma_1 + \sigma_2) = R_b R_t, \quad (4)$$

$$A_{12} = \frac{R_b R_t}{R_{2t}^2} - 2 \frac{R_b - R_t}{R_{2t}} - 2,$$

где R_{2t} - предел прочности бетона при двухосном растяжении равной интенсивности $\sigma_1 = \sigma_2 = R_{2t}, \sigma_3 = 0$.

Экспериментально для бетона В30 при двухосном растяжении на бетонных тонких трубчатых образцах простого нагружения получено условие прочности в виде:

$$\sigma_1^2 + \sigma_2^2 - 7,50\sigma_1\sigma_2 + 24,50(\sigma_1 + \sigma_2) = 64,60. \quad (5)$$

При сжатии с растяжением ($\sigma_2 = 0$) условие (1) имеет вид:

$$\sigma_1^2 + \sigma_3^2 + A_{13}\sigma_1\sigma_3 + (R_b - R_t)(\sigma_1 + \sigma_3) = R_b R_t, \quad (6)$$

$$A_{13} = 2 - \frac{R_b R_t}{T},$$

где T – предел прочности при чистом сдвиге $\sigma_1 = -\sigma_3 = T, \sigma_2 = 0$.

Экспериментально для бетона В30 для сжатия с растяжением на бетонных тонких трубчатых образцах простого нагружения получено условие прочности в виде:

$$\sigma_1^2 + \sigma_3^2 - 10,20\sigma_1\sigma_3 + 24,50(\sigma_1 + \sigma_3) = 64,60, \quad (7)$$

Полученные экспериментально параметры $R_b, R_t, A_{12}, A_{23}, A_{31}$ для бетона В30 условия (3), (5), (7) позволяет общее условие (1) записать в виде (8):

$$\sigma_1^2 + \sigma_2^2 + \sigma_3^2 - 7,50\sigma_1\sigma_2 - 0,09\sigma_2\sigma_3 - 10,20\sigma_1\sigma_3 + 24,50(\sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3) = 64,60 \quad (8)$$

Итак, для бетона В30 экспериментально получено:

2. Прочность бетона при двухосном растяжении ($\sigma_3 = 0$), при растяжении со сжатием ($\sigma_2 = 0$) уменьшается в сравнении с простым растяжением R_t и можно принять:

$$R_{2t} = 0,68R_t ; T = 0,9 \div 0,95R_t .$$

2. Для двухосного сжатия можно принять $R_b \cong R_{2b}$.

3. Условие (1) имеет простой аналитический вид, хорошо согласуется с опытами.

4. Полученные параметры $R_b, R_{2b}, R_t, R_{2t}, T$ позволяют использовать условие (1) для решения инженерных задач.

Количество расчётных параметров в условии прочности (1) ($R_b, R_{2b}, R_t, R_{2t}, T$) можно уменьшить до двух (R_b, R_t) при использовании условия (1) для решения различных инженерных задач.

ЗАПАЗДЫВАНИЕ ВЕКТОРНЫХ СВОЙСТВ НА ГЛАДКИХ ТРАЕКТОРИЯХ УПРУГОЛАСТИЧЕСКОГО ДЕФОРМИРОВАНИЯ МЕТАЛЛОВ

Зубчанинов В.Г., Алексеева Е.Г.

ТГТУ, г. Тверь, Россия

Если траектория гладкая по определению А.А. Ильюшина [1], то на ней отсутствуют точки излома, но вектор деформаций $\bar{Y} = \bar{Y}(s)$, описывающий траекторию в линейном пространстве, имеет только первую непрерывную производную. Например, такая гладкая траектория может быть представлена в виде прямолинейного участка OK , который плавно без излома траектории ($\vartheta_1^0 = 0$) переходит в окружность радиуса R с кривизной $\kappa_1 = 1/R$. В точке K стыковки участков сложной траектории деформирования первая производная непрерывна, но вторая претерпевает разрыв.

По линеаризованной модели В.Г. Зубчанинова [2] теории упругопластических процессов для гладких траекторий угол сближения вектора напряжений $\bar{\sigma}$ с касательной к траектории деформирования имеет вид

$$\vartheta_1 = \vartheta_1^* (1 - e^{-k\Delta s}), \quad (1)$$

откуда следует, что при $\Delta S \rightarrow \infty$ получаем $\vartheta_1 \rightarrow \vartheta_1^*$. Для определения следа запаздывания векторных свойств материала λ можно ввести допуск $\varepsilon = 0,122$ (7°) на угол сближения ϑ_1 при его приближении к асимптоте ϑ_1^* с ростом длины дуги траектории деформирования s так, что

$$\vartheta_1 - \vartheta_1^* = \vartheta_1^* e^{-k\lambda} \leq \varepsilon, \quad (2)$$

откуда находим длину следа запаздывания

$$\lambda = \frac{1}{k} \ln \left| \frac{\vartheta_1^*}{\varepsilon} \right|. \quad (3)$$

Обычно след запаздывания λ определяется в опытах на двузвенных ломаных траекториях или на прямолинейных участках после деформирования по какому либо криволинейному участку траектории. Здесь предлагается определять след запаздывания на криволинейных траекториях различной постоянной кривизны. На таких траекториях с достаточной для практических расчётов точностью устанавливается стационарный режим процесса деформирования с постоянным углом сближения $\vartheta_1^* = -k\kappa_1 = \text{const}$ после исчерпания следа запаздывания λ по допуску ε на угол сближения ϑ_1 . След запаздывания λ оказывается различным для различных значений кривизны κ_1 траекторий.

При достижении приращением дуги ΔS после точки K значения следа запаздывания λ по (3), устанавливался режим деформирования с практически постоянным углом сближения ϑ_1^* по допуску $\vartheta_1 \leq \varepsilon = 0,122$. Расчёты показали, что зависимость угла сближения для окружности с $\kappa_1 = 50$ соответствует данному условию. Поэтому можно сделать вывод о том, что все траектории с кривизной из интервала $(0 \leq \kappa_1 \leq \kappa_1^* = 50)$ можно отнести к траекториям малой кривизны, для которых закон упрочнения Одквиста-Ильюшина $\sigma = \Phi(s)$ приемлем для выполнения в расчётной практике определяющего соотношения А.А. Ильюшина в теории пластичности для траекторий малой кривизны.

По рекомендации В.С. Ленского [1] траекториями средней кривизны были названы такие, для которых след запаздывания имеет порядок радиуса кривизны $\lambda \approx R$ или $\lambda\kappa_1 = 1$. Если принять эту рекомендацию, то проведенные расчёты показали, что граничное значение $\kappa_1^{**} = 250$. Следовательно, можно рекомендовать считать траекториями средней кривизны такие, для которых кривизна κ_1 лежит в диапазоне $\kappa_1^* = 50 \leq \kappa_1 \leq \kappa_1^{**} = 250$. В этом случае приемлемые для практических расчётов результаты дает теория пластичности для траекторий средней кривизны А.С. Кравчука и В.И. Малого [2]

Если $\kappa_1 > \kappa_1^{***}$, то траектории деформирования относятся к траекториям большой кривизны и закон упрочнения Одквиста-Ильюшина $\sigma = \Phi(s)$ теряет свою силу, так как он должен явно зависеть от параметра сложного нагружения κ_1 , то есть $\sigma = \Phi(s, \kappa_1)$. В настоящее время это учитывается только в основных соотношениях теории процессов [1, 2].

Библиографический список

1. Ильюшин, А.А. Труды (1946-1966) / А.А. Ильюшин. – Т. 2. Пластичность. – М.: Физматлит, 2004. – 480 с.
2. Зубчиных, В.Г. Механика процессов пластических сред / В.Г. Зубчиных. – М.: Физматлит, 2010. – 352 с.

ОПТИМИЗАЦИЯ ГРАНУЛОМЕТРИЧЕСКОГО СОСТАВА МИНЕРАЛЬНЫХ СМЕСЕЙ ДЕКОРАТИВНЫХ БЕТОНОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ КОНВЕРТЕРНЫХ ШЛАКОВ*

Ивашкин А.Н., Гончарова М.А., Каширская О.А.

ЛГТУ, г. Липецк, Россия

От оптимизации структуры и свойств строительных композиционных материалов во многом зависят экономичность, надежность и долговечность изделий строительной индустрии.

Как показывают многочисленные исследования, гранулометрический состав заполнителей оказывает существенное влияние как на физико-механические свойства бетона, так и на реологические характеристики бетонной смеси. Применение заполнителей естественной гранулометрии чаще всего не позволяет существенно снизить содержание цементного теста в бетоне из-за его высокой межзерновой пустотности. Достижение малой межзерновой пустотности возможно при компоновке смеси заполнителей из отдельных фракций.

В настоящее время разработаны несколько теоретических моделей расчёта оптимальных смесей заполнителя для достижения плотной упаковки зерен – это уравнения моделей Фуллера, Функа, Гуммеля, Болоея и др., некоторые расчётные комплексы учитывают различную форму зерен заполнителя.

В основе таких методов, в основном, предложено условно приводить форму зерен к форме правильных геометрических тел (эллипсов и многоугольных призм), например, по степени приближения объема зерен заполнителей к объему правильных геометрических тел.

Были изучены основные характеристики переработанного конвертерного шлака фракций 0-10 мм, по результатам которых сделан вывод о несоответствии требованиям ГОСТ 5578-94. Однако, существующую оценку качества заполнителей (соответствие или несоответствие ГОСТ) при проектировании состава бетона нельзя признать удовлетворительной, поскольку многие, в том

числе и топологические, свойства заполнителей существенно влияют не только на прочность, но и на другие немаловажные показатели бетона и бетонный смеси.

Авторами подобраны составы бетонных смесей жесткой и литой реологии для производства декоративных бетонов. Доказано, что плотность упаковки зерен заполнителя оказывает существенное влияние на категорию качества лицевой поверхности.

Применение расчётных моделей позволит максимально использовать потенциал конвертерного шлака в качестве заполнителя бетона и минимизировать влияние его свойств как материала, не соответствующего требованиям ГОСТ 8267-93.

*Работа выполнена при финансовой поддержке со стороны Минобрнауки России в рамках базовой части НИР 496

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СВЕРХВЫСОКОПРОЧНОГО БЕТОНА В СТРОИТЕЛЬСТВЕ

Ильченко Е.Д., Тарасов А.А., Черных В.К.
СГТУ, г. Саратов, Россия

Бетон можно назвать одним из древнейших строительных материалов, который и по сей день является наиболее применяемым в современном строительстве. Кроме того, исследования и разработки ученых, в том числе в области нанотехнологий, дают повод считать, что бетон не уступит своих лидирующих позиций и в ближайшем будущем, а также есть основания полагать, что современные технологии и развитие науки дадут ему новые свойства и характеристики.

Интересной современной разработкой является такой материал, как сверхвысокопрочный бетон, или сверхэффективный бетон (UHPC = Ultra High Performance Concrete). Его характерной особенностью является прочность, которая колеблется в диапазоне от 150 Мпа до 250 Мпа. Благодаря этому бетону существует возможность создавать сооружения, которые будут отличаться долговечностью и тонкостью контуров, при этом, не уступая в несущей способности.

Помимо правил производства высокопрочных бетонов для изготовления УHPC были разработаны следующие технологические требования:

- дальнейшее сокращение водоцементного отношения до $В/Ц = 0,2$;
- непременно использование микрокремнезема и пластификатора;
- оптимизация плотности упаковки зерен заполнителя вплоть до нановеличин;
- ограничение максимального размера крупнейших зерен до 8 мм, как правило, до 2 мм;
- использование заполнителей из горных пород повышенной прочности;

- в некоторых случаях затвердевание в условиях повышенного давления (примерно до 500 бар.) и повышенной температуры (до 250 °С).

Данный бетон так же может быть назван сталестефибробетоном, так как в него, как правило, добавляют от 1,5 до 2,5% от объема мелкой стальной фибры для повышения его прочности на растяжение или изгиб.

Основные характеристики сверхвысокопрочного бетона очень высоки. Кроме того, он обладает высокой морозостойкостью, а истираемость и водопоглощение практически стремятся к нулю, а также у него высокие показатели газонепроницаемости и сопротивляемости проникновению хлоридов. Данные характеристики это лишь некоторые из многочисленных плюсов сверхвысокопрочного бетона. Главное в сверхвысокопрочном бетоне – это использование дешевых компонентов, применяемых в производстве простого бетона.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ТЕХНОГЕННЫХ ОТХОДОВ В ГИПСОВЫХ ВЯЖУЩИХ

Козлов Н.В., Панченко А.И.
МГСУ, г. Москва, Россия

Гипсовые материалы по сравнению с гидравлическими вяжущими отличаются пониженными показателями прочности и водостойкости, что ограничивает их применение областью внутренней отделки помещений с относительной влажностью не более 60%.

Введение техногенных отходов и побочных продуктов различных производств в состав минеральных вяжущих и материалов на их основе позволяет повысить экономическую, технологическую и экологическую эффективность их применения. Наиболее эффективным использование техногенных отходов или побочных продуктов можно считать, когда одновременно появляется возможность управления структурой и свойствами строительных материалов.

Для выполнения вышеупомянутых задач в настоящей работе предлагается возможность использования добавки к гипсовому вяжущему на основе микрокремнезема или биокремнезема и карбидного ила, пластифицирующей добавки, хотя с разной эффективностью.

В результате чего, получен материал, отличающийся от исходного гипса повышенными прочностными характеристиками и водостойкостью. Данный эффект обеспечен более мелкопористой структурой затвердевшего камня с меньшим количеством пор и капилляров, сообщающихся с внешней средой. А так же образованием за счет взаимодействия активных SiO_2 и $\text{Ca}(\text{OH})_2$, входящих в состав добавки, малорастворимых низкоосновных гидросиликатов кальция, затрудняющих проникновение влаги извне в гипсовый камень.

При оптимальном соотношении компонентов добавки использование микрокремнезема и карбидного ила позволяет повысить прочность исходного

гипса в водонасыщенном состоянии в 2,1 раза, прочность в высушенном состоянии в 1,4 раза, а при использовании биокремнезема и карбидного ила в 2,1 и 1,5 раза – соответственно в водонасыщенном и высушенном состояниях.

Таким образом, использование техногенных отходов в гипсовых вяжущих позволило получить материал отличающийся от исходного гипсового вяжущего повышенными физико-механическими свойствами (прочностью, водостойкостью и морозостойкостью), который пригоден для использования, как в помещениях с относительной влажностью более 60%, так и для ограждающих конструкций.

ПОДВОДНОЕ ОБСЛЕДОВАНИЕ МОСТОВ

Кокодеев А.В., Овчинников И.Г.

СГТУ, г. Саратов, Россия

Обследования элементов мостов, находящихся под водой, являются крайне важными мероприятиями по поддержанию высоких эксплуатационных показателей конструкции, которые в свою очередь определяют степень устойчивости, долговечности и безопасности работы мостового сооружения.

Благодаря вовремя проведенным периодическим инспекциям и мониторингу состояния подводных частей мостов можно свести к минимуму расходы на возможные последующие ремонты и реконструкции моста. Ведь, говоря об авариях на мостах, зачастую их причинами и катализаторами указывают имевшиеся на подводных элементах сооружений дефекты, а также повреждения, возникшие в процессе эксплуатации, природу которых можно классифицировать по нескольким причинам: ошибки, допущенные при проектировании, недоброкачественное выполнение строительных работ; нарушения режима технической эксплуатации.

В нашей стране в настоящее время освещенность проблемы подводных обследований мостов находится на крайне низком уровне. Существует малое количество информации о состоянии подводных элементов мостов. Большинство методик инспектирования частей сооружений под водой устарели, а смена им практически не готовится. За исключением нескольких статей почти отсутствуют свежие публикации, пособия и наработки, связанные с данной проблемой. Результаты многих проведенных за последнее время осмотров подводных элементов мостов оставляют множество вопросов по эффективности проведения мероприятий, в том числе по их результатам.

Учитывая сложившуюся ситуацию, резонным решением станет подробное ознакомление, анализ и переработка (с учетом реалий нашей страны) накопленного опыта, знаний и методологией зарубежных специалистов в сфере подводных инспекций мостов.

Стоит отметить ряд важных вопросов, которые стоит проанализировать во время знакомства с зарубежным опытом обследования подводных частей мостов: необходимость классифицирования осмотров по уровням, указывающими на степень затрачиваемых усилий, количеству мероприятий и задействованных инспекторов; полное планирование операций, работ и их видов, в зависимости от необходимости и целей осмотра; заблаговременное проведение сбора данных и разведки местности (в том числе с помощью современных акустических и дистанционно-управляемых аппаратов) для обнаружения всех возможных рисков; соответствие квалификации и уровня знаний у инспекторов; и другие, обзор которых будет проведен в последующих работах авторов.

ОЦЕНКА ЭКСПЛУАТАЦИОННОЙ НАДЕЖНОСТИ АВТОМОБИЛЬНОЙ ДОРОГИ К П. ЗЕЛЕНЕНЬКИЙ ОТ АВТОДОРОГИ «ОБХОД Г. САМАРЫ» В САМАРСКОЙ ОБЛАСТИ

Колосова Н.М., Михеева О.В.,

СГАУ, г. Саратов, Россия

Шмагина Э.Ю.

СГТУ, г. Саратов, Россия

Эксплуатационная надежность автомобильных дорог это вероятность сохранения пригодности их к эксплуатации в течение заданного периода времени. Явления, при котором элементы дороги достигают предельного состояния, делающего невозможным ее дальнейшую эксплуатацию, вызывают отказ.

Рассматривается автомобильная дорога подъезд к поселку Зелененький от автодороги «Обход г. Самары» в Волжском районе Самарской области.

Автомобильная дорога имеет следующие технические характеристики:

- коэффициент использования грузоподъемности 0,91;
- коэффициент использования пробега 0,55;
- количество дней работы автотранспорта в течение года 305;
- средняя грузоподъемность 5,7 т;
- техническая категория дороги IV (в соответствии с Технической классификацией автомобильных дорог общего пользования).

Общая протяженность участка дороги – 0,55 км. На участке трассы предусмотрено 2 угла поворота с радиусами кривых 300 м. Длина кривых составляет 512,2 м, прямых – 48,3 м. По трассе 2 пересечения с ВЛ 220 кВ. Максимальный продольный уклон 28,01°. Ширина земляного полотна 10 м, имеет двухскатный профиль; заложение откосов 1:1,75. Ширина обочин 2 м, ширина обочин, укрепленных посевом трав 1 м, ширина проезжей части 6 м. Число полос движения 2.

Устройство земляного полотна предусмотрено бульдозерами, экскаваторами с транспортированием грунта до 1 км, грунты по трудности разработки –

II, III. Покрытие однослойное из горячего плотного мелкозернистого асфальтобетона II марки тип Б толщиной 0,04 м. Нижний слой основания из фракционированного щебня, устраиваемого по способу заклинки, толщиной 0,26 м, укладываемый в два слоя. Расчётный срок службы дорожной одежды 10 лет.

В последние десятилетия размах антропогенного и технического влияния на окружающую среду достиг таких масштабов, что под угрозу поставлена жизнь человека, поэтому эти проблемы, связанные с состоянием окружающей среды, охрана природы заняли одно из первых мест в списках приобретенных национальных проблем.

Дороги подвержены воздействиям различных факторов, постепенно снижающих их работоспособности и эксплуатационную надежность. Дорога будет малоэффективной, если она будет эксплуатироваться с технологическими отступлениями. Только рациональная эксплуатация, правильный подход к назначению профилактических мероприятий, составление и выполнение планов по текущему ремонту обеспечат высокую производительность и рентабельность. Учитывая многообразие элементов дороги необходимо разрабатывать мероприятия, предупреждающие аварийные ситуации. Под влиянием различных факторов, значительное количество которых случайны, со временем возникают и постепенно накапливаются различные дефекты и повреждения, это снижает, как работоспособность и эксплуатационную надежность, так и срок службы дороги.

Оптимальным сроком службы считается тот, при котором будут минимальные затраты на единицу продукции.

Типичными примерами отказов дороги в период эксплуатации служат разрушение дорожной одежды, размывы верхнего и нижнего бьефов.

Форм потери эксплуатационной надежности достаточно много. И они разнообразны по характеру появления, степени опасности и экономическим последствиям.

Форма протекания потери эксплуатационной надежности определяет различный характер этого процесса, который можно представить в трех основных видах:

- нормальная эксплуатация;
- ускоренное нарастание отказов;
- внезапный отказ.

Каждый вид отказа зависит от процессов в период эксплуатации.

Нормальная эксплуатация характеризуется постепенным естественным износом элементов дороги, снижение эксплуатационных качеств находится в пределах, не угрожающих нормальной эксплуатации дороги. Второй вид – ускоренное нарастание отказа происходит при изменении окружающей среды и действующих нагрузок. Характер развития процесса определяется влиянием нескольких факторов, вероятность проявления которых намного возрастает во

времени. Третий вид – внезапный отказ. Особенность его в резком снижении эксплуатационной надежности вплоть до полного разрушения дороги.

При этом происходит сочетание резкого снижения прочности с возможной частичной стабилизацией процесса, протекающего в течение некоторого времени. Но может наступить предельное состояние (полное разрушение) или форма отказа – мгновенная.

Характер развития процесса при внезапных отказах объясняется преобладающим влиянием какого – либо одного фактора (например, резкое снижение покрытия дороги).

Эксплуатационная надежность оценивается продолжительностью безотказной работы за время эксплуатации, исключая перерывы на ремонт.

Таким образом, обеспечение требуемого срока службы дороги в обосновании рациональных конструктивных решений, методов расчёта, гарантированного качества производства работ, правильной эксплуатации, своевременных ремонтов, так как ремонтпригодность – это регулятор долговечности дороги, обоснованный технической возможностью и проектными решениями.

О ВОЗМОЖНОСТИ УПРОЩЕНИЯ УРАВНЕНИЙ НЕЛИНЕЙНО ДЕФОРМИРУЕМЫХ ПОЛОГИХ ОБОЛОЧЕК В СМЕШАННОЙ ФОРМЕ

Кривошеин И.В., Аншакова А.А.
СГТУ, г. Саратов, Россия

Существуют несколько вариантов разрешающих уравнений в смешанной форме теории гибких нелинейно упругих пологих оболочек. Упрощенный вариант уравнений основан на пренебрежении величиной жесткости $I_2 = \int_{-h/2}^{h/2} E_c z dz$, поэтому в усилиях моментной группы M_x, M_y, M_{xy} нет компонентов, зависящих от деформаций в срединной поверхности $\varepsilon_x^{(0)}, \varepsilon_y^{(0)}, \gamma_{xy}^{(0)}$, а в усилиях мембранной группы N_x, N_y, N_{xy} отсутствуют компоненты, связанные с изменениями кривизн оболочки $\chi_x, \chi_y, \chi_{xy}$. Исследуем погрешности расчётов пологих оболочек по упрощенному варианту уравнений. Рассчитываем шарнирно опертые на идеальные диафрагмы квадратные в плане $2a \times 2a$ пологие оболочки из несжимаемого материала с $\sigma_{ie} = 102$ (МПа), $\varepsilon_{ie} = 0,03$ при параметрах кривизны $k_\varepsilon = k_x(2a)^2 / h = 24$, $k_\eta = k_y(2a)^2 / h = 24$. Применяем метод конечных разностей (МКР) при точности аппроксимации $O(\Delta^2)$, рассматривая оболочки с различными относительными толщинами $h/(2a)$.

В таблице приведены результаты расчётов на уровне верхней критической нагрузки для значений $h/(2a) = 1/40 \div 1/80$ при размере сетки МКР 32×32 ,

данные в числителе соответствуют полному варианту разрешающих уравнений, в знаменателе – упрощенному варианту при взятии $I_2 = 0$.

$h/(2a)$	P	$\bar{w}_{\max}$	$M_{\xi}(0,0)$	$M_{\xi\max}$	$N_{\xi}(0,0)$	$\varepsilon_{i\max}$
1/40	308,633	1,30	0,274052	0,464458	-3,03110	0,022641
	313,505	1,34	0,343344	0,473542	-3,11346	0,022848
1/60	330,002	1,35	0,380320	0,479046	-3,29680	0,009496
	331,124	1,36	0,398384	0,480919	-3,31812	0,009508
1/80	333,726	1,35	0,390200	0,483151	-3,32929	0,005291
	334,098	1,36	0,404087	0,482830	-3,34759	0,005293

Установлено, что с уменьшением параметра толщины оболочки $h/(2a)$ данные по упрощенному варианту ($I_2 = 0$) уравнений в смешанной форме приближаются к данным по полному варианту уравнений, что обосновывает правомочность использования уравнений с $I_2 = 0$ при $h/(2a) \leq 1/80$.

МОДИФИЦИРОВАННЫЙ МЕТОД БИЦЕНО-КОХА В НЕЛИНЕЙНОЙ ТЕОРИИ ПОЛОГИХ ОБОЛОЧЕК И ПЛАСТИН

Кривошеин И.В., Ошменский А.С., Попова Д.Н.

СГТУ, г. Саратов, Россия

В соответствии с алгоритмом метода Бицено-Коха для нахождения приближенного выражения для искомых функций U , удовлетворяющих внутри области G операторному уравнению $L(U) = F$, а на ее границе Γ краевым условиям $\ell u = f$, где L – нелинейный, а ℓ – линейный дифференциальные операторы, приближенно задаем U в виде отрезка ряда $\bar{U} = \sum_{i=1}^n k_i \psi_i$, где ψ_i точно удовлетворяет условиям $\ell u = f$. После подстановки $\bar{U}$ в $L(\bar{U}) = F$ получаем невязку решения $\Delta = L\left(\sum_{i=1}^n k_i \psi_i\right) - F$, содержащую n неизвестных коэффициентов k_i , для определения которых требуем обращения Δ в ноль интегрально в каждой из n подобластей G_i , составляющих область G , что дает систему дифференциальных уравнений $\iint_{G_i} (L(\bar{u}) - F) dx dy = 0, i = 1, 2, \dots, n$.

При использовании модифицированного метода Бицено-Коха (ММБК) предполагается, что подобласти интегрального удовлетворения разрешающим уравнениям задачи G_{im} не составляют целиком область G плана оболочки или пластины, а локализованы вокруг некоторых точек $T_{im}(x_{im}, y_{im})$, являющихся центрами G_{im} , и имеют площади $G_{im} = G_i / m^2, 1 < m < N, \lim N = \infty$, поэтому алгоритм ММБК порождает систему дифференциальных уравнений

$$\iint_{G_{im}} (L(\bar{u}) - F) dx dy = 0, i = 1, 2, \dots, n, G_{im} = G_i / m^2,$$

решение которой предусматривает вычисление двойных определенных интегралов по подобластям G_{im} .

При уменьшения размеров G_{im} исследуется сходимость решений по ММБК в рамках конкретного приближения n в $\bar{U} = \sum_{i=1}^n k_i \psi_i$. Кроме того, для ММБК всегда можно подобрать в $G_{im} = G_i / m^2$ такое значение параметра m , при котором достоверные значения величин определенных интегралов подсчитываются с использованием простейшего варианта формулы Симпсона

$$\int_{-h}^h \int_{-h}^h f(x, y) dx dy \approx (h^2 / 9) [16 f_{0,0} + 4(f_{1,0} + f_{0,1} + f_{-1,0} + f_{0,-1}) + f_{1,1} + f_{1,-1} + f_{-1,1} + f_{-1,-1}],$$

$f_{ij} = f(i \Delta x, j \Delta y)$, $\Delta x = \Delta y = h$, $(i, j = 0, \pm 1)$, что минимизирует время счета ПК по ММБК ввиду чрезвычайного упрощения трудоемкой процедуры вычисления величин определенных интегралов по подобластям G_i в системе дифференциальных уравнений $\iint_{G_{im}} (L(\bar{u}) - F) dx dy = 0, i = 1, 2, \dots, n$ ММБК.

ПРИМЕНЕНИЕ МОДИФИЦИРОВАННОГО МЕТОДА БИЦЕНО-КОХА В РАСЧЕТАХ НЕЛИНЕЙНО ДЕФОРМИРУЕМЫХ ПЛАСТИН

Кривошеин И.В., Ошменский А.С., Попова Д.Н.
СГТУ, г. Саратов, Россия

Используем для расчёта гибких нелинейно упругих пластин алгоритм модифицированного метода Бицено-Коха (ММБК), изложенный в публикации данного сборника «Модифицированный метод Бицено-Коха в нелинейной теории полых оболочек и пластин». Рассматриваем пластины на прямоугольном плане $-a \leq x \leq a, -b \leq y \leq b$ при краевых условиях шарнирного опирания на гибкие из плоскости контура диафрагмы. Нелинейно деформируемый материал пластин считаем несжимаемым с коэффициентом Пуассона $\mu = 0,5$ и характерными параметрами $\sigma_i^e = 102$ (МПа), $\varepsilon_i^e = 0,03$, $E_0 = 5088,13$ (МПа). Для оценки точности результатов по ММБК решаем также нелинейную краевую задачу методом конечных разностей (МКР) при сетке 32×32 , методом Бубнова-Галеркина (МБГ) и методом Бицено-Коха (МБК), используя для решения систем нелинейных уравнений метод Ньютона-Канторовича. В проекционных методах расчёта аппроксимация искомых функций прогиба w и усилий φ проводилась с использованием систем ортонормированных полиномов в приближении с 64 членами рядов в w и φ .

В таблице представлены данные по обсуждаемым методам расчёта для квадратной пластины с относительной толщиной $h / (2a) = 1 / 25$ при величине прогиба в центре, равном толщине пластины h .

Метод	P	$M_{\xi}(0,0)$	$N_{\xi}(0,0)$	$\varepsilon_i(0,0)$
МБК	35,3111	0,324713	0,356275	0,0159490
ММБК	35,3153	0,324663	0,356589	0,0159491
МБГ	35,3155	0,324661	0,356589	0,0159490
МКР	35,3822	0,324425	0,357277	0,0159430

Данные таблицы свидетельствуют, что параметры НДС пластины, полученные по алгоритму ММБК при равномерном расположении центров подобластей интегрирования G_{im} , практически совпадают с данными по МБГ, при этом время счета ПК по ММБК в десятки раз меньше времени по МБГ, МБК и МКР. Кроме того, алгоритм ММБК допускает, в отличие от метода внутренней коллокации (МБК), совпадение центров подобластей G_{im} с точками нулей фундаментальных балочных функций и их четных производных. Показательно также, что увеличение времени счета по алгоритму ММБК по сравнению с алгоритмом МБК является весьма незначительным.

РАСЧЕТ НЕЛИНЕЙНО ДЕФОРМИРУЕМЫХ ПОЛОГИХ ОБОЛОЧЕК МОДИФИЦИРОВАННЫМ МЕТОДОМ БИЦЕНО-КОХА

Кривошеин И.В., Ошменский А.С., Попова Д.Н.
СГТУ, г. Саратов, Россия

Применяем для расчётов гибких нелинейно упругих пологих оболочек алгоритм модифицированного метода Бицено-Коха (ММБК), приведенный в публикации данного сборника «Модифицированный метод Бицено-Коха в нелинейной теории пологих оболочек и пластин». Рассматриваем оболочки на прямоугольной плане $-a \leq x \leq a$, $-b \leq y \leq b$ при краевых условиях скользящей заделки, изготовленные из нелинейно деформируемого несжимаемого материала с параметрами $\varepsilon_i^e = 0,073$, $\sigma_i^e = 115,4$ (МПа), $E_0 = 2200,39$ (МПа).

Сравниваем данные расчётов по ММБК с результатами по методу Бубнова-Галеркина (МБГ), методу Бицено-Коха (МБК) и методу конечных разностей (МКР) с сеткой 32×32 , решая системы нелинейных уравнений методом Ньютона-Канторовича. Аппроксимируем искомые функции прогиба w и усилий φ двойными рядами по системам ортонормированных полиномов в приближении с удержанием по 64 членов рядов в w и φ . В таблице представлены данные по обсуждаемым методам расчёта для квадратной в плане $2a \times 2a$ пологой оболочки с относительной толщиной $h/(2a) = 1/50$ и параметрами кривизны $k_{\xi} = k_x(2a)^2/h = 28$, $k_{\eta} = k_y(2b)^2/h = 28$ при достижении верхней критической нагрузки потери устойчивости P_{σ} .

Метод	P_e	$w_e(0,0)$	$M_{\xi \max}$	$N_{\xi}(0,0)$	$\varepsilon_{i \max}$
МБК	292,588	1,972484	2,645581	-2,86358	0,0234203
ММБК	292,537	1,972440	2,644990	-2,86299	0,0234139
МБГ	292,576	1,970000	2,643063	-2,86192	0,0233986
МКР	291,890	1,960000	2,595286	-2,85583	0,0230474

Результаты свидетельствуют, что для состояния перед потерей устойчивости оболочки параметры НДС, полученные по алгоритму ММБК при равномерном расположении центров подобластей интегрирования G_{im} , весьма близки к данным по МБГ. Кроме того, время счета ПК по ММБК значительно меньше времени по МКР, МБГ и МБК.

Следует отметить, что алгоритм ММБК допускает использование любых полных систем координатных функций, в том числе фундаментальных балочных функций, при этом точки нулей функций и их четных производных могут совпадать с центрами подобластей G_{im} интегрирования, что выгодно отличает ММБК от метода внутренней коллокации.

ШЛАКОВЫЕ ВЯЖУЩИЕ КОНТАКТНО-КОНДЕНСАЦИОННОГО ТВЕРДЕНИЯ*

Крохотин В.В., Гончарова М.А.

ЛГТУ, г. Липецк, Россия

Способы изготовления строительных материалов с цементными вяжущими в составах основываются на технологиях, предусматривающих спекание сырья при высоких температурах, его тепловлажностную обработку и твердение в автоклавах. Учитывая высокую стоимость этих процессов, наиболее перспективным направлением решения проблемы получения широкой номенклатуры эффективных композиционных строительных материалов и изделий на основе конвертерных шлаков является использование принципов контактно-конденсационного твердения.

Такие технологии позволяют получать композиционные материалы требуемой для строительных целей прочности без значительных энергетических и трудовых затрат и достигаются за счет относительно простых технологических приемов. Технологии контактно-конденсационного твердения способствуют сокращению технологического цикла и композитов с высокой «мгновенной» прочностью. При этом технологические процессы не требуют уникального оборудования и могут быть осуществлены на традиционных промышленных линиях. Этот фактор также способствует формированию существенного экономического эффекта.

Твердение вяжущие контактно-конденсационного твердения рассматривается с позиций теории конденсации, в основе которой лежит идея о том, что дисперсные вещества в силу своей энергетической нестабильности обладают конденсационной способностью, снижаемой по мере уменьшения свободной

энергии этих веществ. Контактно-конденсационное твердение характеризуется рядом особенностей. Оно реализуется только в тех случаях, когда структура вещества является нестабильной и оно находится в аморфном или субмикrokристаллическом состоянии. Необходимым условием контактного твердения является достаточная степень сближения макрочастиц, что достигается прессованием. Характерным признаком контактов между дисперсными макрочастицами является их водостойкость и восстанавливаемость после разрушения при повторном сближении. Контактное твердение происходит без воды затворения.

Для рассматриваемых вяжущих главными условиями конденсации является прессование. Однако, их твердение возможно и за счет уменьшения водных пленок между макрочастицами в результате сушки, пропаривания или автоклавирувания водосодержащих систем. В этом случае прочность индивидуальных контактов оказывается существенно меньше, однако минимальны и значения средней плотности получаемого камня. Такой прием конденсирования рационален при получении на основе этих вяжущих легких и теплоизоляционных материалов. Следует также отметить, что к особым свойствам выше указанных вяжущих относится способность камня упрочняться при отрицательных температурах.

Технологии контактнo-конденсационного твердения позволяют получить композиционный материал с максимально плотной упаковкой зерен. В момент приложения высокого внешнего давления в образцах создаются стесненные условия, и процессы структурообразования протекают отлично от традиционных вяжущих веществ. При непрерывном повышении давления структурообразование, протекающее в нормальных условиях иногда в течение нескольких часов, завершается за цикл прессования. Происходят процессы, обусловленные фазовыми превращениями и перестройкой пористой структуры исследуемых материалов. Рост прочности характерен для всех структур контактнo-конденсационного типа. Он объясняется кристаллизацией нестабильной фазы, происходящей по механизму срастания макрочастиц. Известно, что прочность искусственного камня на основе вяжущих контактнo-конденсационного твердения определяется степенью сближения частиц или площадью возникающих при формировании контактов. Свойства вяжущих контактнo-конденсационного твердения в общем случае обусловлены нестабильностью или неупорядоченностью структуры дисперсного вещества.

Для установления оптимальных значений строительно-технических свойств вяжущих контактнo-конденсационного твердения на основе конвертерных шлаков было решено использовать метод математического планирования. В качестве факторов, которые оказывают влияние на формирование вяжущей системы, были выбраны следующие: x_1 – расход микрокремнезема. X_2 – давление прессования, x_3 – расход жидкого стекла .

На основе полученных результатов составим уравнения регрессии для откликов «прочность при сжатии» и «плотность»:

- для отклика «прочность при сжатии»

$$R(x_1, x_2, x_3) = 36,29 - 0,34 \cdot x_1 - 4,88 \cdot x_2 - 0,38 \cdot x_3 + 0,59 \cdot x_1^2 - \\ - 1,78 \cdot x_2^2 - 0,70 \cdot x_3^2 - 1,40 \cdot x_1 \cdot x_2 + 0,18 \cdot x_1 \cdot x_3 - 0,35 \cdot x_2 \cdot x_3;$$

- для отклика «плотность»

$$\rho(x_1, x_2, x_3) = 2095,94 + 10,89 \cdot x_1 - 70,19 \cdot x_2 + 1,16 \cdot x_3 + 12,65 \cdot x_1^2 - \\ - 21,20 \cdot x_2^2 + 36,34 \cdot x_3^2 - 40,0 \cdot x_1 \cdot x_2 - 10,0 \cdot x_1 \cdot x_3 - 2,5 \cdot x_2 \cdot x_3$$

После исключения незначимых коэффициентов уравнения регрессии имеют вид:

- для отклика «прочность при сжатии»

$$R(x_1, x_2, x_3) = 36,29 - 0,34 \cdot x_1 - 4,88 \cdot x_2 - 0,38 \cdot x_3 + 0,59 \cdot x_1^2 - \\ - 1,78 \cdot x_2^2 - 0,70 \cdot x_3^2 - 1,40 \cdot x_1 \cdot x_3 - 0,35 \cdot x_2 \cdot x_3$$

- для отклика «плотность»

$$\rho(x_1, x_2, x_3) = 2095,94 - 70,19 \cdot x_2 + 36,34 \cdot x_3^2 - 40,0 \cdot x_1 \cdot x_2$$

Таким образом, оптимальными составами являются следующие: расход микрокремнезема – 10%, давление прессования – 120 Мпа; и расход микрокремнезема – 20%, давление прессования – 124,3 Мпа; расход жидкого стекла – 10%.

*Работа выполнена при финансовой поддержке со стороны Минобрнауки России в рамках базовой части НИР 496

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ ДЛЯ РАСЧЁТНОЙ МОДЕЛИ ЗАМКНУТОЙ ПРИЗМАТИЧЕСКОЙ ПИРАМИДАЛЬНОЙ ОБОЛОЧКИ

Кузнецов О.Р.

СГТУ, г. Саратов, Россия

Рассматривается тонкостенная пространственная пирамидальная оболочка, с замкнутым контуром поперечного сечения, состоящая из конечного числа подкреплённых стрингерами тонких трапецевидных пластинок, сопряжённых между собой по боковым сторонам. Поперечное сечение оболочки представляет собой в общем случае произвольный выпуклый многозамкнутый контур, который состоит из конечного числа отрезков прямых жестко соединённых между собой в вершинах многоугольника. Предполагается, что:

- толщина контура в пределах каждой пластинки постоянна;
- форма контура, вдоль образующей оболочки, не изменяется;
- начальное и последнее поперечные сечения параллельны между собой.

На рис. 1-3 приведены некоторые возможные типы поперечных сечений.



Рис. 1

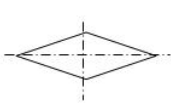


Рис. 2

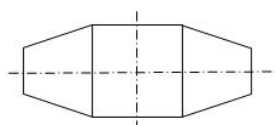


Рис. 3

Линии сопряжения пластинок по боковым сторонам называются ребрами оболочки. Пластины по ребрам оболочки жестко соединены между собой. Предполагается, что все ребра оболочки или их продолжения пересекаются в одной точке. То есть рассматриваются пирамидальные или усеченные пирамидальные призматические оболочки. Отметим, что из усеченной пирамидальной можно в пределе перейти к клиновидной.

Оболочки такого типа широко используются в реальной инженерной практике в конструкциях различного назначения. Например, в авиационных конструкциях это фюзеляжи и несущие конструкции крыльев летательных аппаратов. Оболочки такого типа позволяют использовать внутренний объем и высокую (удельную по отношению к весу) прочность. В процессе эксплуатации эти конструкции находятся под действием нагрузок различного типа. Например, нагрузок, которые возникают в процессе взаимодействия конструкций с внешним потоком воздуха или жидкости. Для обеспечения функционирования конструкций необходимо использовать скрытые резервы их несущей способности. Для этого в расчётной модели используются физические нелинейные соотношения при конечных перемещениях.

Декартова система координат XYZ выбирается таким образом, чтобы плоскость XY совпадала с плоскостью направляющей, а ось OZ проходила через вершину оболочки. Тогда координаты вершины оболочки

$$x = 0, \quad y = 0, \quad z = l_0. \quad (1)$$

Точки контура при перемещении их в его плоскости обладают тремя степенями свободы, за которые приняты следующие три функции:

$$V_x = V_x(z), \quad V_y = V_y(z), \quad \theta = \theta(z), \quad (2)$$

где V_x, V_y – представляют собой перемещения точек контура в направлении осей OX, OY ; θ – угол поворота сечения вокруг оси OZ .

Обозначим через m – число ребер оболочки, а через n – число пластинок составляющих оболочку. Для одно-замкнутого контура $n = m$. В общем случае $n \geq m$. Ребра занумеруем от 1 до m . Из методических соображений считаем, что ребро с номером 1 имеет также номер $m+1$.

Перемещения точек i -го ребра в направлении оси OZ обозначим через

$$u_i = u_i(z) \quad (i = 1, \dots, m) \quad (3)$$

и будем считать их искомыми.

Перемещения точек контура в плоскости пластинки перпендикулярно контуру называются продольными перемещениями. Продольные перемещения точек контура между его ребрами изменяются по линейному закону, поэтому полностью определяются продольными перемещениями точек лежащих на ребрах. При необходимости вводятся в рассмотрение дополнительные ребра. Продольные перемещения точек i -го ребра определяются перемещениями $u_i = u_i(z)$ этих точек в направлении оси OZ .

Таким образом, перемещения точек контура определяются $(m + 3)$ функциями, которые задаются выражениями (2), (3).

СИСТЕМЫ КООРДИНАТ В РАСЧЕТАХ ТОНКОСТЕННЫХ ПИРАМИДАЛЬНЫХ ОБОЛОЧЕК

Кузнецов О.Р., Мингазова А.С.

СГТУ, г. Саратов, Россия

Системы координат. Рассмотрим отдельную пластинку, находящуюся между ребрами оболочки с номерами i и j . Назовем эту пластинку (i, j) . Таким образом, первая пластинка имеет обозначение $(1, 2)$, а последняя $(m, m+1)$, где ребро с номером $m+1$ является ребром с номером один. Обозначим через $(x_{0i}, y_{0i}); (x_{0j}, y_{0j})$ ($i = 1, \dots, m$) координаты ребер рассматриваемой пластинки в начальном сечении (при $z = 0$). Обозначим через $(x_{1i}, y_{1i}); (x_{1j}, y_{1j})$ координаты тех же ребер в конечном сечении оболочки (при $z = z_1 = l$).

Длину элемента контура оболочки, которая соответствует этой пластинки (ширина пластинки) в начальном сечении при $z = 0$ обозначим d_{0ij} , в конечном сечении оболочки при $z = z_1 = l$ через d_{1ij} , в текущем сечении z – через d_{ij} . Тогда имеем

$$d_{0ij} = \sqrt{(x_{0j} - x_{0i})^2 + (y_{0j} - y_{0i})^2}; \quad d_{ij} = d_{0ij}(1 - \bar{z}), \quad (1)$$

$$d_{1ij} = \sqrt{(x_{1j} - x_{1i})^2 + (y_{1j} - y_{1i})^2}; \quad d_{1ij} = d_{0ij}(1 - \bar{z}_1). \quad (2)$$

В срединной плоскости (i, j) -ой пластинки введем прямоугольную систему координат S, Z_{ij} , с началом в точке $(x_{0i}, y_{0i}, 0)$ с направляющими ортами $\bar{m}_s, \bar{n}_s$. Орт $\bar{m}_s$ направлен вдоль ребра контура оболочки в сечении $Z = 0$. За параметр S – принята длина контура, которая отсчитывается от начала этой системы координат. В точке $(x_{0i}, y_{0i}, 0)$ $S = 0$ и $S = d_{0ij}$ в точке $(x_{0j}, y_{0j}, 0)$.

Орт $\bar{n}_s$ лежит в плоскости (i, j) -ой пластинки и перпендикулярен контуру. Запишем выражения для орта нормали $\bar{n}$ к срединной поверхности пластинки

$$\bar{n} = \bar{n}_s \times \bar{m}_s. \quad (3)$$

В системе координат XYZ тангенциальные орты $\bar{m}_s, \bar{n}_s$ записываются в виде

$$\begin{aligned} \bar{m}_s(m_{sx}, m_{sy}, 0); \quad \bar{n}_s(n_{sx}, n_{sy}, n_{sz}); \\ \bar{m}_s = m_{sx}\bar{i} + m_{sy}\bar{j}; \quad \bar{n}_s = n_{sx}\bar{i} + n_{sy}\bar{j} + n_{sz}\bar{k}, \end{aligned} \quad (4)$$

где $m_{sx}, m_{sy}; n_{sx}, n_{sy}, n_{sz}$ – направляющие косинусы ортов $\bar{m}_s, \bar{n}_s$ в системе координат XYZ. Вводим систему координат с началом в точке $(x_{0i}, y_{0i}, 0)$, с направляющими ортами $\bar{m}_s, \bar{k}$ и ортом нормали $\bar{n}^0$: $\bar{n}^0 = \bar{k} \times \bar{m}_s$.

Орт $\bar{n}^0$ лежит в плоскости XOY и перпендикулярен орту $\bar{m}_s$, то-есть контуру оболочки. Орты $\bar{n}^0, \bar{k}, \bar{n}_s$ лежат в одной плоскости. Имеем

$$\bar{n}^0 = n_x^0\bar{i} + n_y^0\bar{j}.$$

Между координатами ортов $\bar{m}_s$ и $\bar{n}^0$ существует известная зависимость

$$n_x^0 = -m_{sy}, \quad n_y^0 = m_{sx}.$$

Таким образом, на данном этапе введены в рассмотрение две вспомогательные прямоугольные системы координат с направляющими ортами $\bar{n}_s, \bar{m}_s, \bar{i}$ и $\bar{k}, \bar{m}_s, \bar{n}^0$.

Найдем выражения для направляющих косинусов ортов введенных систем координат. Обозначим через ψ_{ij} угол между осью OX и контуром оболочки, который соответствует (i, j) пластики. Тогда уравнение элемента контура оболочки, соответствующего (i, j) пластинки при $z = 0$, в параметрической форме имеет вид

$$\begin{aligned} x_0(s) = x_0 = x_{0i} + s m_{sx} = x_{0i} + s \cos \psi_{ij}; \\ y_0(s) = y_0 = y_{0i} + s m_{sy} = y_{0i} + s \sin \psi_{ij}, \end{aligned} \quad (5)$$

где

$$\begin{aligned} \cos \psi_{ij} = x'_0(s) = (x_{0j} - x_{0i})/d_{0ij}; \\ \sin \psi_{ij} = y'_0(s) = (y_{0j} - y_{0i})/d_{0ij}. \end{aligned}$$

Тогда имеем

$$m_{sx} = \cos \psi_{ij} = x'_0(s); \quad m_{sy} = \sin \psi_{ij} = y'_0(s).$$

$$\begin{aligned}\bar{m}_s &= \bar{i} \cos \psi_{ij} + \bar{j} \sin \psi_{ij} = \bar{i} x'_0(s) + \bar{j} y'_0(s); \\ \bar{n}^0 &= -\bar{i} \sin \psi_{ij} + \bar{j} \cos \psi_{ij} = -\bar{i} y'_0(s) + \bar{j} x'_0(s).\end{aligned}$$

Радиус-вектор контура оболочки в сечении $z = 0$ записывается в виде

$$\bar{r}_{ij}^0(s) = \bar{i} x_0(s) + \bar{j} y_0(s); \bar{r}_i^0 = \bar{r}_{ij}^0(s=0) = \bar{i} x_{0i} + \bar{j} y_{0i}. \quad (6)$$

ВЫРАЖЕНИЕ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ПРИЗМАТИЧЕСКИХ ПИРАМИДАЛЬНЫХ ОБОЛОЧЕК В ВЫБРАННЫХ СИСТЕМАХ КОСОУГОЛЬНЫХ КООРДИНАТ

Кузнецов О.Р., Решетникова А.А.
СГТУ, г. Саратов, Россия

Обозначим через $q_{ij}^0(s_{ij})$ проекцию вектора $\bar{r}_{ij}^0(s_{ij})$ на ось с ортом $\bar{m}_s$, то есть на контур оболочки в сечении $\bar{z} = 0$. Имеем

$$\begin{aligned}q_{ij}^0(s_{ij}) &= \bar{r}_{ij}^0(s_{ij}) \cdot \bar{m}_s = x_0(s_{ij}) \cdot x'_0 + y_0(s_{ij}) \cdot y'_0 = \\ &= x_0(s_{ij}) \cos \psi_{ij} + y_0(s_{ij}) \sin \psi_{ij}\end{aligned}$$

Ясно, что $|q_{ij}^0(s_{ij})|$ есть расстояние от точки A контура до точки контура с координатами s_{ij} , а вектор

$$\bar{q}_{ij}^0(s_{ij}) = \bar{m}_s q_{ij}^0(s_{ij}).$$

Для точек ребер (i, j) пластинки имеем

$$q_i^0 = \bar{r}_i^0 \cdot \bar{m}_s = x_{0i} \cdot x'_0 + y_{0i} \cdot y'_0 = x_{0i} \cos \psi_{ij} + y_{0i} \sin \psi_{ij};$$

$$q_j^0 = \bar{r}_j^0 \cdot \bar{m}_s = x_{0j} \cdot x'_0 + y_{0j} \cdot y'_0 = x_{0j} \cos \psi_{ij} + y_{0j} \sin \psi_{ij}.$$

Приведенные выше выражения записаны для сечения $z = 0$. Для произвольного сечения в записи этих выражений используются следующие обозначения

$$q_{ij}(s_{ij}), \bar{r}_{ij}(s_{ij}), q_i, q_j, \bar{r}_i, \bar{r}_j, x(s_{ij}), y(s_{ij}), x_i, y_i.$$

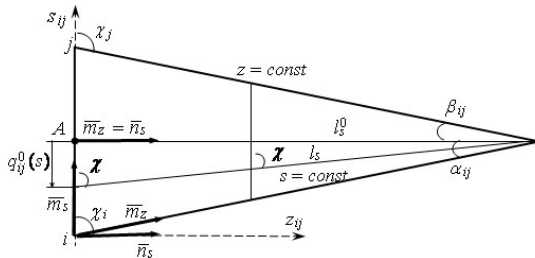


Рис. 1

Обозначим через $\bar{h}_{ij}$ вектор $\bar{r}_{ij}(s_{ij})$, который перпендикулярен контуру оболочки. Тогда $h_{ij} = |\bar{h}_{ij}|$ есть расстояние в плоскости поперечного сечения от оси z до контура оболочки. Имеют место следующие соотношения

$$\begin{aligned}\bar{h}_{ij} &= h_{ij} \cdot \bar{n}^0 = h_{ij}(-\bar{i} \sin \psi_{ij} + \bar{j} \cos \psi_{ij}); \\ h_{ij} &= \bar{r}_{ij} \cdot \bar{n}^0 = (x(s_{ij})\bar{i} + y(s_{ij})\bar{j})\bar{n}^0 = \\ &= -x(s_{ij}) \sin \psi_{ij} + y(s_{ij}) \cos \psi_{ij} = -x'_0 + y'_0.\end{aligned}\quad (1)$$

При практических вычислениях в выражения (1) подставляют координаты x_i, y_i ребра оболочки. Тогда

$$\begin{aligned}h_{ij} &= \bar{r}_i \cdot \bar{n}^0 = -x_i \sin \psi_{ij} + y_i \cos \psi_{ij} = -x_i x'_0 + y_i y'_0; \\ h_{ij}^0 &= \bar{r}_i^0 \cdot \bar{n}^0 = -x_{0i} y'_0 + y_{0i} x'_0 = -x_{0i} \sin \psi_{ij} + y_{0i} \cos \psi_{ij}.\end{aligned}\quad (2)$$

Обозначим через l_s – длину образующей пирамидальной оболочки, проходящей через текущую точку контура с координатами $(x_0(s), y_0(s), 0)$ и вершину пирамиды с координатами $(0, 0, z = l_0)$, а через l_s^0 – длину образующей перпендикулярной её контуру в пределах (i, j) -й пластинки (см. рис. 1). Тогда

$$l_s = \sqrt{x_0^2(s) + y_0^2(s) + l_0^2}, \quad l_s^0 = \sqrt{l_0^2 + h_{ij}^2}.$$

Из построения системы координат следует, что орты $\bar{n}^0, \bar{k}, \bar{n}_s, \bar{n}$ лежат в одной плоскости (рис. 2) и угол между ортами $\bar{k}$ и $\bar{n}_s$ есть угол наклона (i, j) -й пластинки к орту $\bar{k}$. Обозначим этот угол через γ_{ij} . Запишем выражения для ортов $\bar{n}^0, \bar{k}$ в базисе $\bar{n}, \bar{n}_s$ и обратно в предположении, что положительному значению угла γ_{ij} соответствует приведенное на рис. 2 положения ортов $\bar{n}_s, \bar{n}$ и $\bar{k}, \bar{n}^0$ относительно друг друга.

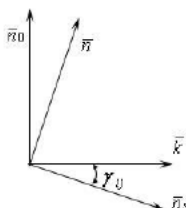


Рис. 2

Имеем

$$\begin{aligned}\bar{n}_s &= \bar{k} \cos \gamma_{ij} - \bar{n}^0 \sin \gamma_{ij} = \bar{k} \cos \gamma_{ij} + (\bar{i} \sin \psi_{ij} - \bar{j} \cos \psi_{ij}) \sin \gamma_{ij} = \\ &= \bar{i} \sin \psi_{ij} \sin \gamma_{ij} - \bar{j} \cos \psi_{ij} \sin \gamma_{ij} + \bar{k} \cos \gamma_{ij}; \\ \bar{n} &= k \sin \gamma_{ij} + \bar{n}^0 \cos \gamma_{ij} = k \sin \gamma_{ij} - (\bar{i} \sin \psi_{ij} - \bar{j} \cos \psi_{ij}) \cos \gamma_{ij} = \\ &= -\bar{i} \sin \psi_{ij} \cos \gamma_{ij} + \bar{j} \cos \psi_{ij} \cos \gamma_{ij} + \bar{k} \sin \gamma_{ij}.\end{aligned}\quad (3)$$

Положение точки M срединной поверхности (i, j) пластинки будем определять в косоугольной системе координат, ортами которой являются $\bar{m}_s$ и $\bar{m}_z(m_{zx}, m_{zy}, m_{zz})$. Орт $\bar{m}_z$ через орты $\bar{m}_s$, $\bar{n}_s$ и орт $\bar{n}_s$ через орты $\bar{m}_s$, $\bar{m}_z$ выражаются следующим образом

$$\bar{m}_z = \bar{m}_s \cos \chi + \bar{n}_s \sin \chi, \quad (4)$$

$$\bar{n}_s = \frac{1}{\sin \chi} \bar{m}_z - \frac{\cos \chi}{\sin \chi} \bar{m}_s. \quad (5)$$

Здесь χ – угол между положительными направлениями координатных линий $s = \text{const}$, $\bar{z} = \text{const}$.

ВЫБОР АППРОКСИМИРУЮЩИХ ФУНКЦИЙ ПРИ РАСЧЁТАХ ПРИЗМАТИЧЕСКИХ ПИРАМИДАЛЬНЫХ ОБОЛОЧЕК

Кузнецов О.Р., Сорокин М.М.
СГТУ, г. Саратов, Россия

Для оболочек рассматриваемого типа важным этапом, от которого зависит качество решения, является выбор аппроксимирующих функций. Для прямых замкнутых призматических оболочек ширина пластинок, которые её образуют, постоянна и плоскость аппроксимирующих функций совпадает с плоскостью и направлением оси OZ пластинок. Поэтому построение аппроксимирующих функций сводиться к определению вида функции между двумя точками (ребрами оболочки) с фиксированным расстоянием. В случае пирамидальных оболочек расстояние между ребрами пластинок, составляющих оболочку, является переменной величиной и зависит от координаты Z . Вторая сложность состоит в том, что плоскость пластинок не совпадает с осью Z . При построении аппроксимирующих для пирамидальных оболочек с учетом этих двух обстоятельств возможны два подхода. Первый состоит в том, что рас-

смачивается «фиктивная» пластинка, которая имеет постоянную ширину равную d_{0ij} и ориентирована параллельно оси OZ . Определение напряженно-деформированного состояния реальной пластинки реализуется с помощью линейного преобразования расчётных выражений для фиктивной пластинки в косоугольной системе координат. Отметим, что в общем случае пирамидальной оболочки это преобразование имеет сложный вид. При таком подходе сохраняются все методики построения (выбора) систем аппроксимирующих функций, которые используются для прямых замкнутых призматических оболочек. Сложность состоит в практической реализации вычислительного процесса связанного с этим линейным преобразованием. Необходимо также составлять дополнительные деформационные уравнения, которые обеспечивают равенство перемещений точек ребер оболочки, в направлении этих ребер, которые получаются в результате вычисления перемещений точек ребра полученных по отдельности для смежных пластинок, которые соединятся между собой по этому ребру.

При втором подходе аппроксимирующие функции задают единичные перемещения точек ребер оболочки в направлении оси OZ_{ij} . В этом случае сложность состоит в аналитическом выражении аппроксимирующих функций, каждая из двух опорных точек которой изменяет свое положение в плоскости пластинки, в соответствии с ориентации ребер оболочки.

При таком подходе отпадает необходимость в составлении деформационных уравнений, обеспечивающих условие непрерывности перемещений точек контура оболочки вдоль её ребер, так как они удовлетворяются автоматически. Линейное преобразование, которое переводит исходные статико-геометрические соотношения, записанные в координатной системе $\bar{m}_s, \bar{n}_s$ в плоскость $\bar{m}_s, \bar{k}$ для получения разрешающих уравнений, имеет умеренную сложность.

Имеется подход, который представляет собой комбинацию двух рассмотренных выше методик построения аппроксимирующих функций. Как и в первом случае, рассматривается фиктивная пластинка, которая имеет постоянную ширину равную d_{0ij} , но ориентирована, как и во втором случае, параллельно оси OZ_{ij} . Необходимо так же, как и в первом случае, составлять дополнительные деформационные уравнения, которые обеспечивают равенство перемещений точек ребер оболочки, в направлении этих ребер. Линейное преобразование, переводящее напряженно-деформированное состояние фиктивной пластинки для реальной пластинки распадается на две группы, каждая из которых имеет более простое выражение, чем в первом и во втором случае.

КОМПОНЕНТЫ ВЕКТОРА ПЕРЕМЕЩЕНИЙ ВДОЛЬ КОНТУРА ПОПЕРЕЧНОГО СЕЧЕНИЯ ПИРАМИДАЛЬНОЙ ОБОЛОЧКИ

Кузнецов О.Р., Стародубова К.Б.

СГТУ, г. Саратов, Россия

Полное смещение произвольной точки срединной поверхности (i, j) -й пластинки в осях базисов $\bar{k}$, $\bar{m}_s$, $\bar{n}^0$; $\bar{n}_s$, $\bar{m}_s$, $\bar{n}$ и $\bar{i}$, $\bar{j}$, $\bar{k}$ представим в виде

$$\begin{aligned}\bar{\Omega}_1(z_{ij}, s_{ij}) &= u_{ij}^* \bar{k} + v_{ij} \bar{m}_s + w_{ij}^* \bar{n}^0, \\ \bar{\Omega}_2(z_{ij}, s_{ij}) &= u_{ij} \bar{n}_s + v_{ij} \bar{m}_s + w_{ij} \bar{n}, \\ \bar{\Omega}_3(\bar{z}, \bar{s}) &= V_x(\bar{z}) \bar{i} + V_y(\bar{z}) \bar{j} + [\bar{r}_{ij}(z, s) \times \bar{\theta}(z)] + u_{ij}^* \bar{k},\end{aligned}\tag{1}$$

где функции v_{ij} , w_{ij}^* задают смещение точки контура в плоскости поперечного сечения оболочки; функции v_{ij} , w_{ij} задают смещение точек контура в плоскости поперечного сечения пластинки (i, j) ; функции u_{ij} , v_{ij} задают смещение точек контура в плоскостях (i, j) пластинки.

Первые три слагаемые для $\bar{\Omega}_3$, задают перемещения точек контура в плоскости XY , которые определяются смещением произвольного полюса, жестко связанного с телом, и его поворотом на некоторый угол относительно этого полюса. За полюс принимается начало координат; $\bar{\theta}(z) = \bar{k} \theta(z)$, где $\theta(z)$ – угол поворота сечения оболочки относительно оси OZ . За положительное направление угла поворота принят поворот по часовой стрелке при взгляде с конца оси OZ . Индекс вектора смещения $\bar{\Omega}$ определяет форму его представления. Выразим v_{ij} , w_{ij}^* , u_{ij} , w_{ij} через искомые обобщенные перемещения

V_x , V_y , $\theta(\bar{z})$, u_{ij}^* . Учитывая, что $\bar{\Omega}_1 = \bar{\Omega}_2 = \bar{\Omega}_3$, получим

$$\begin{aligned}v_{ij}(\bar{z}) &= \bar{\Omega}_1 \cdot \bar{m}_s = \bar{\Omega}_3 \cdot \bar{m}_s = V_x(\bar{z})(\bar{i} \cdot \bar{m}_s) + V_y(\bar{z})(\bar{j} \cdot \bar{m}_s) + \theta[\bar{r}_{ij} \times \bar{k}] \cdot \bar{m}_s = \\ &= V_x \cos \psi_{ij} + V_y \sin \psi_{ij} + \theta(\bar{z}) h_{ij}(\bar{z}), \\ w_{ij}^*(\bar{z}) &= \bar{\Omega}_1 \cdot \bar{n}^0 = \bar{\Omega}_3 \cdot \bar{n}^0 = V_x(\bar{z})(\bar{i} \cdot \bar{n}^0) + V_y(\bar{z})(\bar{j} \cdot \bar{n}^0) + \theta[\bar{r}_{ij} \times \bar{k}] \cdot \bar{n}^0 = \\ &= -V_x \sin \psi_{ij} + V_y \cos \psi_{ij} - \theta(z) q_{ij}(\bar{z}, s_{ij}).\end{aligned}\tag{2}$$

В выражении (2) учтено, что

$$\begin{aligned}[\bar{r}_{ij} \times \bar{k}] \cdot \bar{m}_s &= [\bar{k} \times \bar{m}_s] \cdot \bar{r}_{ij} = \bar{n}^0 \cdot \bar{r}_{ij} = h_{ij}, \\ [\bar{r}_{ij} \times \bar{k}] \cdot \bar{n}^0 &= [\bar{k} \times \bar{n}^0] \cdot \bar{r}_{ij} = -\bar{m}_s \cdot \bar{r}_{ij} = -q_{ij}.\end{aligned}$$

ВЫРАЖЕНИЕ ДЛЯ КОМПОНЕНТОВ ВЕКТОРА ПРОДОЛЬНЫХ ПЕРЕМЕЩЕНИЙ ТОЧЕК КОНТУРА ПИРАМИДАЛЬНОЙ ОБОЛОЧКИ

Кузнецов О.Р., Торяникова Л.С.
СГТУ, г. Саратов, Россия

В основу дальнейших рассуждений положены соотношения:

$$\begin{aligned} u_{ij} &= \overline{\Omega}_2 \cdot \overline{n}_s = \overline{\Omega}_1 \cdot \overline{n}_s = u_{ij}^* \cos \gamma_{ij} - w_{ij}^* \sin \gamma_{ij}, \\ w_{ij} &= \overline{\Omega}_2 \cdot \overline{n} = \overline{\Omega}_1 \cdot \overline{n}_s = u_{ij}^* \sin \gamma_{ij} + w_{ij}^* \cos \gamma_{ij}. \end{aligned} \quad (1)$$

Аналогично

$$\begin{aligned} u_{ij}^* &= \overline{\Omega}_1 \overline{k} = \overline{\Omega}_2 \overline{k} = u_{ij} \cos \gamma_{ij} + w_{ij} \sin \gamma_{ij}, \\ w_{ij}^* &= \overline{\Omega}_1 \overline{n}^0 = \overline{\Omega}_2 \overline{n}^0 = -u_{ij} \sin \gamma_{ij} + w_{ij} \cos \gamma_{ij}. \end{aligned} \quad (2)$$

Из выражений (2) следует

$$\begin{aligned} w_{ij} &= u_{ij} \operatorname{tg} \gamma_{ij} + w_{ij}^* / \cos \gamma_{ij}, \\ u_{ij}^* &= u_{ij} / \cos \gamma_{ij} + w_{ij}^* \operatorname{tg} \gamma_{ij}. \end{aligned} \quad (3)$$

Зависимость между компонентами вектора перемещений u_{ij}^* , w_{ij}^* через u_{ij} , w_{ij} можно получить, подставляя в $\overline{\Omega}_1(z_{ij}, s_{ij}) = u_{ij}^* \overline{k} + v_{ij} \overline{m}_s + w_{ij}^* \overline{n}^0$, $\overline{\Omega}_2(z_{ij}, s_{ij}) = u_{ij} \overline{n}_s + v_{ij} \overline{m}_s + w_{ij} \overline{n}$, выражения для $\overline{n}_s$ и $\overline{n}$ и приравнявая соответствующие компоненты. Тогда

$$\begin{aligned} \overline{\Omega}_2 &= u_{ij} (\overline{k} \cos \gamma_{ij} - \overline{n}^0 \sin \gamma_{ij}) + v_{ij} \overline{m}_s + w_{ij} (\overline{n}^0 \cos \gamma_{ij} + \overline{k} \sin \gamma_{ij}) = \\ &= \overline{k} (u_{ij} \cos \gamma_{ij} + w_{ij} \sin \gamma_{ij}) + v_{ij} \overline{m}_s + \overline{n}^0 (w_{ij} \cos \gamma_{ij} - u_{ij} \sin \gamma_{ij}) = \overline{\Omega}_1 \end{aligned}$$

Соотношения (3) имеют следующую геометрическую иллюстрацию. Введем следующие обозначения

$$\begin{aligned} \overline{\Omega}_{01} &= u_{ij}^* \overline{k} + w_{ij}^* \overline{n}^0, \quad \overline{\Omega}_{02} = u_{ij} \overline{n}_s + w_{ij} \overline{n}, \\ \overline{\Omega}_1 &= \overline{\Omega}_{01} + v_{ij} \cdot \overline{m}_s, \quad \overline{\Omega}_2 = \overline{\Omega}_{02} + v_{ij} \cdot \overline{m}_s, \quad \overline{\Omega}_{01} = \overline{\Omega}_{02}. \end{aligned}$$

Вектора $\overline{\Omega}_{01}$, $\overline{\Omega}_{02}$ задают смещение точек контура в плоскости $\overline{k}$, $\overline{n}^0$ (рис. 1).

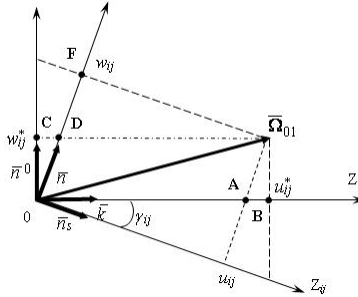


Рис. 1

Из построения следует, что $AB = CD$.

$$u_{ij}^* = OA + AB = \frac{u_{ij}}{\cos \gamma_{ij}} + CD \Rightarrow u_{ij}^* = \frac{u_{ij}}{\cos \gamma_{ij}} + w_{ij}^* \tan \gamma_{ij};$$

$$w_{ij} = OD + DF = \frac{w_{ij}^*}{\cos \gamma_{ij}} + u_{ij} \tan \gamma_{ij}.$$

Найдем проекцию вектора перемещений $\bar{\Omega}_2(z_{ij}, s_{1ij})$, $\bar{\Omega}_2(z_{ij}, s_{2ij})$ точек ребер (i, j) -й пластинки на направление этих ребер (орт $\bar{m}_z$). Эти проекции обозначим соответственно через u_i^0 , u_j^0 . С учетом введенных обозначений, выражения для u_i^0 , u_j^0 имеют вид:

$$\begin{aligned} u_i^0 &= u_i^0(z_{ij}) = \bar{\Omega}_2(z_{ij}, s_{1ij}) \cdot \bar{m}_z = (u_{1ij} \bar{n}_s + v_{ij} \bar{m}_s + w_{ij} \bar{n}) \bar{m}_z = \\ &= u_{1ij} \sin \chi_i + v_{ij} \cos \chi_i = u_{ij}^*(s_{1ij}) \cos \gamma_{ij} \sin \chi_i - w_{ij}^*(s_{1ij}) \sin \gamma_{ij} \sin \chi_i + v_{ij} \cos \chi_i, \\ u_j^0 &= u_j^0(z_{ij}) = \bar{\Omega}_2(z_{ij}, s_{2ij}) \cdot \bar{m}_z = (u_{2ij} \bar{n}_s + v_{ij} \bar{m}_s + w_{ij} \bar{n}) \bar{m}_z = \\ &= u_{2ij} \sin \chi_j + v_{ij} \cos \chi_j. \end{aligned}$$

ДОЛГОВЕЧНОСТЬ ГИБКИХ НЕЛИНЕЙНО УПРУГИХ ПЛАСТИНОК СЛОЖНОЙ ФОРМЫ

Курилко О.Ю.
СГТУ, г. Саратов, Россия

Рассмотрим крестообразные пластинки из композитного бетона с характеристиками $E_0 = 5088,1$ (МПа), $\sigma_{i_e} = 102$ (МПа), $\varepsilon_{i_e} = 0,03$, нагруженные равномерно-

ным поперечным давлением $q = \text{const}$ и подверженные двустороннему действию агрессивной среды. Выражение связи приращений компонентов девиатора тензора напряжений ΔD_σ с приращениями девиатора тензора деформаций ΔD_ϵ имеет вид $\Delta D_\sigma = (2/3)[E_k \Delta D_\epsilon F(B) + E_c D_\epsilon F'(B) \Delta B]$, где $E_k = d\sigma_i / d\epsilon_i$ и $E_c = \sigma_i / \epsilon_i$ – соответственно касательный и секущий модули, $F(B)$ – функция деградации секущего модуля, B – концентрация агрессивной среды в точке материала. Алгоритм расчёта включает использование метода конечных разностей (МКР) с сетками от 16×16 до 64×64 при использовании методики ввода двойных законтурных точек [1] за входящими углами пластинок. На первом этапе расчёта проводим пошаговое нагружения пластинок поперечной нагрузкой с использованием двухшагового метода последовательного возмущения параметров В.В. Петрова (ДМПВП), на втором этапе решения считаем, что $q = \text{const}$, а изменение НДС пластинок определяется деградацией свойств их материала при последовательном двустороннем увеличении толщины пораженного слоя на величину $\Delta \delta = h / 256$. Время воздействия агрессивной среды определяем по формуле $t = (\delta(t) / \alpha)^2$, где экспериментальный коэффициент α (мм/год^{0.5}) определяется для конкретной пары «материал пластинки – агрессивная среда». Для всех возможных случаев закрепления пластинок на контуре получено, что их долговечность, определяемая по методу ДМПВП, практически совпадает с долговечностью, подсчитанной с использованием итерационного метода Ньютона-Канторовича. Выявлено усложнение распределения параметров НДС пластинок крестообразной формы по сравнению с квадратными пластинками, причем эффект усложнения возрастает с уменьшением соотношения ширины стороны пластинки к ее габариту. При этом установлено, что величины параметров НДС пластинок на сетке МКР 32×32 достаточно близки к параметрам на сетке МКР 64×64 .

Библиографический список

1. Петров, В.В. Расчёт пластинок сложной формы из нелинейно-упругого материала / В.В. Петров, И.В. Кривошеин // Механика деформируемых сред: межвуз. науч. сб. – Саратов: СГУ, 2002. – С. 99-105.

ПРИМЕНЕНИЕМ ВТОРИЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ И ОТХОДОВ ПРОМЫШЛЕННОСТИ В ТЕХНОЛОГИИ БЕТОНА

Ларсен О.А.

МГСУ, г. Москва, Россия

Президентом Российской Федерации В.В.Путиным 13-го июля 2013 года объявлен Год охраны окружающей среды (Указ Президента Российской Федерации от 10.08.2012 № 1157).

Одним из основных мероприятий по охране окружающей среды является утилизация опасных промышленных отходов, привлечение внимания гражданского общества и бизнес сообщества к проблемам охраны окружающей среды и повышение экологической культуры.

В нашей стране ежегодно образуется около 7 млрд. тонн промышленных и бытовых отходов, из которых только некоторая часть используется повторно. Применение вторичного сырья позволит решить вопросы утилизации, сэкономить значительное количество топлива и энергии, сохранить природные ресурсы, снизить уровень выбросов углекислого газа в атмосферу.

Бетон является одним из самых востребованных во всём мире конструкционным строительным материалом. Существует понятие «Green concrete (зеленого бетона)», которое применяется к бетонам, изготовленным с применением вторичных материалов и отходов промышленности. В этом случае устраняется необходимость в организации карьеров для добычи полезных ископаемых и не образуются отвалы из отходов вблизи завода-изготовителя.

Технология такого бетона постоянно совершенствуется и развивается, а также расширяется номенклатура материалов, возможных к использованию в них.

В настоящее время к материалам, вторично переработанным и успешно применяемым в бетонах, можно отнести бетонный лом, кирпичный бой, пыль цементных заводов, стекольный бой возвратный и вторичный, измельченные и неизмельченные автомобильные шины, шлаки и золы.

Основной проблемой для широкого использования отходов в строительной отрасли является сложность в применении специального оборудования для их переработки.

Библиографический список

1. Баженов, Ю.М. Модифицированные высококачественные бетоны / Ю.М.Баженов, В.С. Демьянова, В.И. Калашников. – М.: АСВ, 2006. – 369 с.
2. Meyer, C. Concrete with Waste Glass as Aggregate / C. Meyer, N. Egosi // Proceedings of the International Symposium Concrete Technology Unit of ASCE and University of Dundee, March 19-20, 2001.

ПОТЕНЦИАЛЬНАЯ СВЯЗЬ ДЕФОРМАЦИЙ И НАПРЯЖЕНИЙ ДЛЯ НЕЛИНЕЙНЫХ ОРТОТРОПНЫХ РАЗНОСОПРОТИВЛЯЮЩИХСЯ МАТЕРИАЛОВ

Лисицкий В.С., Трещёв А.А.
ТулГУ, г. Тула, Россия

Определяющие соотношения для нелинейно ортотропных материалов можно представить не только в виде прямой связи тензоров деформаций и напряжений, но и через потенциал деформаций:

$$W = W_1 + W_2 + W_3 + \dots, \quad (1)$$

где $W_n = W(\sigma_{11}, \sigma_{22}, \sigma_{33}, \tau_{12}\tau_{21}, \tau_{23}\tau_{32}, \tau_{31}\tau_{13}, \tau_{12}\tau_{23}\tau_{31})$ – однородный многочлен степени $n + 1$ по напряжениям.

Так, для физически квазилинейных материалов имеем:

$$W_1 = A_1\sigma_{11}^2 + A_2\sigma_{22}^2 + A_3\sigma_{33}^2 + A_4\sigma_{11}\sigma_{22} + A_5\sigma_{22}\sigma_{33} + A_6\sigma_{33}\sigma_{11} + A_7\tau_{12}\tau_{21} + A_8\tau_{23}\tau_{32} + A_9\tau_{31}\tau_{13}$$

(2)

Число слагаемых в разложении (1) с ростом n увеличивается. Для $n = 2$:

$$W_2 = B_1\sigma_{11}^3 + B_2\sigma_{22}^3 + B_3\sigma_{33}^3 + B_4\sigma_{11}^2\sigma_{22} + B_5\sigma_{11}\sigma_{22}^2 + B_6\sigma_{22}^2\sigma_{33} + B_7\sigma_{22}\sigma_{33}^2 + B_8\sigma_{33}^2\sigma_{11} + B_9\sigma_{33}\sigma_{11}^2 + B_{10}\sigma_{11}\sigma_{22}\sigma_{33} + B_{11}\sigma_{11}\tau_{12}^2 + B_{12}\sigma_{11}\tau_{23}^2 + B_{13}\sigma_{11}\tau_{31}^2 + B_{14}\sigma_{22}\tau_{12}^2 + B_{15}\sigma_{22}\tau_{23}^2 + B_{16}\sigma_{22}\tau_{31}^2 + B_{17}\sigma_{33}\tau_{12}^2 + B_{18}\sigma_{33}\tau_{23}^2 + B_{19}\sigma_{33}\tau_{31}^2 + B_{20}\tau_{12}\tau_{13}\tau_{23}. \quad (3)$$

При $n = 3$ число слагаемых достигает уже 42.

Коэффициенты, входящие в разложение (1), являются параметрами материала, которые зависят от вида напряженного состояния и подлежат экспериментальному определению.

Уравнения связи компонентов тензоров деформаций и напряжений для нелинейно ортотропных материалов могут быть определены в главных осях анизотропии на основе потенциала деформаций (1)–(3) в соответствии с формулами Кастильяно:

$$e_{ij} = \frac{\partial W}{\partial \sigma_{ij}}, \quad i, j = 1, 2, 3$$

Константы потенциала деформаций определяются по результатам обработки данных испытания образцов ортотропного материала на одноосное растяжение и одноосное сжатие поочередно вдоль главных осей анизотропии и под углом 45° к ним.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ЗАЩИТНЫХ УСТРОЙСТВ ДЛЯ УМЕНЬШЕНИЯ КОЛЕБАНИЙ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ

Марчук Н.И., Палагушкин В.И., Прасоленко Е.В.
ИСИ ФГАОУ ВПО СФУ, г. Красноярск, Россия

Снижение колебаний на здания и сооружения может быть достигнуто обеспечением сооружений различными защитными устройствами, препятствующими передаче колебаний, снижающих динамическое или сейсмическое воздействие на всю систему «здание – фундамент – основание», которые способствуют изменению частот колебаний грунтового основания под фундаментом здания или сооружения, а значит НДС в элементах здания.

Рассматриваются подходы по снижению колебаний зданий и сооружений, расположенных на слабых грунтах с помощью внешних защитных устройств в виде скользящего слоя, располагающегося между основанием и фундаментом и применением защитных устройств в виде жестких включений в грунтовое основание под зданием.

Пространственная фундаментная платформа (ПФП) на скользящем слое предполагает, что сейсмоизоляция в виде скользящего слоя выполнена между основанием и сплошной пространственной фундаментной платформой так, что сохраняется целостность системы «здание – фундамент». Снижение трения при этом позволяет динамическому воздействию или сейсмической волне «проскальзывать» под фундаментной платформой, а объединение верхнего строения с фундаментной платформой в цельную пространственную многосвязную замкнутую систему позволяет повысить ее сейсмостойкость при различных динамических и сейсмических воздействиях: крутильных, несимметричных, вертикальных и др.

При использовании защитных устройств в виде жестких включений в грунтовое основание, в определенных местах грунтового основания под верхнее строение либо под источник возмущений (колебаний) размещается искусственный подстилающий слой из жесткого материала (жесткое включение, например, в виде бетонных блоков), наличие которого будет изменять частоту колебаний слоев грунтового основания, передающих колебания, а значит перемещения и усилия на верхнее строение.

Для анализа эффективности рассматриваемых защитных устройств была выбрана модель 5-ти этажного каркасного здания, расчётная схема которого принималась в виде пространственной рамы с узловыми сосредоточенными массами на ПФП, расположенного на массиве грунта (грунт III категории), нагруженная горизонтальной и вертикальной динамическими нагрузками $P_{(t)} = P_0 \cdot \sin(\theta t)$, приложенными в узлах верхнего слоя грунтового основания. Расчёты выполнялись по ПК SCAD Office с учетом упругих свойств грунтового основания по пространственной модели упругого невесомого полупространства.

РАСЧЕТНЫЕ КОМПЛЕКСЫ В ТРАНСПОРТНОМ СТРОИТЕЛЬСТВЕ

Матросов Д.В., Раткин В.В., Черных В.К.
СГТУ, г. Саратов, Россия

Современные транспортные сооружения требуют наиболее точных расчётов, так как с каждым годом всё больше и больше повышается нагрузка на сооружения. Также ведётся активное строительство в экстремальных условиях. В связи с этим, невозможно представить современные расчёты без компьютерной техники.

Существует ряд программных комплексов для этих целей:

- Лира САПР;

- ANSYS;
- SCAD;
- Midas Civil и др.

Многофункциональный программный комплекс Лира-САПР, предназначен для проектирования и расчёта строительных и машиностроительных конструкций различного назначения (программа расчёта конструкций). Расчёт выполняется на статические (силовые и деформационные) и динамические воздействия. Выполняется подбор или проверка сечений стальных и железобетонных конструкций. Выдаются эскизы рабочих чертежей КМ и отдельных ж.б. элементов. Преимущество Леры заключается в скорости работы и в более удобном интерфейсе, что является большим плюсом для тех, кто первый раз садится за работу в этой программе.

SCAD включает развитую библиотеку конечных элементов для моделирования стержневых, пластинчатых, твердотельных и комбинированных конструкций, модули анализа устойчивости, формирования расчётных сочетаний усилий, проверки напряженного состояния элементов конструкций по различным теориям прочности, определения усилий взаимодействия фрагмента с остальной конструкцией, вычисления усилий и перемещений от комбинаций нагрузок. К плюсам программы SCAD можно отнести, большой объём вычислительной работы.

ANSYS – универсальная программная система конечно-элементного анализа, существующая и развивающаяся на протяжении последних 30 лет, является довольно популярной у специалистов в сфере автоматизированных инженерных расчётов. Решает линейные и нелинейные, стационарные и нестационарные пространственные задачи механики деформируемого твёрдого тела и механики конструкций, задачи механики жидкости и газа, теплопередачи и теплообмена, электродинамики, акустики, а также механики связанных полей.

Midas Civil – программный комплекс, предназначенный для расчёта и проектирования мостов и транспортных сооружений. На сегодняшний день является одним из лидеров среди программных комплексов, специализирующихся на расчёте мостов.

АНАЛИЗ СОВРЕМЕННЫХ СИСТЕМ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ ДЛЯ РАСЧЕТА МОСТОВ

Матросов Д.В., Черных В.К., Раткин В.В.
СГТУ, г. Саратов, РФ

В современном мире наблюдается тенденция огромного роста нагрузок на строительные конструкции. В гражданском строительстве это связано с увеличением этажности зданий, с их технологичностью, а также строительством в экстремальных условиях. В транспортном строительстве также наблюдается рост нагрузок в связи с увеличением количества транспорта, со стремлением

возводить большие по габаритам сооружения, с экстремальностью условий. В связи с этим повышаются требования к проектным работам. Уже недостаточно тех ручных расчётов, которые производились раньше. Типовые проекты прошлых лет не удовлетворяют современным требованиям, т.к. большинство новых и планируемых сооружений являются уникальными в своем роде.

Существует ряд программных комплексов, которые в работе проектировщика играют ключевую роль. В первую очередь, это конечно универсальная программа инженерной графики – AutoCAD. Ни одна организация, ни одно промышленное предприятие, ни один строительный ВУЗ не может обойтись без этого комплекса. Все чертежи, вся рабочая, проектная документация выполняются в этой программе. На данный момент в своей сфере она лидирует.

Что касается расчётов, то здесь существует целый ряд программ и программных комплексов, основанных на МКЭ – математическом методе конечных элементов. От самых простеньких бесплатных программ, выполняющих небольшие расчёты балок на двух опорах и построения эпюр, до сложных в освоении и дорогих программных комплексов, с помощью которых рассчитываются грандиозные сооружения (такие, как олимпийские объекты, например).

Наиболее популярные САПР имеют один общий недостаток: дороговизна. Крупные организации могут себе позволить приобретать данные программы, в то время как малые предприятия подобной «роскоши» себе позволить не могут. Данное обстоятельство несколько притормаживает проектную деятельность и несет в себе такие недостатки, как вынужденное использование проектировщиками нелегальных копий программ, либо демо-версий, что может исказить результат расчётов. Также учебные и научные заведения подчас не могут приобрести нужное количество данных программ, что также отрицательно сказывается на воспитании будущих специалистов.

Другой недостаток относится к расчётным комплексам: все они основаны на методе конечных элементов. Данный метод очень популярен, но он не является единственным в вопросах расчёта конструкций. Использование других методов в основе программ позволило бы производить проверку расчётов, а также иметь более полное представление в каком-то конкретном вопросе.

Еще один недостаток: адаптация к российским нормам. Заложенные сортаменты подчас не подходят к отечественному строительству, имеются расхождения, которые впоследствии могут сказаться на расчёте.

Анализируя все эти вопросы, можно прийти к выводу, что большое изобилие программ и их возможностей не является конечным результатом, и вопрос, связанный с САПР, на сегодняшний день остается открытым и актуальным.

ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ ФИБРОПЕНОБЕТОНА В БАЛКАХ, АРМИРОВАННЫХ МЕТАЛЛИЧЕСКИМИ КАРКАСАМИ

Моргун Л.В., Кадомцева Е.Э.
РГСУ, г. Ростов-на-Дону, Россия

Потребность в индустриальных строительных изделиях из ячеистых бетонов чрезвычайно велика. Однако низкая прочность таких материалов при растяжении и изгибе ограничивает возможность применения традиционно изготавливаемых пено- или газобетонов для изготовления энергосберегающих конструкций, подвергающихся вышеперечисленным видам эксплуатационных воздействий. Дисперсное армирование пенобетонов волокнами не только практически исключает перечисленные выше недостатки ячеистых бетонов, но и создает предпосылки для развития новых методов проектирования конструкций из таких бетонов.

В работе рассмотрены:

- балка прямоугольного поперечного сечения, произвольно опертая и произвольно нагруженная внешними силами, изготовленная из фибропенобетона средней плотности 1000 кг/м³ класса по прочности В4 и армированная арматурным каркасом;

- балка прямоугольного поперечного сечения, произвольно опертая и произвольно нагруженная внешними силами, изготовленная из бетона литой структуры средней плотности 2300 кг/м³ класса по прочности В15 и армированная идентичным предыдущему арматурным каркасом.

Получены формулы максимальных нормальных растягивающих и сжимающих напряжений для балок прямоугольного поперечного сечения.

Численные исследования показали, что для фибропенобетона максимальное нормальное напряжение на сжатие больше максимального напряжения на растяжение в $\sqrt{k}$ раз, где $k = \frac{E_{6-}}{E_{6+}}$. Также проведено исследование влияния расположения и числа арматурных стержней на напряжённое состояние балки. Максимальное нормальное напряжение на сжатие с учётом бимодульности всегда меньше, чем максимальное нормальное напряжение на сжатие при предположении, что модули на растяжение и сжатие равны.

Величины нормальных напряжений, полученные экспериментально, отличаются от величин нормальных напряжений, посчитанных без учёта бимодульности заполнителя, отличаются на 18%.

Выводы: учёт различий в модулях упругости на растяжение и сжатие при определении нормальных напряжений по формулам даёт гораздо более точное приближение к экспериментальным данным, чем без учёта бимодульности материала.

ВЫБОР БАШЕННЫХ КРАНОВ С УЧЕТОМ КРИТЕРИЕВ БЕЗОПАСНОСТИ И УСТОЙЧИВОСТИ

Мосаков Б.С., Крашенинников Д.Д.
СГУПС, г. Новосибирск, Россия

В настоящее время по вопросу определения параметров башенных кранов существует немалое количество пособий, методик и практических рекомендаций. Все они достаточно хорошо проработаны своими авторами, однако работа с ними затруднена, так как они разрознены по различным учебным, справочным и нормативным изданиям. В данной статье мной предложен краткий обзор выбора основных и дополнительных критериев башенных кранов, а также ряд предложений, которые могут быть рассмотрены критически.

К основным параметрам башенных кранов, связанных с параметрами возводимых зданий и сооружений, следует относить грузовой момент, вылет стрелы, грузоподъемность и высоту подъема крюка. Наиболее полно характеризует параметры кранов грузовой момент. По этому показателю строятся многочисленные ряды башенных кранов.

К дополнительным параметрам, определяющим технический уровень кранов, следует отнести скорость рабочих движений, колею, задний габарит, конструктивную массу.

Под грузоподъемностью крана понимается максимально допустимая масса рабочего груза, поднимаемого краном на данном вылете. Грузовой момент соответствует произведению вылета грузозахватного органа и соответствующей ему грузоподъемности крана.

Четкое определение понятия грузоподъемности имеет большое значение, так как в ряде стран (США, Англия и др.) в грузоподъемность включают массу крюковой подвески и массу канатов грузового полиспаста. Это позволяет зарубежным фирмам в ряде случаев повышать формально паспортную грузоподъемность на 10% и более.

Таким образом, нечеткость в определении понятия грузоподъемности может приводить к общему завышению грузоподъемности зарубежных кранов на 20% и как следствие, к соответственному снижению их металлоемкости.

Кроме того, проведенный анализ технологических параметров башенных кранов показал целесообразность повсеместного учета наряду с базовыми параметрами крана дополнительных параметров, к которым относятся: скорость рабочих движений, колея, задний габарит, конструктивная масса, глубина опускания груза, диапазон подъема. При проектировании новых кранов, а также при выборе грузоподъемной машины для конкретной строительной площадки учет этих критериев, полагаю, существенно снизил бы экономические затраты механизации строительства. В связи с этим, считаю, что данная тематика требует дополнительных исследований.

ПРОГНОЗ КОЭФФИЦИЕНТА ВАРИАЦИИ ЭКВИВАЛЕНТНОГО МОДУЛЯ УПРУГОСТИ

Москалев О.Ю., Малышев Е.Ю.

СГТУ, г. Саратов, Россия

Известно, что однородность дорожных одежд как основа повышения качества автомобильных дорог оценивается коэффициентом вариации эквивалентного модуля упругости. В работах проф. Семенова В.А. снижение однородности дорожных одежд во времени учтено эмпирической величиной 0,023, характеризующей уменьшение эквивалентного модуля упругости во времени только для условий Западной Сибири.

В дальнейшем в работах проф. Столярова В.В. и проф. Кокодеевой Н.Е. было установлено, что снижение во времени коэффициента вариации эквивалентного модуля упругости обусловлено влиянием величины подвижной нагрузки и ее коэффициента вариации, а также влажностью рабочего слоя земляного полотна в расчётный период года. Проведенные исследования влияния влажности грунта на качественное состояние дорожных одежд позволили прогнозировать величину коэффициента вариации эквивалентного модуля упругости в зависимости от величины коэффициента вариации требуемого модуля упругости, капитальности дорожной одежды и влажности рабочего (активного) слоя земляного полотна в весенний период года. К сожалению, данный подход к определению коэффициента вариации эквивалентного модуля упругости не учитывал наличие в дорожной конструкции слоев, армированных геосинтетическими материалами, в частности геоячейками.

Учет в дорожной одежде нежесткого типа конструктивного слоя, армированного геоячейками, стал возможен с момента разработки ОДМ 218.3.032-2013 «Методические рекомендации по усилению конструктивных элементов автомобильных дорог пространственными георешетками (геосотами)» с учетом коэффициента армирования (усиления), характеризующего увеличение модуля упругости конструктивного слоя дорожной одежды, армированной геоячейками, и представляющего собой отношение модуля упругости конструктивного слоя, армированного геоячейками, и определяемого по ОДМ 218.3.032-2013, к модулю упругости конструктивного слоя, неармированного геоячейками, и определяемого по ОДН 218.046-01 «Проектирование нежестких дорожных одежд». В результате проведенных исследований, была получена возможность прогнозировать коэффициент вариации эквивалентного модуля упругости для дорожных одежд, содержащих конструктивные слои, армированные геоячейками, а также устанавливать их сроки службы, с учетом коэффициента армирования.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ НЕСУЩЕЙ СПОСОБНОСТИ ВНЕЦЕНТРЕННО СЖАТЫХ ТОНКОСТЕННЫХ ХОЛОДНОГНУТЫХ ОЦИНКОВАННЫХ СТЕРЖНЕЙ

Нехаев Г.А., Захарова И.А.

ТулГУ, г. Тула, Россия

Тонкостенные холодногнутые стержни открытого поперечного сечения имеют, по крайней мере, три полноправных формы потери устойчивости: локальную, в виде искажения сечения, и общую (изгибную, изгибно-крутильную) и, соответственно им, три значения критических напряжений. Эти формы потери устойчивости стержня при различных соотношениях между длиной и размерами элементов поперечного сечения могут проявляться либо индивидуально, либо во взаимодействии между собой. Критические напряжения, соответствующие формам потери устойчивости, определяют несущую способность стержня.

Внецентренное сжатие является основным видом нагружения рассматриваемых стержней.

В соответствии с СТБ ЕН 193-1-1 несущая способность внецентренно сжатого стержня определяется по достаточно сложной формуле с коэффициентами, правила вычисления которых различаются не только в разных национальных редакциях, но и в пределах одной и той же редакции.

В настоящее время обсуждается проект правил (СП) «Конструкции стальные тонкостенные из холодногнутых оцинкованных профилей и гофрированных листов» в виде дополнения к СП 16.13330. В этом проекте (СП) предлагается методика расчёта на устойчивость внецентренно сжатых элементов по СП 16.13330. При этом определение редуцированных геометрических характеристик поперечных сечений стержней предлагается выполнять по методике Еврокода 3. Для каждого типа конструктивных элементов требуется выполнять проверку несущей способности с учетом редуцированных характеристик сечений по первому и второму предельным состояниям.

Однако, следует признать, что процедура определения эффективных поперечных сечений рассматриваемых стержней чрезвычайно громоздка и сложна. Поэтому в проекте (СП) изложены требования к программному обеспечению и методам расчёта с использованием информационно-коммуникационных технологий. Следует заметить, что разработка программного обеспечения потребует времени для исполнения и не решит проблему применения методики расчёта конструкций из ЛСТК для рядового проектирования. С помощью программного обеспечения расчётов ЛСТК необходимо дополнить СП (проект) таблицами коэффициентов и параметров, характеризующих напряженно

деформированное состояние стержней в упругой и упруго-пластической стадиях работы. К тому же СП 16.13330 не позволяет производить расчёты на внецентренное сжатие стержней ЛСТК некоторых форм поперечных сечений. Поэтому в настоящее время определение несущей способности внецентренно сжатых (да и центрально сжатых и изгибаемых) стержней из ЛСТК возможно лишь приближенно и весьма осторожно.

УЧЕТ МИКРОНАРУШЕНИЯ СПЛОШНОСТИ МАТЕРИАЛА ПРИ ОЦЕНКЕ ПРОЧНОСТИ ЭЛЕМЕНТОВ КОНСТРУКЦИЙ

Никонов П.И., Тутышкин Н.Д.
ТулГУ, г. Тула, Россия

При современной оценке прочности элементов конструкций большую роль играет учет микронарушений сплошности материала. Микронарушения сплошности можно разделить на два основных типа – это поврежденность хрупких упругих материалов и поврежденность вязких упругопластических материалов за пределом упругости.

Основными типами экспериментов по исследованию разрушения являются растяжение, сжатие и сдвиг в квазистатической постановке и соударение пластин (стержней) в динамической постановке. При сдвиге происходит значительный локальный разогрев, приводящий к термическому разупрочнению материала. В полосах сдвига микротрещины и микропоры сливаются в одну полосу адиабатического сдвига, по которой в дальнейшем может происходить разрушение материала. Полосы локализации могут наблюдаться не только в пластических, но и в хрупких материалах.

Другим типом экспериментов является разрушение отколом при соударении пластин. Для пластических материалов в экспериментах наблюдается вязкий откол с образованием сферических пор вследствие всестороннего растяжения. Для разрушения требуется достаточная скорость соударения и продолжительность растягивающего импульса, чтобы механизм зарождения, роста и слияния микропор привел бы к образованию трещины.

Континуальный подход к описанию процессов разрушения предполагает построение теоретических моделей сплошной среды, описывающих разрушение как процесс на основе единых уравнений для деформирования разрушенного и неразрушенного состояний материала. Этот подход описывает появление и развитие поверхностей и зон разрушения без явного их выделения. В большинстве моделей поврежденности деформация и континуальное разрушение описываются как единый процесс, то есть тело разрушается в результате своего деформирования.

ВЕРОЯТНОСТНЫЙ ПОДХОД К ОЦЕНКЕ ШУМА ОТ ТРАНСПОРТНОГО ПОТОКА

Никулушкин А.А., Кокодеева Н.Е.

СГТУ, г. Саратов, Россия

Шум от транспортного потока является одним из наиболее опасных загрязнений окружающей среды. В России более 30 млн. человек проживает в условиях шумового дискомфорта и испытывает воздействие шума более 65 дБА, в то время как предельно допустимый уровень шума для территории, непосредственно прилегающей к жилым домам, равен 55 дБА. Мероприятия по снижению шума от транспортного потока, в большинстве случаев, базируются на детерминированном подходе, на основе только средних показателей шумовой характеристик без учета их средних квадратических отклонений и коэффициентов вариации. В связи с этим предлагается опираться на вероятностно-статистические методы оценки шумовой характеристики, что позволит более точно прогнозировать уровень шумового загрязнения и рационально назначать мероприятия по его снижению.

Для обоснования закона распределения шумовой характеристики от транспортного потока были проведены экспериментальные исследования на улицах г. Саратова; выполнена статистическая обработка фактических уровней шума; проведено сравнение эмпирического распределения с теоретическим по критериям Пирсона и Романовского. Установлено отличное соответствие фактической кривой распределения шумовой характеристики закону нормального распределения, что позволило использовать теорию риска, предложенную профессором Столяровым В.В., при исследовании вероятностной сущности шумовой характеристики от транспортного потока. Была произведена оценка и прогноз вероятности возникновения шумового загрязнения от транспортного потока и назначены необходимые мероприятия для смягчения шумового воздействия на окружающую среду.

Предложенный вероятностный подход по расчёту шумовой характеристики на основе теории риска отвечает требованиям Федерального закона №184-ФЗ «О техническом регулировании», основными критериями которого являются безопасность продукции и допустимый риск причинения вреда человеку, окружающей среде и имуществу любой формы собственности. Предложенный вероятностный подход рекомендуется использовать при разработке нормативных документов, а именно технических регламентов (обязательный характер), национальных стандартов и стандартов организаций (добровольный характер) с целью создания в Российской Федерации, такой системы технического регулирования, которая позволит нашей стране быть конкурентоспособной на мировом рынке.

УПРУГОПЛАСТИЧЕСКАЯ УСТОЙЧИВОСТЬ ЦИЛИНДРИЧЕСКОЙ ОБОЛОЧКИ ПРИ ПРОСТЫХ КОМБИНИРОВАННЫХ ДОКРИТИЧЕСКИХ ПРОЦЕССАХ

Охлопков Н.Л., Нигоматулин Ф.В.

ТГТУ, г. Тверь, Россия

Рассматривается задача бифуркации тонкостенной круговой цилиндрической оболочки с учетом сложного характера деформирования в момент потери устойчивости при пропорциональном докритическом нагружении осевой сжимающей силой, крутящим моментом и внутренним давлением в девиаторном пространстве деформаций А.А. Ильюшина $\Theta^{(3)}$.

Решение задачи строится на основе теории устойчивости неупругих систем В.Г. Зубчанинова [1]. Используется условие несжимаемости материала и условие однородности напряженного состояния в оболочке до момента потери устойчивости. Связь напряжений и деформаций в момент бифуркации принимается в соответствии с определяющими соотношениями гипотезы компланарности. Оболочка считается длинной, шарнирно подкрепленной. Задача решается в геометрически линейной постановке. Разрешающие уравнения приводятся к системе алгебраических уравнений задачи о собственных числах.

Решение бифуркационной задачи позволяет для заданной комбинации параметров m, n изогнутого состояния вычислить критическую гибкость оболочки i в зависимости от значения модуля вектора напряжений σ в момент потери устойчивости.

Для процессов пропорционального нагружения, реализуемых в плоскости Θ_1 - Θ_3 (при сжатии и закручивании оболочки) расчёты по теории устойчивости А.А. Ильюшина, с учетом разгрузки материала, позволяют, для ряда конструкционных сталей, получить физически достоверные результаты. Предположительно, для данных процессов, можно использовать и более простые аппроксимации определяющих функций пластичности, что сделано в настоящей работе.

Расчёты проведены по: теории устойчивости А.А. Ильюшина; модифицированному варианту теории устойчивости А.А. Ильюшина, модифицированной теории устойчивости В.Г. Зубчанинова [1]. Во всех расчётах учитывалась разгрузка материала в момент потери устойчивости. В качестве материала оболочек принята сталь 9Х2.

Расчёты выполнены для нескольких траекторий пропорционального нагружения оболочки в плоскости (Θ_1, Θ_3) .

Анализ полученных результатов показал, что из рассмотренных вариантов решения наименьшие значения критических напряжений для оболочек реализуется в случае использования модифицированной теории устойчивости В.Г. Зубчанинова, что вполне ожидаемо. Расчёты по теории устойчивости А.А. Ильюшина и ее модифицированного варианта практически совпадают. Наименьшие

значения критических напряжений реализуются в случае чистого кручения оболочки.

Выполненные тестовые расчёты в дальнейшем, будут распространены на спектр конструкционных сталей и сопоставлены с результатами расчётов, полученных при использовании более сложных аппроксимаций определяющих функций пластичности [2].

Библиографический список

1. Зубчанинов, В.Г. Устойчивость и пластичность. Т. 1. Устойчивость / В.Г. Зубчанинов. – М.: Физматлит, 2007. – 448 с.
2. Охлопков, Н.Л. О предельных поверхностях критических напряжений и деформаций материала в решении задачи устойчивости круговой цилиндрической оболочки при простых процессах / Н.Л. Охлопков, С.В. Черемных // Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии. – Орел: ОрГТУ, 2012. – Вып. 5 (295). – С. 30-36.

О РЕШЕНИИ ЗАДАЧИ БИФУРКАЦИИ ЦИЛИНДРИЧЕСКОЙ ОБОЛОЧКИ ПРИ ПРОСТОМ И СЛОЖНОМ КОМБИНИРОВАННОМ НАГРУЖЕНИИ

Охлопков Н.Л., Черемных С.В.
ТГТУ, г. Тверь, Россия

Рассматривается задача бифуркации круговой тонкостенной цилиндрической оболочки с учетом простого и сложного характера деформирования в момент потери устойчивости при докритическом нагружении осевой сжимающей силой и крутящим моментом в девиаторном пространстве деформаций $\Xi^{(3)}$ А.А. Ильюшина.

Решение задачи строится на основе теории неупругих систем В.Г. Зубчанинова. Применяется условие несжимаемости материала и условие однородности напряженного состояния в оболочке до момента потери устойчивости. Задача решается в геометрически линейной постановке. Связь напряжений и деформаций в момент бифуркации принимается в соответствии с определяющими соотношениями гипотезы компланарности.

Решение бифуркационной задачи допускает для заданной комбинации параметров волнообразования в осевом и окружном направлениях оболочки (числа полуволн m и n) вычислить критическую гибкость $i = 3R/h$ в зависимости от значения модуля вектора напряжений σ в момент потери устойчивости (R – радиус срединной поверхности, h – толщина стенки оболочки).

При простых докритических процессах построены графики наименьших гибкостей оболочек, полученные как огибающие кривых устойчивости: по теории квазипростых процессов (теория А.А. Ильюшина), модифицированной теории устойчивости В.Г. Зубчанинова (без и с учетом разгрузки материала в

момент потери устойчивости соответственно), а также с учетом сложного нагружения материала в момент потери устойчивости на основе аппроксимаций определяющих функций пластичности В.Г. Зубчанинова и по методике расчёта, предложенной Н.Л. Охлопковым. Произведена оценка влияния материальных параметров p и q , входящих в аппроксимации функций пластичности В.Г. Зубчанинова, на величину критических значений гибкости оболочки в зависимости от параметров докритических процессов в девиаторном пространстве деформаций А.А. Ильюшина $\Xi^{(3)}$. На основе выполненных расчётов в пространствах $\Xi^{(3)}$ и $S^{(3)}$ построены предельные поверхности устойчивых состояний оболочки.

Расчёты выполнены так же для нескольких сложных докритических процессов по криволинейным траекториям в плоскости. При сложном нагружении построены графики критических параметров напряжений и деформаций, полученные как огибающие кривых устойчивости при расчётах, выполненных: с учетом сложного характера нагружения в момент потери устойчивости при показателях степеней $p = 0,6$ и $q = 1,35$ (соответствуют значениям, принятым при решении задачи построения образа процесса нагружения), при показателях степеней $p = 1$ и $q = 1$, при показателях степеней $p = 0,55$ и $q = 1,35$, расчёту при $p = 0,7$ и $q = 1,35$ и расчёту по теории устойчивости А.А. Ильюшина с учетом разгрузки материала в момент потери устойчивости.

Результаты расчётов и выводы сопоставлены с экспериментальными данными, полученными другими авторами.

РАСЧЕТ НЕОДНОРОДНЫХ ПОЛОГИХ ОБОЛОЧЕК С ДВУМЯ ВИДАМИ НЕЛИНЕЙНОСТИ

Петров В.В.
СГТУ, г. Саратов, Россия

Рассмотрим пологую оболочку на квадратном плане с размерами $2a \times 2a$ под действием равномерно распределенной нагрузки q . Обозначим буквой s толщины упрочненных поверхностных слоев оболочки и введем понятие относительной толщины упрочненного слоя $\lambda = s/h$. Исследуем НДС оболочки в зависимости от изменения безразмерной нагрузки $p = 16qa^4 / (E_0 h^4)$ (здесь E_0 - модуль упругости исходного материала), безразмерных параметров

кривизны $k_x = 4k_x a^2 / h$, $k_y = 4k_y b^2 / h$ и безразмерных параметров λ и K , где $K > 1$ – отношение предела прочности упрочняющего материала к пределу прочности исходного материала. Записываем линейную инкрементальную систему уравнений в смешанной форме для расчёта неоднородных гибких физически нелинейных пологих оболочек и рассматриваем на контуре оболочки

условия шарнирного опирания на гибкие диафрагмы. Решение сформулированной краевой задачи находим двухшаговым методом последовательного возмущения параметров и методом конечных разностей с сеткой 32×32 . В таблице приведены данные об увеличении критических нагрузок оболочек с различными параметрами кривизны $k_\xi = k_\eta$ при изменении параметра K (в процентах от критических нагрузок оболочек из однородного материала). Параметр относительной толщины упрочненного слоя $\lambda = 0,25$.

K	$k_\xi = k_\eta$		
	20	40	60
2	28	40	39
3	56	79	70
4	77	101	100

Результаты, приведенные в таблице, показывают, что, увеличивая разницу в пределах прочности исходного и упрочняющего материала, можно увеличить величину критической нагрузки оболочки до двух и более раз. Проведенные исследования свидетельствуют, что при конструировании пологих оболочек создание технологической неоднородности по их толщине позволяет регулировать весовые характеристики конструкции и создавать запас устойчивости неоднородных нелинейно деформируемых пологих оболочек.

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ НАНОДОБАВКИ БЕЛОЙ САЖИ НА СВОЙСТВА МЕЛКОЗЕРНИСТОГО БЕТОНА

Прудков Е.Н., Закуражнов М.С.
ТулГУ, г. Тула, Россия

Авторами исследовалось влияние действия белой сажи на физико-механические свойства мелкозернистого бетона, которые оценивались по результатам испытаний контрольных (бездобавочных) составов и составов мелкозернистого бетона, модифицированного нанодобавкой – белой сажой.

Исследования проводились с белой сажой марки БС-50 по ГОСТ 18307-78, имеющую массовую долю аморфного оксида кремния SiO_2 не менее 76%. Материал обладает чрезвычайно высокой площадью поверхности, что является основой его высокой пуццолановой активности. Частицы белой сажи в большинстве являются сферическими, диаметром в среднем 100 нм. Площадь поверхности частиц белой сажи составляет 20-23 м²/г.

По результатам испытания образцов мелкозернистого бетона с белой сажой и контрольных образцов установлено:

1. Плотность мелкозернистого бетона зависит от расхода добавки белой сажи. При расходе добавки в количестве 0,9 % от массы цемента, плотность бетона достигает наибольшего значения.

2. Прочность образцов мелкозернистого бетона на растяжение при изгибе зависит от расхода добавки белой сажи. Повышение прочности наблюдается в каждом составе модифицированного мелкозернистого бетона. Причем минимальный прирост прочности достигается при расходе белой сажи – 0,1 % от массы цемента и составляет 27%. При расходе 0,9% прочность на растяжение при изгибе образцов с добавкой белой сажи имеют наибольшее значение, повышение составляет 34% по сравнению с контрольным.

3. Прочность образцов мелкозернистого бетона на сжатие также зависит от расхода добавки белой сажи. Повышение прочности наблюдается в каждом составе модифицированного мелкозернистого бетона. При расходе 0,9% прочность на сжатие образцов с возрастает на 31% по сравнению с контрольными (бездобавочными). Минимальный прирост прочности достигается при расходе белой сажи – 0,2 % от массы цемента и составляет 21%.

4. Обоснована эффективность применения белой сажи в качестве составляющей комплексной модифицирующей добавки для многокомпонентного мелкозернистого бетона.

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ МИКРОДОБАВКИ МЕТАКАОЛИНА НА СВОЙСТВА МЕЛКОЗЕРНИСТОГО БЕТОНА

Прудков Е.Н., Закуражнов М.С., Павлова М.С.

ТулГУ, г. Тула, Россия

В последние годы в качестве высокоэффективной пуццолановой добавки в бетоны все больше получает высокоактивный метакеолин (ВМК). Это искусственно изготовленная пуццолановая добавка с размером частиц 1-2 мкм и удельной поверхностью 12-13 м²/г, производимая из чистых каолинитов, путем их термической обработки.

По своей химической природе ВМК представляет собой смесь аморфного кремнезема и глинозема, практически в равных количествах, т.е. является алюмосиликатным пуццоланом. Массовая доля Al₂O₃ – 48%, массовая доля SiO₂ – 51%.

Алюмосиликатный пуццолан способен при взаимодействии с известью Са(ОН)₂, образовывать нерастворимые, низкоосновные гидроалюмосиликаты кальция – гидрогеленит 2СаО·Al₂O₃·SiO₂·8Н₂O.

Авторами проведены исследования влияния расхода ВМК и суперпластификаторов разной химической основы (Линамикс ПК и ПФМ НЛК) на физико-механические свойства мелкозернистого бетона, метакеолин вводился в дозировках 1%, 4%, 7%, 10% (в части замещения цемента), суперпластификаторы вводились в количестве 0,3% от массы цемента.

Данные результаты испытания показывают, что замещение части цемента метакеолином (оптимальное количество 4%) не снижает прочность при изгибе и при сжатии мелкозернистого бетона.

При этом прочность бетона, содержащего 4% метаксаолина (в замен части цемента) и суперпластификатора Линамикс ПК, повышалась: при изгибе на 20% и на сжатие 44%.

Прочность бетона с метаксаолином и суперпластификатором ПФМ НЛК, соответственно составляла на изгиб 13% и на сжатие 52%.

По результатам испытаний установлено возможность замены части цемента (4-7%), при расходах суперпластификаторов 0,3% от массы цемента и при этом повышение прочности бетона на сжатие составляет 50% и более.

СОЕДИНЕНИЯ ЭЛЕМЕНТОВ ОБОЛОЧКИ С ПОЛЫМИ РЕБРАМИ

Рашепкина С.А., Андреева Н.В.

ИТТУ СГТУ, г. Балаково, Россия

Для обеспечения возможности изготовления ребристых металлических оболочек различных форм из сборных панелей с полыми ребрами сегментообразного поперечного сечения и повышение эксплуатационной надежности узлового сопряжения и в целом ребристой металлической оболочки при снижении трудоемкости монтажа предлагается новое узловое сопряжение элементов оболочки.

Узел соединения элементов металлической оболочки, включает узловой элемент звездообразной формы с радиальными лучами, к которым прикреплены панели через краевые ребра сегментообразного поперечного сечения, образующие полые ребра эллипсоидальной формы путем наложения друг на друга краевых ребер смежных панелей.

Углы панелей обрезаны по линии перпендикулярной биссектрисе угла между краевыми ребрами панелей, а сегментообразные краевые ребра панелей соединены с радиальными лучами узловых элементов посредством втулок, поставленных в отверстия, образованных в полых ребрах и лучах узлового элемента звездообразной формы. Ось втулок перпендикулярна осям лучей, а форма поперечного сечения концевых участков лучей длиной в 200-300 мм соответствует поперечному сечению полых ребер эллипсоидальной формы, в которые они вставлены.

Узел снабжен круглыми накладками, в которых образованы радиальные выштамповки и которые соответствуют форме полых ребер эллипсоидальной формы; при этом накладки расположены сверху и внизу узлового соединения и скреплены шпильками, расположенными симметрично по отношению к радиальным осям лучей узловых элементов и полых ребер эллипсоидальной формы.

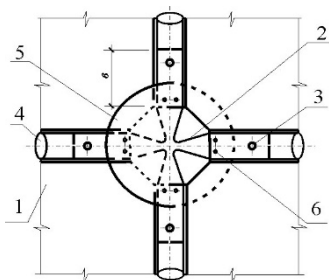


Рис. 1. Соединение элементов оболочки:

1 – панель; 2 – узловой элемент; 3 – втулки; 4 – полые ребра;
5 – круглые накладки; 6 – шпильки

Предлагаемое конструктивное решение позволяет обеспечить возможность изготовления ребристых оболочек из сборных панелей различных форм и повысить точность их сборки и эксплуатационную надежность узлового сопряжения, продлить срок жизненной способности ребристой металлической оболочки при снижении трудоемкости изготовления элементов и сроков ее монтажа.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ РЕБРИСТОЙ ПАНЕЛИ НА МОДЕЛЯХ

Рашепкина С.А., Бойчук С.В.
ИТТУ СГТУ, г. Балаково, Россия

На сегодняшний день применение металлических ребристых панелей является наиболее перспективным направлением в области строительства хранилищ для сыпучего материала. Экспериментальные исследования на натурных конструкциях сложны, трудоемки и требуют больших затрат, поэтому более целесообразным является метод исследования на физических моделях. Анализ существующих методов экспериментальных исследований показал, что вследствие малых значений модуля упругости и стабильности механических свойств, фиксированных в процессе испытаний моделей для их изготовления можно использовать самые различные материалы: жель, алюминиевые и медные сплавы, различные пластмассы, наиболее отмечаемым требованиям является латунь.

Исследования проводились на специально изготовленном экспериментальном стенде, позволяющем фиксировать перемещения и деформации на каждой ступени подаваемой нагрузки. Модель длиной $L = 600$ мм, шириной $B = 300$ мм и толщиной $t = 0,3$ мм имела три продольных дискретно расположенных полых ребра. Для создания напряженно-деформированного состояния в модели из латуни, нагрузка прикладывалась штампом по поверхности сыпучего материала равными ступенями (по 50 кг). Перемещения фиксировались индикаторами

часового типа, а относительные деформации измерялись тензометрическими датчиками, которые устанавливались на продольных ребрах и между ребрами (на «мембране»). Анализ экспериментальных исследований показал, что при испытании цилиндрической ребристой панели до нагрузки, приложенной штампом, при которой панель работала в упругой стадии, приращение радиальных перемещений мембраны и ребра происходило практически одинаково при всех прикладываемых ступенях. При дальнейшем увеличении нагрузки, значение перемещений на каждой ступени у мембраны были заметно меньше, чем у продольных ребер. Объясняется это тем, что при увеличении радиального давления, создаваемого штампом по сыпучему материалу, ребра изменяли свои параметры, как по поперечному сечению, так и по всей длине панели. Следует отметить, что в пределах заданных нагрузок модель ребристой панели не потеряла общую устойчивость, наблюдалась местная потеря устойчивости среднего продольного ребра.

Проведенные экспериментальные исследования показали высокую несущую способность металлической панели с полыми ребрами, что позволяет рекомендовать ее в практику реального строительства, например, в качестве ограждающей несущей конструкции, или панели покрытия, в складских помещениях различного назначения.

ОПОРЫ МОСТОВ ИЗ РЕБРИСТЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

Ращепкина С.А., Ращепкин С.В.

ИТТУ СГТУ, г. Балаково, Россия

Развитие общества и сфер его потребления, в основном, консервативно. Но есть основания полагать, что в ближайшие годы произойдут существенные изменения в добыче, транспорте, хранении нефти и нефтепродуктов. Соответственно будут востребованы опоры под пролетные строения.

В настоящее время вторгаются в реальную практику новые конструктивные решения опор и применяемых инновационных материалов. В первую очередь следует указать на так называемые «ряжные» опоры мостов в виде сборных железобетонных опускных колодцев или стальных труб большого диаметра. Нами предлагаются опоры пролетного строения, разработанные на основе анализа существующих опор и экспериментально-теоретических исследований.

Ребристый элемент состоит из стальной листовой заготовки и дискретно прикрепленных к ней полос. Были получены аналитические зависимости и построены графики и номограммы, из которых можно установить, как изменяется давление в процессе формирования ребристого элемента при коэффициентах раздутия k_p от 0,1 до 0,8 и как влияет материал элемента и полос на их деформирование для образования продольных полых ребер в ребристом элементе.

Оболочку опоры собирают из сборных ребристых элементов, прикрепляемых к каркасу, состоящему из стоек из прямоугольных труб; верхнего, нижнего и трех промежуточных колец, выполненных из полосы шириной 200 мм и толщиной 3 мм. Вертикальные ребра необходимо после установки опоры заполнить раствором или мелкозернистым бетоном, или другим материалом. Были разработаны варианты опор пролетных строений, скомпонованных из сборных ребристых элементов с круговым, эллипсоидальным, прямоугольным и комбинированным сочетанием.

В основе создания опор были заложены принципы образования опоры с учетом унификации конструктивных решений, использования рациональных способов изготовления и монтажа, экономичности перемещения к месту строительства. Анализ проведенных исследований показал, что использование ребристых элементов приводит к снижению стоимости опор пролетного строения в целом на 10,1...12,6% за счет использования листовой стали при изготовлении, компактности поставки и снижения сроков монтажа.

Ребристые строительные элементы позволяют снизить металлоемкость и энергоемкость пространственной конструкции предлагаемой конструкции опоры. За счет применения инновационных материалов высокого качества, сформированные РСЭ обладают большой жесткостью и несущей способностью, имеют повышенную сопротивляемость специальным нагрузкам.

МЕТАЛЛИЧЕСКИЕ ЕМКОСТИ ИЗ МИНИ-ОБОЛОЧЕК

Ращепкина С.А., Романов Д.А.
ИТТУ СГТУ, г. Балаково, Россия

Для возможности монтажа емкости из сборных панелей (мини-оболочек), увеличение производительности сборки в процессе создания ее проектной формы нами разработано новое конструктивное решение соединения емкости с железобетонным кольцевым фундаментом. Монтаж емкости из цилиндрических мини-оболочек полого поперечного сечения включает возведение кольцевого фундамента из сборных железобетонных блоков с закладными деталями монтажа мини-оболочек, изготовление и установку опорных элементов. Крепление всех элементов осуществляют путем последовательной установки коротких и длинных опорных элементов, выполненных в виде гнутых уголков, из листовой стали толщиной равной двум толщинам стенки щитообразных элементов, и изогнутых по периметру поперечного сечения щитообразных элементов. Причем короткие опорные элементы примыкают с внутренней стороны мини-оболочек, а длинные с их наружной стороны; при этом опорные уголковые элементы одной полкой прикрепляют к мини-оболочкам, а другой полкой к закладным деталям фундамента (рис. 1).

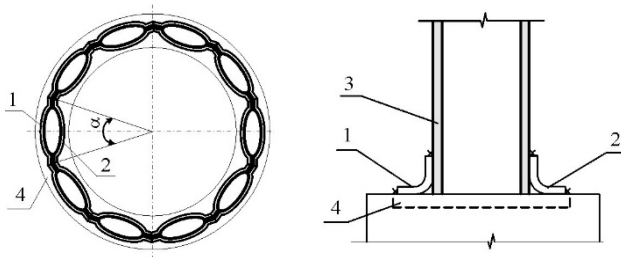


Рис. 1.

1,2 – опорные элементы, 3 – мини-оболочка, 4 – фундамент

Изготавливают длинные и короткие опорные элементы из листовых стальных заготовок толщиной равной двум толщинам стенки мини-оболочек, путем изгиба заготовки для создания гнутого элемента в виде уголка. Полученные элементы изгибают по периметру поперечного сечения панелей для образования опорных элементов. Торцевые кромки опорных элементов обрезают под углом $\alpha/2$ по отношению к горизонтальной линия параллельной оси симметрии, где α – центральный угол мини-оболочек. Опорные элементы и можно изготовить в заводских условиях с использованием пуансона или специального оборудования, позволяющего выполнить их путем штамповки листовых заготовок. Прикрепление мини-оболочек к опорным элементам и выполняют на сварке болтах или болтах, а прикрепление опорных элементов к закладным деталям выполняют на сварке.

Рассмотренный способ монтажа емкости из цилиндрических мини-оболочек может быть использован при сооружении хранилищ различного назначения (песка, зерна, цемента и др.), выполненных из сборных элементов.

РАСЧЕТ КУПОЛЬНОГО ПОКРЫТИЯ С ПОЛЫМИ РЕБРАМИ

Ращепкина С. А., Шевченко А.С.
ИТТУ СГТУ, г. Балаково, Россия

Исследуется напряженно-деформированное состояние купола с радиальными полыми ребрами. Рассматривается задача выбора рационального соотношения диаметра купола к высоте подъема, обеспечивающего максимальное эффективное использование купола с радиальными полыми ребрами.

В расчёте ПК ЛИРА лежит метод конечных элементов, реализованный в форме перемещений. Выбор именно этой формы объясняется простотой ее алгоритмизации и физической интерпретации.

Расчёт купола можно выполнять с использованием линейных задач метода конечных элементов:

$$\sum_{i=1}^N u_i a(\mu_i \mu_j) = (f, \mu_j), i = 1, \dots, N$$

Обозначив K матрицу жесткости с элементами $k_{ij} = \alpha(\mu_i, \mu_j)$, P – вектор нагрузок, с элементами $P_i = (f, \mu_i)$ и X – искомый вектор с элементами u_i , система представится в матричной форме:

$$KX = P.$$

По данным расчётов полученных аналитическим путем и в ПК ЛИРА были построены эпюры усилий (рис. 1) при следующих данных: отношение $f/D \geq 1/7$; стрела подъема $f = 4,5$ м; диаметр купола $D = 32$ м, приложенная нагрузка $q_{сн} = 600 \text{ Н / м}^2$; приведенная толщина панелей купола 6 мм; сталь С255.

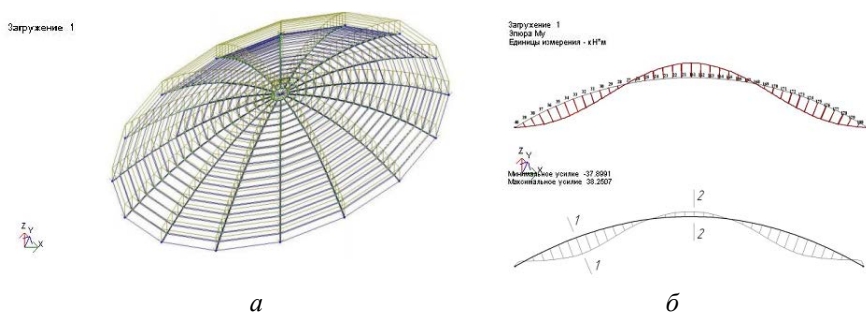


Рис. 1.

*а – модель купола с радиальными ребрами,
б – эпюры моментов по данным аналитического расчёта
и в программном комплексе*

Анализ полученных расчётов показал достаточную сходимость полученных результатов расчёта (расхождения составляют 2...10%). Рассмотренный алгоритм расчёта купола с радиальными полыми ребрами может быть применен в практике проектирования.

ИССЛЕДОВАНИЕ МЕХАНИКИ РАЗРУШЕНИЯ ТОНКИХ ПЛАСТИН ИЗ ГРАФИТА С УЧЕТОМ РАЗНОСОПРОТИВЛЯЕМОСТИ И ВОЗНИКНОВЕНИЯ ТРЕЩИН СДВИГА

Савин Е.В., Теличко В.Г.
ТулГУ, г. Тула, Россия

Как известно, для упругих материалов определяющие соотношения можно построить, вводя потенциалы напряжений или деформаций. Данный подход предпочтительнее при формулировке определяющих сред с усложненными свойствами: такими, например, как зависимость механических характеристик от вида напряженного состояния.

Представим потенциал деформаций в виде:

$$W = [\tilde{b}_1 \xi^2 + \tilde{b}_2 \eta^2 + \tilde{b}_3 \xi^3 + \tilde{b}_4 \xi \eta^2 + \tilde{b}_5 \eta^3 \cos 3\varphi] S_0^2. \quad (1)$$

Соотношения между компонентами тензоров напряжений и деформаций можно определить, дифференцируя W согласно формулам Кастильяно

$$e_{ij} = 1/3 \left\{ 2[\tilde{b}_1 + \tilde{b}_3 \xi(1 + 0,5\eta^2)] + (\tilde{b}_4 \eta^2 + 1,5\sqrt{2}\tilde{b}_5)\eta^2 / \xi - \right. \\ \left. - \tilde{b}_5 \eta^3 \cos 3\varphi \right\} \sigma_{ij} + \\ + 1/3 \left\{ 2(\tilde{b}_2 + \tilde{b}_4 \xi + \tilde{b}_5 \eta \cos 3\varphi) - (\tilde{b}_3 \xi^2 + \tilde{b}_4 \eta^2) \xi - \right. \\ \left. - \tilde{b}_5 (3 - \eta \xi^2) \cos 3\varphi + 3\sqrt{2}\tilde{b}_5 \mu_{ij} \right\} S_{ij}. \quad (2)$$

Если при исследовании распределения напряжений и деформаций вблизи вырезов и трещин в материалах формулу связи между напряжениями и деформациями

$$e_{ij} = \frac{3}{2} [\alpha \omega(u) + \gamma \sigma_i^2 \varphi^2(u) \omega(u)] \bar{\sigma}_{ij} + \\ + \frac{1}{3} \delta_{ij} \left(\alpha_1 \sigma_0 + \gamma_1 \sigma_0^3 + \frac{\sigma_1}{u} [\alpha + \gamma \sigma_i^2 \varphi^2(u)] [\varphi^2(u) - \omega(u)] \right) \quad (3)$$

заменить на соотношения (2), это позволит получить уточненную математическую модель для исследования разрушения тонких пластин.

РАЗРАБОТКА КОМПЬЮТЕРНОЙ МОДЕЛИ «РЕЗЕРВУАР-ОСНОВАНИЕ» С УЧЕТОМ НАВЕДЕННОЙ НЕОДНОРОДНОСТИ СВОЙСТ ОСНОВАНИЯ

Селиванов Ф.С., Морев В.С.
СГТУ, г. Саратов, Россия

В результате действия сложных инженерно-геологических процессов и техногенных факторов естественное строение грунтовых оснований может существенно изменяться. Учет неоднородности массивных тел особенно важен для грунтовых сред, которые характеризуются значительной изменчивостью показателей механических свойств при изменении уровня влажности. Так, при изменении уровня подземных вод, даже в пределах однородной толщи, образуются области сложной конфигурации с существенно различными физическими, деформационными и прочностными свойствами. В этих зонах повышенной влажности грунтовый массив, как правило, обладает недостаточной несущей способностью и повышенной сжимаемостью.

Рассмотрим влияние водонасыщения грунтовой среды как фактора формирования деформационной неоднородности массивного тела. В этом случае изменение основного показателя деформационных свойств грунтовой среды массивного тела – модуля деформации – будет определяться значением управляющего параметра – уровнем влажности C .

Введем зависимость модуля деформации от влажности:

$$E(C) = E_0 \cdot f(C) \quad (1)$$

где $f(C)$ – функция деградации, учитывающая влияние увлажнения на деформационные свойства среды массивного тела.

Для различных сред эта зависимость должна определяться по результатам экспериментальных исследований. Например, для черных глин Саратовского

региона получена зависимость в виде $f(C) = \frac{C}{b \cdot C - d}$, где $b = 20,500817$ и $d = 502,95232$. Параметр влажности C изменяется от начального значения влажности C_0 до полного водонасыщения C_B , в процентах.

Процесс дополнительного водонасыщения среды массивного тела может развиваться по различным схемам:

- равномерное увлажнение в пределах всего массива или отдельной его части;
- увлажнение массива с движением фронта увлажнения снизу-вверх.
- увлажнение массива с движением фронта увлажнения сверху вниз;

При равномерном увлажнении в массиве могут формироваться слои или области с фиксированными значениями влажности и соответствующими им параметрами деформирования.

Увлажнение грунтового массива, вызванное движением фронта снизу-вверх, происходит при подъеме уровня подземных вод. В этом случае в однородном массиве (характерном для исходного состояния) будут формироваться разнородные по уровню влажности (и, следовательно, по сжимаемости) слои, в каждой точке которых модуль деформации связан с влажностью функциональной зависимостью. Между верхним слоем с фиксированной (минимальной влажностью) и нижним слоем с максимальной влажностью располагается «буферный» или переходный слой, в котором влажность изменяется от максимального до минимального значения. Таким образом, образуется неоднородный массив, в каждой точке которого значения модулей деформации непрерывно зависят от уровня влажности. В пределах переходной зоны соответствующим образом изменяются уровни влажности и параметры деформирования массивного тела. Наравне с вышеописанной схемой увлажнением снизу-вверх, часто встречается схема увлажнение сверху вниз.

При движении фронта увлажнения снизу-вверх в однородном массивном теле в пределах переходных зон изменяется влажность и соответствующие им параметры деформирования среды. Для среды с неоднородностью такого типа зависимость модуля деформации от влажности может быть принята в виде

$$E(C(z, h_f)) = E_0 \cdot f(C(z, h_f)) \quad (2)$$

где влажность C будет являться функцией геометрических параметров (z и h_f). смысл которых поясняется ниже, график распределения влажности по глубине массива описывается функцией (рис. 1), а вид функции f может выбираться в зависимости от свойств материала, например, как было приведено

выше: $f(C) = \frac{C}{b \cdot C - d}$.

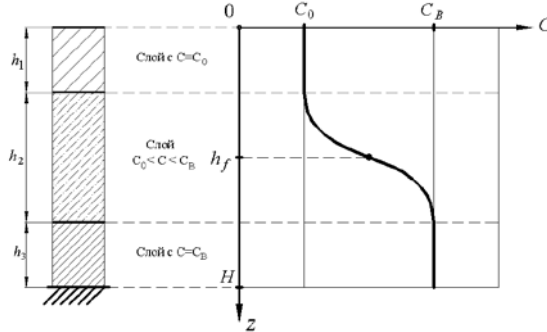


Рис. 1. Увлажнение «снизу-вверх»

1. Для случая увлажнения «снизу-вверх»

$$C(z, h_f) = C_0 + (C_B - C_0) \cdot \left(1 + \frac{C_B - C_0}{C_0} \cdot \exp(-k \cdot C_B \cdot (z - h_f)) \right)^{-1}$$

2. Для случая увлажнения «сверху-вниз»

$$C(z, h_f) = C_B - (C_B - C_0) \cdot \left(1 + \frac{C_B - C_0}{C_0} \cdot \exp(-k \cdot C_B \cdot (z + h_f - H)) \right)^{-1}$$

Здесь C_0 – показатель влажности естественного состояния влажного массивного тела; C_B – показатель влажности водонасыщенного состояния массивного тела; z – координата точки по глубине массивного тела; h_f – глубина фронта увлажнения, разделяющего массив на слои с установившимися значениями влажности C_0 и C_B (соответствующими исходному состоянию и состоянию полного водонасыщения), причем $0 \leq h_f \leq H$; k – параметр, определяющий мощность переходной зоны основания.

Снижение деформационных свойств среды массивного тела вследствие повышения его влажности сложным образом влияет на характер его деформаций. Положение границы раздела основания на слои с разным уровнем влажности C_0 и C_B (или фронта увлажнения) h_f зависит от фактора времени и может варьироваться от H до 0.

РАСЧЁТ МОДЕЛИ «РЕЗЕРВУАР-СЛОИСТОЕ ОСНОВАНИЕ» С НАВЕДЕННОЙ НЕОДНОРОДНОСТЬЮ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ОСНОВАНИЯ

Селиванов Ф.С., Морев В.С.
СГТУ, г. Саратов, Россия

Расчёт изгибаемых конструктивных элементов, взаимодействующих с неоднородным слоистым основанием, при наличии в элементе ребер, складок и других разрывов однородности связан с большими трудностями. Приходится для каждой элемента составлять отдельные системы дифференциальных уравнений и заботиться не только о соблюдении условий на контуре всей системы, но и удовлетворять условиям контакта на границах, где могут быть разрывы того или иного типа (Рис. 1).

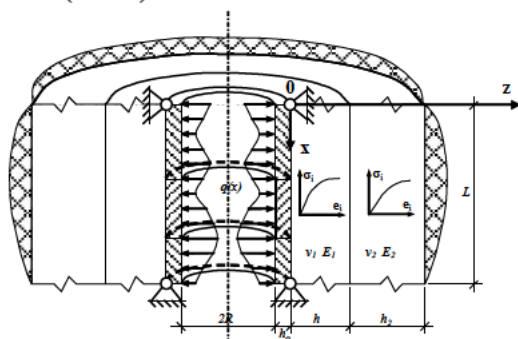


Рис. 1

В механике, разрывность параметров, описывающих физико-механические или геометрические характеристики элемента, обуславливается различными факторами, например, разрывы в функциях изменения физико-механических свойств материала балочного элемента (армирование, неоднородность структуры) и многие другие.

Используя модель слоистой среды, разработанную В.З. Власовым [1] и модель наведенной неоднородности физико-механических свойств, получены разрешающие уравнения для слоистой среды с наведенной неоднородностью, вследствие деградации физико-механических свойств под действием факторов природного и техногенного характера:

$$\frac{\partial^2}{\partial x^2} \left(D \cdot \frac{\partial^2 \Delta W_1}{\partial x^2} \right) + \frac{E_{ob} h}{1 - \nu^2} \cdot \frac{\Delta W_1}{R^2} - \sum_{k=1}^n \left[\int_0^H E_{33} \psi_k \psi_1 dz \right] \cdot \Delta W_k'' +$$

$$- \sum_{k=1}^n \left[\int_0^H \frac{\partial E_{33}}{\partial x} \psi_k \psi_1 dz + \int_0^H E_{32} \psi_k' \psi_1 dz - \int_0^H \frac{\partial E_{23}}{\partial z} \psi_k \psi_1' dz - \int_0^H E_{23} \psi_k' \psi_1' dz \right] \cdot \Delta W_k' -$$

$$\begin{aligned}
 & - \sum_{k=1}^n \left[\int_0^H \frac{\partial E_{32}}{\partial x} \psi'_k \psi_1 dz - \int_0^H \frac{\partial E_{22}}{\partial z} \psi'_k \psi'_1 dz - \int_0^H E_{22} \psi''_k \psi'_1 dz \right] \cdot \Delta W_k = \\
 & = \Delta q + \sum_{k=1}^n \left[\int_0^H \Gamma_{33} \psi_k \psi_1 dz \right] \cdot W''_k + \\
 & + \sum_{k=1}^n \left[\int_0^H \frac{\partial \Gamma_{33}}{\partial x} \psi_k \psi_1 dz + \int_0^H \Gamma_{32} \psi'_k \psi_1 dz - \int_0^H \frac{\partial \Gamma_{23}}{\partial z} \psi_k \psi'_1 dz - \int_0^H \Gamma_{23} \psi'_k \psi'_1 dz \right] \cdot W'_k + \\
 & + \sum_{k=1}^n \left[\int_0^H \frac{\partial \Gamma_{32}}{\partial x} \psi'_k \psi_1 dz - \int_0^H \frac{\partial \Gamma_{22}}{\partial z} \psi'_k \psi'_1 dz - \int_0^H \Gamma_{22} \psi''_k \psi'_1 dz \right] \cdot W_k,
 \end{aligned}$$

и

$$\begin{aligned}
 & \sum_{k=1}^n \left[\int_0^H E_{33} \psi_k \psi_h dz \right] \cdot \Delta W''_k + \\
 & + \sum_{k=1}^n \left[\int_0^H \frac{\partial E_{33}}{\partial x} \psi_k \psi_h dz + \int_0^H E_{32} \psi'_k \psi_h dz - \int_0^H \frac{\partial E_{23}}{\partial z} \psi_k \psi'_h dz - \int_0^H E_{23} \psi'_k \psi'_h dz \right] \cdot \Delta W'_k + \\
 & + \sum_{k=1}^n \left[\int_0^H \frac{\partial E_{32}}{\partial x} \psi'_k \psi_h dz - \int_0^H \frac{\partial E_{22}}{\partial z} \psi'_k \psi'_h dz - \int_0^H E_{22} \psi''_k \psi'_h dz \right] \cdot \Delta W_k = \\
 & = - \sum_{k=1}^n \left[\int_0^H \Gamma_{33} \psi_k \psi_h dz \right] \cdot W''_k - \\
 & - \sum_{k=1}^n \left[\int_0^H \frac{\partial \Gamma_{32}}{\partial x} \psi'_k \psi_h dz - \int_0^H \frac{\partial \Gamma_{22}}{\partial z} \psi'_k \psi'_h dz - \int_0^H \Gamma_{22} \psi''_k \psi'_h dz \right] \cdot W_k, \\
 & - \sum_{k=1}^n \left[\int_0^H \frac{\partial \Gamma_{33}}{\partial x} \psi_k \psi_h dz + \int_0^H \Gamma_{32} \psi'_k \psi_h dz - \int_0^H \frac{\partial \Gamma_{23}}{\partial z} \psi_k \psi'_h dz - \int_0^H \Gamma_{23} \psi'_k \psi'_h dz \right] \cdot W'_k -
 \end{aligned}$$

где $h = 2, \dots, n$. E_{ij} и Γ_{ij} определяются выражениями для наведенной неоднородности.

Библиографический список

1. Синева Н.Ф., Селиванов Ф.С. Математическое моделирование процесса деформирования плиты, взаимодействующей с нелинейно-деформируемой неоднородной средой основания / Н.Ф. Синева, Ф.С. Селиванов // Вестник СГТУ, 2011. – № 4. – Вып. 2 (59). – С. 7-15.

РАСЧЁТ РЕЗЕРВУАРНОЙ КОНСТРУКЦИИ ИЗ РАЗНОМОДУЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ, ВЗАИМОДЕЙСТВУЮЩЕЙ С НЕЛИНЕЙНО ДЕФОРМИРУЕМЫМ ОСНОВАНИЕМ

Селиванов Ф.С., Морев В.С.
СГТУ, г. Саратов, Россия

Моделирование для численной оценки напряженно-деформированного состояния шарнирно-опертой неоднородной цилиндрической оболочки в условиях наведенной неоднородности его физико-механических свойств основана на системе дифференциальных уравнений. Написан программный комплекс в среде программирования Delphi 2009. На основе программного комплекса произведено исследование.

В качестве примера возьмем шарнирно опертую цилиндрическую оболочку, изотропную по координате θ (в цилиндрической системе координат), к которой приложена равномерно распределенная нагрузка интенсивности $q = 500 \text{ кН/м}$ (с шагом 10 кН/м). Длина оболочки $L = 6 \text{ м}$, толщина стенки $h_{об} = 0,5 \text{ м}$, радиус оболочки $R = 6 \text{ м}$. Модуль упругости материала верхней трети оболочки $E_{об1} = 18\,000 \text{ МПа}$, нижней трети оболочки $E_{об3} = 36\,000 \text{ МПа}$, а средней трети оболочки $E_{об2} = 27\,000 \text{ МПа}$, коэффициент Пуассона $\nu_{об} = 0,35$. Толщина 1-го слоя основания $h_1 = 2 \text{ м}$, 2-го слоя – $h_2 = 3 \text{ м}$. Начальный модуль деформации 1-го слоя основания $E_1 = 35481 \text{ кПа}$, 2-го слоя – $E_2 = 9845 \text{ кПа}$, коэффициент Пуассона основания $\nu = 0,35$.

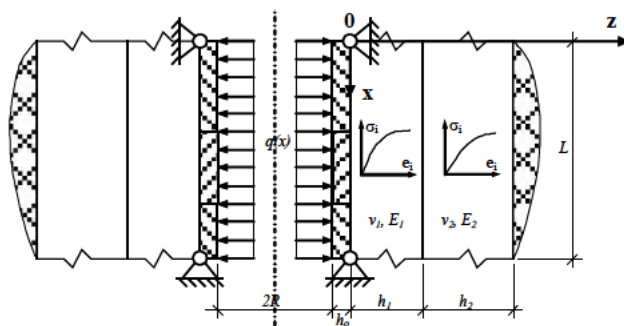


Рис. 1. Неоднородная цилиндрическая оболочка, равномерно нагруженная изнутри и взаимодействующая с нелинейно деформируемой слоистой средой

Диаграмма $\sigma_i \sim \varepsilon_i$ материала основания аппроксимируется экспоненциальной зависимостью, причем $\sigma_s = 600 \text{ кПа}$.

Графики перемещений срединной поверхности оболочки, поверхности контакта 1-го и 2-го слоев основания, а также изгибающего момента представлены ниже.

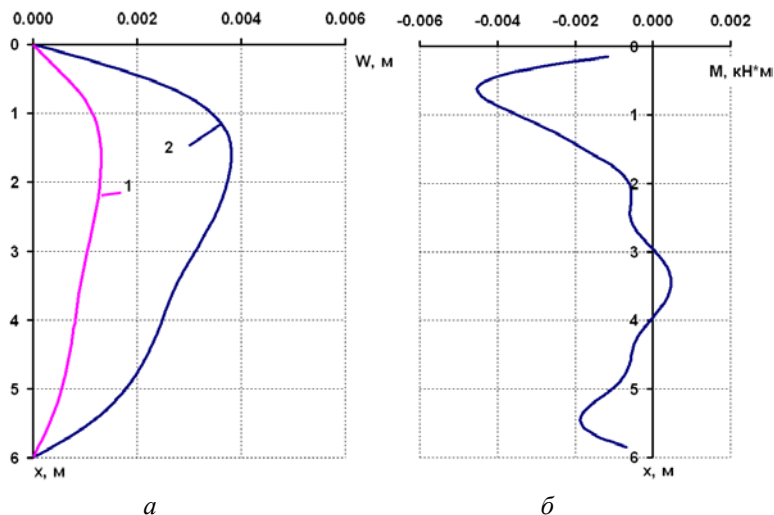


Рис. 2. Графики для неоднородной цилиндрической оболочки ($q = \text{const}$):
 а – перемещений срединной поверхности оболочки (2) и поверхности контакта 1-го и 2-го слоев основания (1); б – изгибающего момента

Сравнивая графики на рис. 1 и рис. 2, замечаем, что вследствие нелинейности деформируемого основания возросли перемещения оболочки ($W_{\max}$ в 1,1 раза) и основания ($W_{\max}$ на поверхности контакта 1-го и 2-го слоев в 1,1 раза), наибольший по модулю изгибающий момент увеличился на 8%. Увеличение жесткости нижней половины оболочки существенно снизило эти приращения по сравнению с однородной оболочкой.

РАСЧЁТ РЕГУЛЯРНОЙ СИСТЕМЫ ПЕРЕКРЕСТНЫХ БАЛОК ВАРИАЦИОННЫМИ ИТЕРАЦИЯМИ В СОЧЕТАНИИ С МЕТОДОМ ДВОЙНОЙ АППРОКСИМАЦИИ

Семенов П.К., Костюхина М.В.
 СГТУ, г. Саратов, Россия

Рассматриваются вопросы применения процедуры вариационных итераций в сочетании с методом регулярной системы перекрестных балок (РСПБ).

Процедура вариационных итераций, зарекомендовавшая себя как эффективная и высокоточная при расчёте континуальных систем, заключается в замене аппроксимирующих функций, в результате итерационного процесса,

строятся как максимально удовлетворяющие физическому содержанию решаемой задачи: условиям описания РСРБ (граничным условиям), характеру внешней поперечной нагрузки.

При построении разрешающих конечно-разностных уравнений не учитывались деформация кручения элементов РСРБ. Оценка сходимости итерационного процесса осуществлялась по значениям функции квадратной и прямоугольной (соотношения сторон 1:2).

Неиспользование в качестве начальных аппроксимирующих функций тригонометрических и полиномов Легландра показало, что последняя обеспечивает более высокую скорость сходимости (меньшее число итераций). Кроме того, использование схемы метода двойной аппроксимации показало независимость скорости сходимости итерационного процесса от соотношения размеров сторон РСРБ в плане, в отличие от использования классического варианта вариационного метода Власова-Канторовича.

РАСЧЁТ ПЛИТ ПРЯМОУГОЛЬНОГО ОЧЕРТАНИЯ НА НЕЛИНЕЙНОМ НЕОДНОРОДНОМ ОСНОВАНИИ МЕТОДОМ ДВОЙНОЙ АППРОКСИМАЦИИ

Семенов П.К., Минаева Д.И.
СГТУ, г. Саратов, Россия

Вопросы расчёта элементов конструкций, взаимодействующих с основанием с учетом реальных условий эксплуатации (нелинейность и неоднородность материалов конструкции и основания) актуальны и практически важны. Взаимодействие прямоугольной плиты из нелинейно-упругого материала с нелинейным неоднородным основанием рассчитывается нелинейным дифференциальным уравнением в частных производных четвертого порядка. Данное уравнение может быть линеаризовано методом последовательных возмущений параметров, что приводит к решению линеаризованной краевой задачи на каждом этапе возмущения ведущего параметра.

Представляется рациональным и эффективным привести двухмерную краевую задачу к одномерной путем использования вариационного метода двойной аппроксимации. Получается на каждом этапе возмущения ведущего параметра система обыкновенных интегралодифференциальных уравнений с переменными коэффициентами эффективно решаются методом дискретной ортонормализации.

Наличие в разрешающих соотношениях приращений нескольких ведущих параметров позволяет численно исследовать различные программы возмущения, моделирующая реальные условия эксплуатации. В этой связи рассмотрены следующие программы возмущения ведущих параметров задачи: нагружении плиты – замачивание основания, замачивание основания – нагружение параметров.

Нелинейность исходной задачи обуславливает получение различных результатов. Проведенные расчёты показывают, что первая программа возмущения ведущих параметров дает более предпочтительные результаты по НДС системы «плита-основание».

К ВОПРОСУ МОДЕЛИРОВАНИЯ КОРРОЗИОННОГО ПРОЦЕССА С УЧЕТОМ СЛУЧАЙНЫХ ФАКТОРОВ

Семенов П.К., Ошменский А.С.

СГТУ, г. Саратов, Россия

Рассматривается модель коррозионного процесса в виде начальной задачи для дифференциального уравнения первого порядка с нулевыми начальными условиями. Кинетическая функция зависит от времени протекания коррозионного процесса и параметров напряженного состояния в конструктивном элементе. Последняя представляется в виде произведения функций с разделенными переменными причем, функция, зависящая от интенсивности напряжений учитывает влияние напряженного состояния на коррозионный процесс, а функция, зависящая от времени учитывает изменение параметров агрессивной среды эксплуатации.

Вид упомянутых функций строится на основе результатов численной обработки экспериментальных данных. Такая основа модели коррозионного процесса, предложенная В.Г. Капуниным, имеет достаточно широкий спектр применения для различных комбинаций пар «материал-среда». Однако, введение случайных факторов, которые адекватно учитывают реальные условия эксплуатации, в модель коррозионного процесса делает невозможным получение разрешающих уравнений в замкнутом виде.

Неиспользование расчётной схемы метода последовательных возмущений параметров позволяет учесть случайные факторы, влияющие на коррозионный процесс. Параметры функций интенсивности напряжений на каждом шаге времени метода последовательных возмущений параметров рассматриваются как константы с изменением значений, в зависимости от шага, как нормально распределенные случайные величины с заданными параметрами распределения. Это обстоятельство позволит моделировать влияние деления, а также влияние случайных факторов на время протекания коррозионного процессам.

В исходную кинетическую функцию вводится третий множитель, представляющий собой случайную величину, распределенную нормальным образом, задаваемую для каждой расчётной точки конструкции и не изменяющуюся в процессе расчёта. Этот подход позволяет реализовать учет влияния случайных факторов в различных точках обмена, занимаемого конструкцией, в процессе эксплуатации. Комбинация описанных вариантов обобщает модель и расширяет пределы ее применяемости.

Неиспользование программных процедур генерации случайных величин с указанными свойствами делает возможным построения адекватных математических моделей и учет в них случайных факторов, оказывающих влияние на характер протекания коррозионных процессов в элементах конструкций.

РАСЧЁТ НЕЛИНЕЙНО-УПРУГОЙ ПРЯМОУГОЛЬНОЙ ПЛИТЫ, ВЗАИМОДЕЙСТВУЮЩЕЙ С НЕЛИНЕЙНЫМ НЕОДНОРОДНЫМ ОСНОВАНИЕМ, ВАРИАЦИОННЫМИ ИТЕРАЦИЯМИ

Семенов П.К., Поляков Ю.А.
СГТУ, г. Саратов, Россия

Взаимодействие прямоугольной плиты из физически материала с нелинейным неоднородным основанием в частных производных четвертого порядка. Последнее может быть линеаризовано методом последовательных возмущений параметров, а двухмерная краевая задача приводится к одномерной вариационным методом двойной аппроксимации.

Процедура вариационных итераций состоит в замене аппроксимирующих функций на последующей итерации на искомые функции, полученные на предыдущей итерации. Таким образом, путем итерационного процесса строятся функции, определяющие НДС системы «плита-основание» максимально удовлетворяющие физико-механическому содержанию задачи.

Обязательным условием при организации итерационного процесса является закрепление угловых точек плиты.

Рассмотрены следующие условия закрепления контура плиты: шарнирное по контуру, жесткое по контуру, свободное по контуру с шарнирным закрепление угловых точек плиты.

В качестве аппроксимирующих функций на первой итерации использовались тригонометрическая функция и полиномы Лежандра. Последние обеспечивают более высокую скорость сходимости итерационного процесса. Кроме того, отмечается независимость скорости сходимости от соотношения размеров сторон плиты в плане, что характерно при использовании классического варианта метода Власова-Канторовича.

РАСЧЁТ РЕГУЛЯРНОЙ СИСТЕМЫ ПЕРЕКРЕСТНЫХ БАЛОК МЕТОДОМ ДВОЙНОЙ АППРОКСИМАЦИИ ПРИ СТАТИЧЕСКИХ ГРАНИЧНЫХ УСЛОВИЯХ

Семенов П.К., Федотов А.В.
СГТУ, г. Саратов, Россия

Использование вариационного метода двойной аппроксимации к расчёту стержневых систем в виде регулярной системы перекрестных балок (РСПБ) на действие поперечной узловой нагрузки представляется эффективным в виду

смысловой общности исходной расходной системы и расчётной схемы вариационного метода.

В соответствии с положениями метода аппроксимации искомая функция узловых прогибов аппроксимируются по двум направлениям уточняется искомыми функциями в виде суммы произведений функций с разделенными переменными. Такое разложение позволяет учесть статические граничные условия по всему контуру РСПБ.

Обязательным требованием используемые вариационного метода является закрепление угловых точек контура РАСПБ (шарнирное или жесткое).

Применительно к расчёту РСПБ разделяющие уравнения приводятся к системе конечно-разностных уравнений соответствующих координатным направлениям. Пренебрегая деформацией кручения элементов РСПБ, в качестве иллюстраций была численно реализована описанная методика для РСПБ, состоящей из 11 балок в каждом направлении с соотношением размеров сторон: 1:1, 1:2, 1:3. В качестве аппроксимирующих функций использовались ортогональные системы функций: тригонометрические и полиномы Лежандра.

Результаты расчётов уже в первом приближении вариационного метода дали близкие по значениям результаты, отличающиеся от данных расчёта методом перемещений на 3,6% и 28% соответственно. Результаты расчёта прямоугольных РСПБ показали, что максимальное значение функции узловых прогибов соответствует середине длинной стороны РСПБ.

МОДЕЛИРОВАНИЕ РАБОТЫ РЕЗЕРВУАРА, ВЗАИМОДЕЙСТВУЮЩЕГО С ДВУХСЛОЙНЫМ ОСНОВАНИЕМ

Синева Н.Ф., Селиванов Ф.С., Горностаева А.Н.
СГТУ, г. Саратов, Россия

Расчёт изгибаемых конструктивных элементов, взаимодействующих с неоднородным слоистым основанием, при наличии в элементе ребер, складок и других разрывов однородности связан с большими трудностями.

Рассмотрим деформирование шарнирно опертой цилиндрической оболочки изотропной по координате θ (в цилиндрической системе координат), нагруженная силой интенсивности $q = 500 \text{ кН/м}$ (с шагом 10 кН/м). Длина оболочки $L = 6 \text{ м}$, радиус оболочки $R = 4 \text{ м}$. Коэффициент Пуассона материала основания $\nu = 0,35$. Толщина 1-го слоя основания $h_1 = 2 \text{ м}$, 2-го слоя основания $h_2 = 3 \text{ м}$. Модуль деформации 1-го слоя основания $E_1 = 35481 \text{ кПа}$, 2-го слоя – $E_2 = 9845 \text{ кПа}$. Оболочка неоднородная по координате x . Неоднородность оболочки связана с разрывом в модуле упругости, так как оболочка изготовлена из разномодульного материала. Модуль деформации материала оболочки $E_O = 18000 \text{ МПа}$. Толщина стенки оболочки для участка по x от 0 до $x_0 - H_O = 0,05 \text{ м}$ и $H_O = 0,06 \text{ м}$ для участка по x от x_0 до L .

Для описания разрыва мы будем использовать единичную функцию Хевисайда (от одной переменной)

$$\Omega_0(x-x_0) = \begin{cases} 1, & x < x_0; \\ 0, & x > x_0. \end{cases}$$

Разрывную толщину оболочки $H_O(x)$ можно записать с использованием функции Хевисайда:

$$\begin{aligned} H_O(x) &= H_{O1} \cdot (1 - \Omega_0(x - x_0)) + H_{O2} \cdot \Omega_0(x - x_0) = \\ &= H_{O1} - H_{O1} \cdot \Omega_0(x - x_0) + H_{O2} \cdot \Omega_0(x - x_0) = \\ &= H_{O1} \cdot \left(1 - \left(1 - \frac{H_{O2}}{H_{O1}} \right) \cdot \Omega_0(x - x_0) \right) \end{aligned}$$

где x_0 – точка разрыва по координате x толщины оболочки $H_O(x)$, в которой происходит его изменение с H_{O1} на H_{O2} .

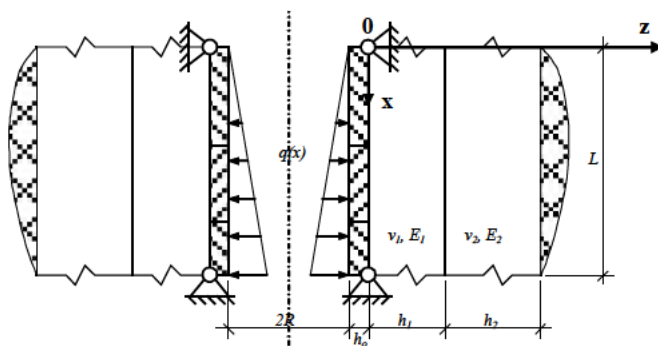


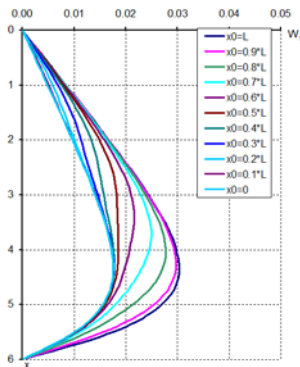
Рис. 1.

Материал основания – физически линейный.

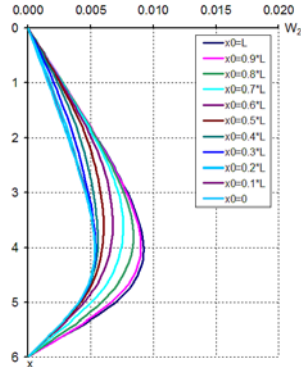
Рассмотрим различные случаи расположения x_0 , а именно:

$x_0 = L, H_0 = 0,5$	$x_0 = 0,7 \cdot L$	$x_0 = 0,4 \cdot L$	$x_0 = 0,1 \cdot L$
$x_0 = 0,9 \cdot L$	$x_0 = 0,6 \cdot L$	$x_0 = 0,3 \cdot L$	$x_0 = 0, H_0 = 0,6$
$x_0 = 0,8 \cdot L$	$x_0 = 0,5 \cdot L$	$x_0 = 0,2 \cdot L$	

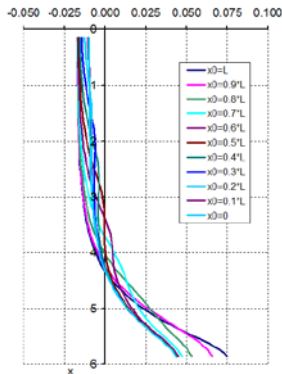
Графики перемещений срединной поверхности оболочки и поверхности, угол поворота и изгибающий момент приведены на рис. 2.



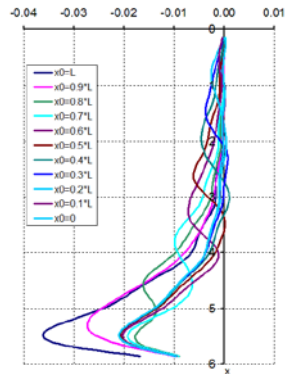
перемещения 1-го слоя



перемещения 2-го слоя



угол поворота



приведенный изгибающий момент

Рис. 2

МОДЕЛИРОВАНИЕ СИСТЕМЫ «НЕОДНОРОДНЫЙ РЕЗЕРВУАР – ДВУХСЛОЙНОЕ ОСНОВАНИЕ»

Синева Н.Ф., Селиванов Ф.С., Тоистев А.М.
СГТУ, г. Саратов, Россия

Рассмотрим расчёт деформаций цилиндрической оболочки, взаимодействующей со слоистой средой.

Поставим модельную задачу – шарнирно опёртая цилиндрическая оболочка рис. 1) изотропная по координате θ (в цилиндрической системе координат), нагруженная равномерно-распределенной силой интенсивности $p = 300 \text{ кН/м}$ (с шагом 10 кН/м). Длина оболочки $L = 6 \text{ м}$, толщина стенки $H_0 = 0,5 \text{ м}$, радиус оболочки $R = 4 \text{ м}$. Модуль деформации материала

оболочки $E_O = 18000 \text{ МПа}$. Коэффициент Пуассона материала оболочки $\nu_O = 0,35$, основания $\nu = 0,35$. Толщина 1-го слоя основания $h_1 = 1 \text{ м}$, 2-го слоя основания $h_2 = 3 \text{ м}$. Модуль деформации 1-го слоя основания $E_1 = 9845 \text{ кПа}$, 2-го слоя – $E_2 = 9845 \text{ кПа}$. Оболочка неоднородная по координате x . Неоднородность оболочки связана с разрывом в модуле упругости, так как оболочка изготовлена из разномодульного материала.

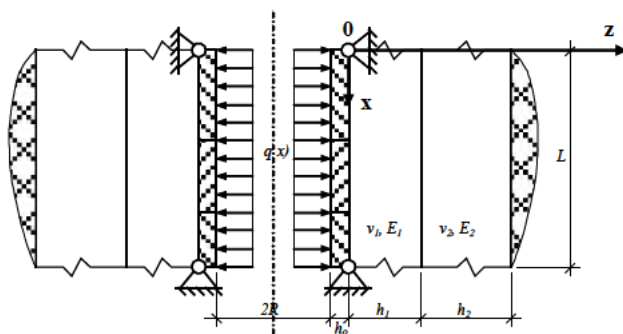


Рис. 1

Для описания разрыва мы будем использовать единичную функцию Хевисайда (от одной переменной)

$$\Omega_0(x-x_0) = \begin{cases} 1, & x < x_0; \\ 0, & x > x_0. \end{cases}$$

Разрывный модуль упругости оболочки $E_{Ob}(x)$ может быть записан с использованием функции Хевисайда:

$$\begin{aligned} E_{Ob}(x) &= E_{Ob1} \cdot (1 - \Omega_0(x-x_1)) + E_{Ob2} \cdot \Omega_0(x-x_1) = \\ &= E_{Ob1} - E_{Ob1} \cdot \Omega_0(x-x_1) + E_{Ob2} \cdot \Omega_0(x-x_1) = \\ &= E_{Ob1} \cdot \left(1 - \left(1 - \frac{E_{Ob2}}{E_{Ob1}} \right) \cdot \Omega_0(x-x_1) \right) \end{aligned}$$

где x_1 – точка разрыва модуля упругости оболочки $E_{Ob}(x)$, в которой происходит его изменение с E_{Ob1} на E_{Ob2} .

Графики перемещений срединной поверхности оболочки и поверхности, угол поворота и изгибающий момент приведены на рис. 2.

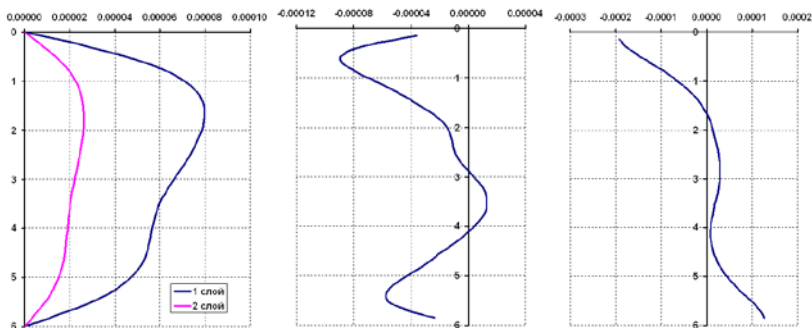


Рис. 2:

а – перемещения; б – угол поворота; в – приведенный изгибающий момент

ВЛИЯНИЕ РАЗНОСОПРОТИВЛЯЕМОСТИ МАТЕРИАЛА НА НДС КРУГОВОЙ ЦИЛИНДРИЧЕСКОЙ ОРТОТРОПНОЙ ОБОЛОЧКИ

Спасская М.В., Теличко В.Г., Трещёв А.А.

ТулГУ, г. Тула, Россия

Рассматривается задача о нагружении круговой цилиндрической оболочки равномерно распределенной нагрузкой, приложенной перпендикулярно к внутренней поверхности оболочки. В качестве граничных условий принято жесткое защемление по одному торцу оболочки.

В рамках теории Трещёва А.А. [1, 2] были получены разрешающие дифференциальные уравнения, описывающие напряженно-деформированное состояние круговой цилиндрической ортотропной оболочки, выполненной из разнородного материала. Следуя методике последовательных нагружений, были линеаризованы полученные разрешающие дифференциальные уравнения. С помощью метода конечных разностей получена система линеаризованных алгебраических уравнений.

В программном комплексе MATLAB разработана прикладная программа для решения поставленной задачи. Используя разработанную математическую модель и прикладную программу расчёта, решена задача по определению НДС круговой цилиндрической оболочки, выполненной из графита АТJ-S с учетом ортотропии и разнородности материала. Исходные данные для расчёта: толщина оболочки $h = 0,03$ м, радиус срединной поверхности оболочки $R = 0,3$ м, длина $L = 1,5$ м; нагрузка на оболочку равномерно распределенная $q = 600$ кПа.

Сравнение результатов расчёта по предложенной модели проводилось с результатами расчёта, полученными по классической теории анизотропных материалов, на основе программного комплекса ANSYS.

Значения осевых напряжений, полученные без учета разнородности, в заделке превышают результаты по модели с учетом разнородности на 15,2%, однако, на расстоянии $0,3L \dots L$ данные с учетом разнородности выше на 78,3%. Для окружных напряжений данные с учетом разнородности меньше на 7,6%, чем без ее учета. Расхождение в значениях максимальных прогибов составляет 14%.

Проанализировав результаты, можно сделать вывод, что учет влияния разнородности при расчёте цилиндрических оболочек значительно влияет на точность расчёта параметров НДС.

Библиографический список

1. Трещёв, А.А. Анизотропные пластины и оболочки из разнородных материалов / А.А. Трещёв. – М., Тула: РААСН, ТулГУ, 2007. – 160 с.
2. Трещёв, А.А. Теория деформирования и прочности материалов, чувствительных к виду напряженного состояния. Определяющие соотношения: монография / А.А. Трещёв. – М., Тула: РААСН, ТулГУ, 2008. – 264 с.

ВЛИЯНИЕ ТЕМПЕРАТУРНОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ НА НДС КРУГОВОЙ ЦИЛИНДРИЧЕСКОЙ ОБОЛОЧКИ ИЗ ОРТОТРОПНОГО РАЗНОСОПРОТИВЛЯЮЩЕГОСЯ МАТЕРИАЛА

Спасская М.В., Трещёв А.А.

ТулГУ, г. Тула, Россия

Рассматривается задача о нагружении круговой цилиндрической оболочки равномерно распределенной нагрузкой, приложенной перпендикулярно к внутренней поверхности оболочки, также оболочка воспринимает температурное воздействие. В качестве граничных условий принято жесткое защемление по одному торцу оболочки, т.е. прогибы и углы поворота равны нулю, в качестве начальных условий принята температура оболочки 0°C .

Основные этапы решения задачи:

- 1) получение разрешающих дифференциальных уравнений, описывающих напряженно-деформированное состояние круговой цилиндрической ортотропной разнородной оболочки, в рамках теории Трещёва А.А. [1, 2];
- 2) следуя методике последовательных нагружений, линеаризация полученных разрешающих дифференциальных уравнений;
- 3) получение системы линеаризованных алгебраических уравнений с помощью метода конечных разностей;
- 4) разработка прикладной программы на ПК для решения задачи по определению напряженно-деформированного состояния круговой цилиндрической ортотропной оболочки, выполненной из разнородного материала;

5) решение задачи по определению НДС круговой цилиндрической ортотропной разнсопротивляющейся оболочки в условиях термоупругого нагружения, при использовании разработанной математической модели и прикладной программы расчёта;

6) сравнение результатов решения задачи с учетом и без учета температурного воздействия.

Исходные данные для расчёта: материал оболочки графит АТJ–S, толщина оболочки $h = 0,03$ м, радиус срединной поверхности оболочки $R = 0,3$ м, длина $L = 1,5$ м; нагрузка на оболочку равномерно распределенная $q = 600$ кПа; на внутренней поверхности оболочки температура поддерживается постоянной $10\text{ }^{\circ}\text{C}$; на внешней поверхности оболочки температура также поддерживается постоянной $40\text{ }^{\circ}\text{C}$; в начальный момент времени оболочка имеет температуру $0\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Расхождение в значениях максимальных прогибов с учетом и без учета температурного воздействия составляет $18,4\%$. Для осевых напряжений во внутренней поверхности оболочки значения, полученные без учета температуры, в заделке превышают результаты с учетом температурного воздействия на $4,9\%$, кроме того, на расстоянии $0,3L \dots L$ данные с учетом температуры ниже на $64,8\%$. Однако, для осевых напряжений во внешней поверхности оболочки значения, полученные без учета температуры, в заделке меньше результатов с учетом температурного воздействия на $16,5\%$, кроме того, на расстоянии $0,3L \dots L$ температурное воздействие вообще меняет знак напряжений. Для максимальных окружных напряжений во внутренней поверхности оболочки значения с учетом температуры меньше на $6,3\%$, чем без ее учета, во внешней – $24,5\%$. Благодаря температурному воздействию на свободном конце оболочки появляются моменты, которые отсутствовали в механической части задачи. С повышением температурного перепада растут прогибы, а также увеличиваются значения напряжений. При повышении перепада температур на $10\text{ }^{\circ}\text{C}$ прогибы увеличиваются на $4 \dots 6\%$, а напряжения на $3,5 \dots 4,5\%$.

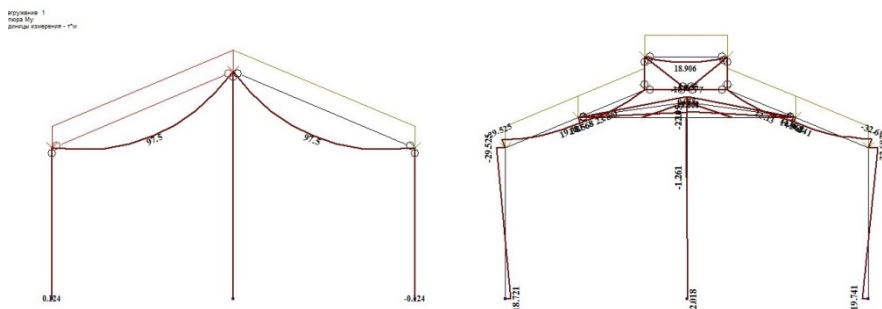
Проанализировав результаты, можно сделать вывод, что учет температурного воздействия при расчёте цилиндрических оболочек значительно влияет на параметры напряженно-деформированного состояния.

Библиографический список

1. Трещёв, А.А. Анизотропные пластины и оболочки из разнсопротивляющихся материалов / А.А. Трещёв. – М., Тула: РААСН, ТулГУ, 2007. – 160 с.
2. Трещёв, А.А. Теория деформирования и прочности материалов, чувствительных к виду напряженного состояния. Определяющие соотношения: монография / А.А. Трещёв. – М., Тула: РААСН, ТулГУ, 2008. – 264 с.

СТИ НИТУ МИСиС, г. Старый Оскол, Россия

Для выявления действий распределенной нагрузки в 5 тс на рамную конструкцию воспользуемся возможностями программно-расчётного комплекса ЛИРА 9.4. Для создания условий, приближенным к требуемым, необходимо ограничить перемещение опор в осях X, Y, Z и моментами UX, UY, UZ. Конструкции необходимо придать жесткость материала. Для этого зададим жесткость составной равнополочной двутавровой балки 500×25. При помощи инструментов программного комплекса ЛИРА 9.4 приложим к конструкции распределённую нагрузку в 5 тс. Для сравнения расчётных характеристик двухпролётной рамы с Т-образной опорой, усиленной вантами, имеющей консольные ригели и разгружающий фонарь, рассчитаем типовую двухпролётную рамную конструкцию.



На рис. 1 видно, что максимальный изгибающий момент в типовой рамной конструкции (слева) равен 97,5 тс·м, а в усовершенствованной (справа) – 32,6 тс·м, что в 2,991 раза меньше.

ДОЛГОВЕЧНОСТЬ ГИБКИХ НЕЛИНЕЙНО УПРУГИХ ПОЛОГИХ ОБОЛОЧЕК ПЕРЕМЕННОЙ ТОЛЩИНЫ

Тажинова О.Г.
СГТУ, г. Саратов, Россия

Рассматриваем нелинейно деформируемые пологие оболочки переменной толщины $h(x, y)$ под действием равномерно распределенной поперечной нагрузки q и двусторонней агрессивной среды.

Используем выражение вида $\Delta D_\sigma = (2/3)[E_k \Delta D_\varepsilon F(B) + E_c D_\varepsilon F'(B) \Delta B]$, где ΔD_σ , ΔD_ε – соответственно приращения компонентов девиатора тензора напряжений и девиатора тензора деформаций, $E_k = d\sigma_i / d\varepsilon_i$ и $E_c = \sigma_i / \varepsilon_i$ – соответственно касательный и секущий модули, $F(B)$ – функция деградации секущего модуля, B – концентрация агрессивной среды в точке материала.

Для расчёта оболочек используем двухшаговый метод последовательного возмущения параметров В.В. Петрова (ДМПВП) и метод конечных разностей (МКР). Сначала пошаговым образом нагружаем оболочку поперечной нагрузкой, далее считаем, что $q = \text{const}$, а изменение НДС оболочки определяется деградацией свойств ее материала. При этом система разрешающих инкрементальных уравнений в смешанной форме решается при последовательном двустороннем увеличении толщины пораженного слоя на величину $\Delta \delta = h_0 / 512$, где h_0 – толщина оболочки в центре.

По формуле $t = (\delta(t) / \alpha)^2$ находим время воздействия агрессивной среды, причем экспериментальный коэффициент α (мм / год^{0.5}) определяется для конкретной пары «материал оболочки – агрессивная среда». Для пологих цилиндрических панелей с кривизнами $k_x = 0$, $k_y > 0$ принят закон изменения толщины вида $h(x) = h_0 + (h_0 / 3) \cos(4\pi x)$, моделирующий ребра жесткости по направлению y .

Вводим малую несимметрию в поперечную нагрузку $\Delta q(y)$ при величинах нагрузки q , достаточно близких к величине бифуркационной нагрузки $q_{\text{биф.}}$ панелей.

Выявлено, что в процессе деградации свойств поверхностных слоев материала панелей, начиная с некоторого значения величины пораженного слоя δ_n , малому приращению $\Delta \delta = h_0 / 512$ соответствует большие приращения параметров НДС панели, свидетельствующие о потере ею устойчивости. Кроме того, выявлено, что при одинаковом объеме панелей с $h = \text{const}$ и $h = h(x, y)$ критические нагрузки $q_{\text{биф.}}$ и долговечность t выше у панелей с толщиной вида $h(x) = h_0 + (h_0 / 3) \cos(4\pi x)$. Это свидетельствует о возможности повышения $q_{\text{биф.}}$ и долговечности цилиндрических панелей при рациональном распределении материала по их плану.

РАСЧЕТ КРИВОЛИНЕЙНОЙ ФЕРМЫ РАЗЛИЧНЫМИ МЕТОДАМИ

Тажинова О.Г., Ращепкина С.А.
ИТТУ СГТУ, г. Балаково, Россия

Расчёт фермы велся аналитическим методом и с применением ПК ЛИРА. Аналитический метод включает три способа: способ вырезания узлов, способ моментной точки, способ проекций. Программный комплекс ЛИРА – это многофункциональный программный комплекс для расчёта, исследования и проектирования конструкций различного назначения.

Выполним расчёт и проверку сечений стержней фермы на прочность и устойчивость на действие постоянной нагрузки при следующих данных: $L = 37$ м, $H = 15$ м. Сначала вводится постоянная нагрузка, действующая на ферму, создаются расчётные сочетания усилий, и выполняется расчёт. Повторный расчёт выполняется после получения результатов предварительного расчёта. Назначаются сечения элементов фермы с учетом результатов, полученных в предварительном расчёте. При этом элементы с близкими по значению усилиями принимаются одинакового сечения. На рис. 1 показана эпюра усилий N , полученная в программном комплексе.

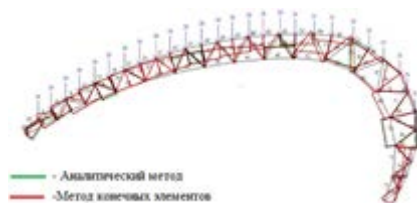


Рис. 1.

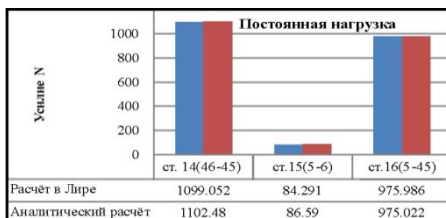


Рис. 2.

На основе анализа таблиц и эпюр построены гистограммы для стержней фермы. Полученные данные имеют близкие значения.

Анализ полученных расчётов методами строительной механики (способ вырезания узлов, способ моментной точки, способ проекций) и методом конечных элементов с помощью программного комплекса показал высокую сходимость различных методов расчёта фермы сложного очертания; имеются расхождения 0...3% (рис. 2).

Расхождения вызваны округлением расчётных данных при выполнении аналитическим методом. Так как значение усилий, рассчитанные методами строительной механики, практически совпадают со значениями, полученные в программном комплексе, то можно рекомендовать рассчитывать подобные криволинейные фермы с использованием ПК ЛИРА, что существенно сокращает время на выполнения численных расчётов.

К ВОПРОСУ ОБ ОБЕСПЕЧЕНИИ СОВМЕСТНОЙ РАБОТЫ СТЕНОК ТОНКОСТЕННЫХ ХОЛОДНОГНУТЫХ ПРОФИЛЕЙ В СОСТАВЕ ИС-СЕЧЕНИЯ

Теличко Г.Н.
ТулГУ, г. Тула, Россия

Стержневые конструктивные элементы, имеющие открытые составные сечения из тонкостенных холодногнутох оцинкованных профилей толщиной до 2 мм, обнаруживают существенные преимущества в сравнении аналогичными элементами из одиночных профилей. В частности, экспериментально установлено, что подобное сечение из двух С-сечений, соединенных стенками, показывает следующие характеристики при центральном сжатии [1]:

Длина, мм	Сечение	N _{cr} , кН		N _{cr,IC} /N _{cr,c}
		С-сечение	ИС-сечение	
1500	C200/1,5	30,66	77,90	2,54
1500	C200/2,0	44,56	107,20	2,41
2500	C200/1,5	24,06	74,61	3,10
2500	C200/2,0	36,10	116,85	3,24

Получение этих характеристик соответствует схеме соединения стенок С-сечений, использующей винты-саморезы, расположенные в три ряда по длине элемента. Расстояние между винтами составляет от 400 до 600 мм.

В работе [2] исследуется этот же тип сечения, образованный соединением стенок двумя рядами болтов при значительно меньшем шаге – порядка 200 мм (при тех же длинах элемента).

Обращает на себя внимание тот факт, что в первом случае расстояние между винтами составляет 2-3 высоты сечения, в во втором (между болтами) – в пределах одной высоты.

В нормативных материалах Еврокода 3 в отношении составных сечений, рассчитываемых на центральное сжатие, нет чётких указаний на способы определения шага между узлами соединения стенок для ИС-сечения, хотя такой вид сечения нормами классифицируется.

Отечественных исследования составных сечений на устойчивость при сжатии дают инженеру рекомендации общего вида: «Балки рекомендуется выполнять из спаренных профилей одного типа с высотой стенки от 150 до 250 мм. Профили составной балки должны соединяться друг с другом двумя рядами самонарезающих винтов с шагом *не более* 300 мм» [3, 4]. При этом не поясняются соображения, положенные в основу назначения таких значений.

Поэтому продолжают экспериментальные исследования составных сечений обсуждаемого вида. В частности, в работе [5] получены следующие результаты: шаг болтового соединения исчисляется в радиусах инерции исходного или редуцированного сечения. Для предельного значения шага указывается величина в 40 радиусов инерции редуцированного сечения или 20

радиусов исходного сечения. Теоретического обоснования этих значений не приводится. Интересно, что использование радиусов инерции отражает учёт индивидуальных характеристик составного сечения, чего нет в рекомендациях [3, 4].

Таким образом, на сегодняшний день имеются только экспериментально обоснованные результаты частного характера, регламентирующие конструктивное оформление составного ИС-сечения. К сожалению, эти результаты не являются однозначными.

Библиографический список

1. Gábor Jakab. Analysis and design of cold-formed c-section members and structures: PhD Dissertation. – Budapest: Budapest University of Technology and Economics, 2009. – 115 p.
2. Dandens, Artis. Properties of cold-formed steel sections / Artis Dandens, Jānis Kreilis, Guntis Andersons // Civil Engineering` 11 3rd International Scientific Conference Proceedings, 2011. – Jelgava: Latvia University of Agriculture. – Vol. 3. – P. 166-170.
3. Конструкции междуэтажных и чердачных перекрытий из тонкостенных профилей производства ООО "ТАЛДОМ ПРОФИЛЬ". Рекомендации по проектированию. – М.: ОАО ЦНИИПромзданий, 2003. – 105 с.
4. Рекомендации по проектированию, изготовлению и монтажу конструкций каркаса малоэтажных зданий и мансард из холодногнутых стальных оцинкованных профилей производства ООО «Балт-Профиль» / ЦНИИПСК им. Мельникова. Отв. Исполнитель Э.Л. Айрумян. – М.: ЦНИИПСК, 2004. – 70 с.
5. Кузнецов, А.Ю. Прочность и пространственная устойчивость составных стержневых элементов конструкций из холодногнутых профилей: автореф. дис. ... канд. техн. наук: шифр спец. 05.23.01 / А.Ю. Кузнецов. – Санкт-Петербургский гос. арх.-стр. ун-т. – С-П., 2013. – 25 с.

КЕРАМИКА КАК ДРЕВНЕЙШИЙ ЭКОЛОГИЧЕСКИЙ СТРОИТЕЛЬНЫЙ МАТЕРИАЛ

Торжинская В.В., Лапунова К.А.
РГСУ, г. Ростов-на-Дону, Россия

Керамика – один из самых распространенных и универсальных искусственных минеральных материалов. Она прошла многовековой путь развития, вобрав в себя все многообразие самобытных приемов изготовления, присущих разным народам и эпохам. Из сырцовых глиняных блоков были созданы ранние жилые строения периода неолита, а около V тысячелетия до н.э. люди начали использовать костровый обжиг глиняных предметов быта, что послужило началом производства керамических обжиговых материалов и изделий.

В Древнем Египте широкое применение керамики в быту и монументальном строительстве привело к возникновению отрасли производства сырцового

кирпича, а позднее – обожженного. Сырцовый плитообразный кирпич служил основным строительным материалом древнейших цивилизаций IV–начала II тысячелетия до н.э. на территории Месопотамии (Шумер, Аккад, Вавилон). Обожженным глазурованным кирпичом облицовывали стены храмов-зиккуратов. Керамика в строительстве используется и по настоящее время, доказывая свою незаменимость и потенциал в развитии.

Положительными свойствами керамических материалов являются высокие прочностные и теплотехнические свойства, долговечность, а также практически повсеместное распространение сырья для их производства. В зависимости от требуемых характеристик, свойства керамики можно корректировать с помощью добавок и достигать необходимых показателей. Керамические изделия могут быть глазурованными и неглазурованными. Глазури придают изделиям стойкость к внешним воздействиям, водонепроницаемость и высокие декоративные качества.

Керамика хорошо поглощает радиацию, исходящую бытовой техникой. Она обладает не только низкой электропроводностью, но ещё и яркими антистатическими свойствами, что в свою очередь благоприятным образом сказывается на здоровье и самочувствии человека. Данное свойство керамических стройматериалов широко используется в строительстве трансформаторных подстанций, помещений, предназначенных для хранения и производства взрывоопасных или химически активных веществ.

Керамические изделия пропускают воздух, что положительно влияет на поддержание здорового микроклимата, оптимальной температуры и влажности. Керамика не горит и не выделяет токсичных веществ при нагревании. Даже в древности широко пользовались пожарной безопасностью глины, обмазывая ей свои деревянные жилища. Несмотря на многообразие новых строительных материалов, керамика была и остается одним из наиболее востребованных, качественных и экологичных материалов.

КОНЕЧНЫЙ ЭЛЕМЕНТ ДЛЯ РЕШЕНИЯ СВЯЗАННЫХ ЗАДАЧ ТЕРМОУПРУГОСТИ СУЩЕСТВЕННО НЕЛИНЕЙНЫХ РАЗНОСОПРОТИВЛЯЮЩИХСЯ МАТЕРИАЛОВ

Трещёв А.А., Деягин М.Ю., Павлова Н.С.
ТулГУ, г. Тула, Россия

Среди всех численных методов расчёта конструкций и деталей машин наибольшее распространение имеет метод конечных элементов. Существует множество конечных элементов с различной формой и физическими свойствами для решения различных задач. Авторами строится новый четырёхузловой конечный элемент, описывающий связанное термомеханическое деформирование конструкций из материалов с существенно нелинейной зависимостью механических свойств от вида реализуемого в точке напряженного состояния.

Для учёта разносопротивляемости воспользуемся хорошо апробированной методикой пространств нормированных напряжений [1, 2]. В инвариантах первого пространства строится термодинамический потенциал Гиббса, состоящий из нелинейной и квазилинейной механической частей, температурной части и части, связывающей поля напряжений и температур. Механические константы потенциала определяются с помощью обработки экспериментальных кривых. Необходимо иметь четыре кривые, полученные из двух различных испытаний. Для определения констант температурной части проводятся опыты по нагреванию или охлаждению одноосно растягиваемых и одноосно сжимаемых образцов.

Для линейно упругих материалов объёмные КЭ с учётом связанности были реализованы разработчиками программного комплекса ANSYS. Влияние разносопротивляемости учтём изменением матрицы жесткости при чисто механическом нагружении. Для этого по формуле Кастильяно продифференцируем механические части предложенного потенциала Гиббса и получим матрицу, обратную к матрице упругости. Влияние разносопротивляемости на процесс теплопроводности дополнительно учитываем с помощью применения нелинейных выражений для коэффициентов линейного температурного расширения при выводе матрицы термоупругого затухания.

Для апробации нового конечного элемента в среде C++ разрабатывается прикладная программа. С её помощью будут решены задачи о связанном термомеханическом деформировании оболочек положительной гауссовой кривизны из железобетона.

Библиографический список

1. Трещёв, А.А. Теория деформирования и прочности материалов, чувствительных к виду напряженного состояния. Определяющие соотношения / А.А. Трещёв. – Тула: Изд-во ТулГУ, 2008. – 264 с.
2. Матченко, Н.М., Трещёв А.А. Теория деформирования разносопротивляющихся материалов. Прикладные задачи теории упругости / Н.М. Матченко, А.А. Трещёв. – Тула: Изд-во ТулГУ, 2004. – 211 с.

ОСЕСИММЕТРИЧНЫЙ ДЕФОРМИРОВАНИЕ ЦИЛИНДРИЧЕСКОЙ ТОЛСТОСТЕННОЙ ТРУБЫ ИЗ МАТЕРИАЛОВ, СВОЙСТВА КОТОРЫХ ЗАВИСЯТ ОТ ВИДА НАПРЯЖЕННОГО СОСТОЯНИЯ ПРИ ПОЛЗУЧЕСТИ И ПЛОСКОЙ ДЕФОРМАЦИИ

Трещёв А.А., Захарова И.А., Злобин С.Ф.
ТулГУ, г. Тула, Россия

В современной технике получили широкое распространение трубчатые конструкции, изготовленные из материалов, реологические свойства которых не соответствуют классическим представлениям о механике твердых тел. В

общепринятых теориях ползучести изначально постулируется реологическая несжимаемость реономных материалов и принимается за основу гипотеза единой кривой деформирования во времени. Однако, как показали эксперименты, проведенные на полимерных и композитных материалах, величина давления может существенно изменить характер и механизмы деформационных процессов, вызывая чувствительность параметров ползучести к виду напряженного состояния и к гидростатическому давлению. К таким материалам относится полиметилметакрилат (ПММА), политетрафторэтилен (ПТФЭ) и полиэтилен высокой плотности (ПЭВП). Дилатансия для таких материалов является функцией времени, развиваясь в процессе ползучести в зависимости от вида напряженного состояния. Влияние гидростатического давления на деформацию сдвига не может быть учтено классическими теориями ползучести.

В представленном докладе рассматривается задача осесимметричного деформирования толстостенной круговой трубы при плоской деформации, базирующаяся на потенциале ползучести для изотропных дилатирующих разносопротивляющихся материалов. Для описания процесса ползучести указанных материалов при отсутствии упрочнения использовался потенциал скорости деформаций в виде:

$$W = (A + B\xi + C\eta)\tau^n, \quad (1)$$

где A , B , C , n – константы материала, определяемые в результате обработки экспериментальных данных по исследованию ползучести при одноосном растяжении, сжатии и простом сдвиге; $\xi = \sigma/S_0$, $\eta = \tau/S_0$ – нормированные нормальные и касательные напряжения на девятирной плоскости;

$S_0 = \sqrt{\sigma^2 + \tau^2}$ – норма пространства.

В результате использования методики ассоциированного закона течения на основе потенциала (1) устанавливаются зависимости между скоростями деформаций и напряжениями:

$$\dot{\epsilon}_{ij} = \frac{\partial W}{\partial \sigma_{ij}} = \frac{\partial W}{\partial \sigma} \cdot \frac{\partial \sigma}{\partial \sigma_{ij}} + \frac{\partial W}{\partial \tau} \cdot \frac{\partial \tau}{\partial \sigma_{ij}}, \quad (2)$$

которые положены в основу исследования ползучести толстостенной круговой трубы, находящейся под действием осесимметричной нагрузки. Здесь $\dot{\epsilon}_{ij}$ – компоненты тензора скоростей деформаций.

Рассмотрено нагружение круговых цилиндрических толстостенных труб внутренним или внешним давлением при малых деформациях и в результате решения конкретных задач обнаружен ряд количественных эффектов, связанных с разноползучестью материала трубы.

ЗАДАЧА О ПЛОСКОМ НАПРЯЖЕННОМ СОСТОЯНИИ ДЛЯ ПЛАСТИНКИ С ДВУМЯ ОРТОГОНАЛЬНО НАПРАВЛЕННЫМИ ЭЛЛИПТИЧЕСКИМИ ОТВЕРСТИЯМИ, ВЫПОЛНЕННОЙ ИЗ НЕЛИНЕЙНО ОРТОТРОПНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Трещёв А.А., Морозова А.В.

ТулГУ, г. Тула, Россия

Известно, что одним из практически важным классов задач механики деформируемого твердого тела являются задачи о концентрации напряжений вокруг эллиптических отверстий в пластине с учетом их взаимного влияния в зависимости от их взаимной ориентации. Указанная задача часто служит объектом апробации различных вариантов новых определяющих соотношений.

В представленном докладе рассмотрены задачи деформирования однородных пластинок с двумя взаимно ортогонально ориентированными эллиптическими отверстиями. Пластины выполнены из ортотропных композитов 16К9-27/АТJ-S, AR и PR и при решении задач рассматриваются с учетом нелинейной разнсопротивляемости. Для этой цели принята конечно-элементная модель пластинок с двумя степенями свободы в узле. Основу этой модели составляют треугольные симплексные конечные элементы. Общая формулировка МКЭ принята на основе вариационного принципа Лагранжа.

При решении задачи принимались технические гипотезы: а) поверхность пластинок покрывалась сетью плоских треугольных конечных элементов; б) нагружение считалось простым при активной деформации, поэтому для описания свойств основного материала принимались нелинейные уравнения состояния, представленные через параметры нормированного пространства.

Решение системы алгебраических уравнений рассматриваемых задач с учетом соответствующих граничных условий производилось методом Гаусса. Исходная нелинейная задача решалась методом пошаговых нагружений с учетом итерационного процесса переменных параметров упругости.

Результаты расчёта анализировались на примере деформирования прямоугольных пластин с двумя взаимно ортогонально расположенными эллиптическими отверстиями, нагруженных по краям равномерно распределенными растягивающими или сжимающими нагрузками. При этом ориентация отверстий по отношению к контуру пластин менялась дискретно поворотом на определенный угол (0° , 45° , 90°).

В результате расчёта прямоугольных пластин с отверстиями, выполненных из ортотропных композитов, установлено, что неучет свойств их нелинейной разнсопротивляемости может привести к погрешности в определении основных нормальных напряжений в наиболее напряженных сжатых волокнах до 28...82%, а в растянутых – 32...96%. Погрешность классической теории при определении касательных напряжений находится в пределах 16...46%.

**ПРИМЕНЕНИЕ МОДИФИЦИРОВАННЫХ ГИБРИДНЫХ КЭ
К РЕШЕНИЮ СВЯЗАННЫХ ЗАДАЧ ТЕРМОУПРУГОСТИ**

Трещёв А.А., Теличко В. Г., Чигинский Д.С.

ТулГУ, г. Тула, Россия

Авторами предложена математическая модель связанного изгиба пластин, выполненных из нелинейных разносопротивляющихся материалов, учитывающая двойственный характер термомеханического деформирования. В модели учтена меняющаяся во времени чувствительность коэффициентов линейного температурного расширения к виду напряженного состояния. Влияние вида напряжённого состояния на деформационные характеристики материала учитываются в соответствии с методикой нормированных пространств напряжений Н.М. Матченко и А.А. Трещёва и определяется из термодинамического потенциала Гиббса [1].

Уравнения состояния для термоупругого материала наряду с зависимостями между компонентами тензоров деформаций e_{ij} и напряжений σ_{km} должны содержать выражения для плотности энтропии. Указанные уравнения можно получить, применив к потенциалу Гиббса [2] операцию дифференцирования. Очевидно, что уравнения связи между компонентами тензоров напряжений и деформаций представляют собой тензорно-нелинейную зависимость. Выделив компоненты матрицы податливостей из указанных выше зависимостей, закон упругости можно привести к традиционной форме:

$$e_{ij} = A_{ijk} \sigma_{km}; (i, j, k, m = 1, 2, 3). \quad (1)$$

Заметим, что формы записи соотношений (1) совпадают с обобщенным законом Гука для структурно-анизотропного материала. Однако коэффициенты податливостей A_{ijk} здесь зависят от вида напряженного состояния. Соотношения (1) также удобны для применения метода гибридных конечных элементов в варианте предложенном в работе А.А. Трещёва и Теличко В.Г. [3].

Анализ проведенных численных исследований позволяет сделать вывод об адекватности предложенной математической модели и её пригодности для определения НДС элементов конструкций из нелинейных разносопротивляющихся материалов в условиях термомеханического нагружения.

Библиографический список

1. Матченко, Н.М. Теория деформирования разносопротивляющихся материалов. Определяющие соотношения. / Н. М. Матченко, А. А. Трещёв. – Тула: Изд-во ТулГУ, 2000. – 149 с.
2. Трещёв, А. А. Связанная задача термомеханического изгиба тонких прямоугольных пластин из изотропных разносопротивляющихся материалов / А.А. Трещёв, В.Г. Теличко, Д.С. Чигинский // Известия ТулГУ. Технические науки. – Вып. 2. – Тула: Изд-во ТулГУ, 2011. – С. 494-502.

3. Теличко, В.Г. Гибридный конечный элемент для расчёта плит и оболочек с усложненными свойствами / А.А. Трещёв, В.Г. Теличко // Известия вузов. Строительство. – № 5. – 2003. – Новосибирск: НГАСУ, 2003. – С. 17-23.

АНАЛИЗ ПРОЦЕССА ВЫТЯЖКИ ОБОЛОЧКИ С УЧЕТОМ ДЕФОРМАЦИОННОЙ ПОВРЕЖДАЕМОСТИ МАТЕРИАЛА

Тришина Т.Ю.
ТулГУ, г. Тула, Россия

Процессы вытяжки широко используются в технологии обработки давлением (ОД). При разработке технологических процессов ОД используются методы прикладной теории пластичности, которые позволяют для задаваемых условий деформирования рассчитать поля напряжений, деформаций и связанные с ними технологические параметры и прогнозируемые структурно-механические свойства материала готовых изделий.

Достоверное определение напряженно-деформированного состояния (НДС) в процессах ОД становится особенно актуальным при изучении распределения деформаций и деформационной повреждаемости по объёму обрабатываемых изделий, прогнозировании предельного состояния материала. Например, предельное состояние в зонах интенсивной деформации существенно зависит от истории деформации, от вида напряженного состояния, эффекта локального тепловыделения, связанного с энергией диссипации пластической деформации. Всё это делает задачу достоверного определения НДС актуальной в технологии ОД.

Современные КЭ программы успешно решают технологические задачи ОД. Однако, для более глубокого исследования процессов пластической деформации всегда использовались и другие методы, связанные с физическим механизмом пластической деформации. К ним относится метод линий скольжения для изучения процессов плоского пластического течения. Применение метода линий скольжения для изучения рассматриваемого процесса вытяжки осесимметричных цилиндрических оболочек является целесообразным при исследовании деформационной повреждаемости микродефектами.

Экспериментально установлено, что крупные дефекты (поры) генерируют микрополосы скольжения. Поэтому определение поля линий (полос) скольжения оказывается необходимым для прогнозирования деформационной повреждаемости и предельного состояния материала перед его макроразрушением. Актуальным является расчёт накопленных деформаций при перемещении частиц материала вдоль траекторий в пластической области, основанная на отображении линий тока в плоскости скоростей течения. Это позволяет установить распределение повреждаемости по толщине стенки готовой детали. Для расчёта напряжений (и параметра повреждаемости) в узловых точках пластической области решается краевая задача в смешанном виде, когда на контактной

поверхности деформирующего инструмента (пуансона и матрицы) задаются напряжения в неявном виде, в виде связи между касательным и нормальным напряжениями.

При вытяжке с утонением цилиндрической оболочки с соотношениями ее толщины и диаметра $s/d \leq 0,05$ реализуется плоское деформированное состояние, так как окружающая деформация очень мала. Это обстоятельство позволяет описывать НДС в плоской системе декартовых координат X, Y дифференциальными уравнениями равновесия, условием текучести, условием соосности девиаторов скорости деформации e_{ij} и напряжения s_{ij} и условием несжимаемости. Прогнозирование деформационной повреждаемости материала готовой детали проводится на базе численного интегрирования определяющих зависимостей для нормированных мер повреждаемости.

$$\omega_1 = \int_0^{\varepsilon_{eq}} \frac{[\bar{\varepsilon}_{kk}(\varepsilon_{eq})]'}{\bar{\varepsilon}_f(\varepsilon_{eqf})} d\varepsilon_{eq}, \quad \omega_1 = \int_0^{\varepsilon_{eq}} \frac{3}{\sqrt{2}} \frac{[\bar{\varepsilon}_{eq}(\varepsilon_{eq})]'}{\bar{\varepsilon}_f(\varepsilon_{eqf})} d\varepsilon_{eq}, \quad \omega_{eq} = \int_s \sqrt{(d\omega_1)^2 + (d\omega_2)^2}, \quad (1)$$

где $\bar{\varepsilon}_{kk}$, $\bar{\varepsilon}_{eq}$ – пластическая дилатансия и эквивалентная девиаторная деформация на мезоуровне (мезооболочек с порами); $\bar{\varepsilon}_f = \left((\bar{\varepsilon}_{kkf})^2 + (9/2)(\bar{\varepsilon}_{eqf})^2 \right)^{1/2}$

модуль вектора разрушения $\bar{O}\zeta_f$; $\bar{\varepsilon}_{kkf}$, $(3/\sqrt{2})\bar{\varepsilon}_{eqf}$ – координаты вектора $\bar{O}\zeta_f$; ε_{eqf} – эквивалентная деформация разрушения на макроуровне; штрих означает производную по параметру, определяющему процесс деформации (в данном случае по величине ε_{eq}).

Установлено, что материал готовой оболочки из отоженной меди будет иметь меньшую эквивалентную поврежденность ($\omega_{eq} = 0,59 \dots 0,73$) по сравнению с оболочкой из меди в состоянии поставки ($\omega_{eq} = 0,67 \dots 0,82$). Существенно также, что вдоль различных траекторий движения частиц накопление поврежденности происходит неравномерно и с разной интенсивностью. Это обстоятельство приводит к неравномерному распределению конечной поврежденности по толщине стенок готовой оболочки. Установлено существенное влияние угла рабочего конуса вытяжной матрицы на уровень деформационной повреждаемости материала готовой цилиндрической оболочки. Уменьшение этого угла от значений $\varphi = 15^\circ \dots 18^\circ$ до $\varphi = 11^\circ \dots 13^\circ$ приводит к смещению параметра трехосности напряженного состояния $\bar{\sigma}$ в область отрицательных значений и, в соответствии с годографом разрушения, к большей предельной деформации и снижению повреждаемости.

МИКРОСЕТКИ – НОВОЕ СЛОВО В ТЕХНОЛОГИИ ДИСПЕРСНОАРМИРОВАННЫХ БЕТОНОВ

Трофимов В.И., Пупенин К.И., Валюженич П.М.

ТГТУ, г. Тверь, Россия

В настоящее время проектировщики и строители начинают все шире применять новый композиционный материал – фибробетон, представляющий собой матрицу из мелкозернистого бетона, армированной отрезками стальных или синтетических волокон.

За последние годы выполнены значительные работы по разработке научных основ и обоснованию эффективного использования дисперсных волокон различной формы и размеров для дисперсного армирования бетона. Однако все они касаются в основном работы контактной области волокон и не затрагивают возможную работу под нагрузкой их внутреннего объема, что снижает эффективность работы фибры как армирующего, так и структурно регулирующего элемента.

На наш взгляд наиболее эффективным элементом, позволяющим целенаправленно формировать структуру бетона и в тоже время повышать ее прочность, является фибра с перфорированной поверхностью. Нами предложена новая методика повышения эффективности дисперсного армирования мелкозернистого бетона, путем использования эффекта микрообъемного армирования матрицы за счет включения в нее микросеток (патент № 2490406). В этом случае фибра может выполняться плоской – в виде фибросетки, и объемной – в виде перфорированной фибротрубки.

При действии нагрузки на матрицу, армированной микросетками, в работе будет задействован больший ее объем, при этом общее сопротивление сдвигу будет складываться из двух составляющих – из сопротивления сдвига матрицы и сопротивления сдвига по поверхности адгезии. В отличие от обычных волокон, фибросетки или перфорированные фибротрубки способны воспринимать повышенные сдвиговые нагрузки, возникающие в бетонном камне при внешнем воздействии на него.

Выполненные предварительные исследования на модельных смесях из цементно-песчаных растворов показали, что достигается значительное увеличение прочности бетона на сжатие при использовании стальных перфорированных фибротрубок (на 36%) и полимерных фибросеток (на 29%). Это объясняется тем, что микросетки (плоские и объемные), с одной стороны, выполняют функцию микро-объемного армирования, а с другой стороны, повышают площадь поверхности адгезии к бетону, взаимодействуя с ним как по внутренней, так и по наружной поверхности.

В заключение можно сделать вывод, что предложенная методика улучшения структурно-механических свойств мелкозернистого фибробетона на ос-

нове использования особым образом новой фибры, выполненной в виде фибросеток или перфорированных фибротрубок, позволяет повысить надежность бетонных покрытий, при их сложной работе в области сжимающих и растягивающих напряжений. Особенно это важно в случае использования их в дорожном и аэродромном строительстве в арктических районах.

EXPERIMENTAL STUDY AND MODELING OF DAMAGE OF AL ALLOYS

Tutyshkin N.D.

Tula State University, Tula, Russia

Müller W.H., Wille R.

Berlin University of Technology, Berlin, Germany

This paper presents and evaluates experiments for the characterization and modeling of damage of structural aluminum and aluminum-magnesium alloys. Tensile tests were performed for specimens with artificial defects (voids) represented by different arrangements of pre-drilled micro-holes.

The corresponding stress-strain curves were experimentally obtained. Plastic dilatation and deviatoric strain were determined both for the local zones with artificial defects and directly for meso-elements (*i.e.*, material cells with artificial defects). A symmetric second-rank order tensor of damage was applied for a quantitative estimate of the material damage connected with the volume fraction and shape of micro-defects.

The definition of this tensor is physically motivated since its hydrostatic and deviatoric parts describe the evolution of damage connected with a change in volume fraction and shape of micro-defects, respectively. Such a representation of damage kinetics allows us to use two integral measures for the calculation of damage in deformed materials. The first measure determines damage related to an increase in void volume fraction (*i.e.*, plastic dilatation).

A critical amount of plastic dilatation corresponds to the moment of macro-fracture of the deformed metal. By means of experimental analysis we can determine the function of plastic dilatation which depends on the strain accumulated by material particles under various stress and temperature-rate conditions of forming. The second measure accounts for the deviatoric strain of meso-elements and is related to the change in their shapes.

The critical deformation of ellipsoidal voids corresponds to the onset of their coalescence and to the formation of large cavernous defects. The second measure is considered as a criterion of micro-destruction due to formation of cavities in the deformed material. Based on the experimental data some numerical modeling is realized for the investigated Al alloys in order to take a change in stress triaxiality into account.

It shows that a change in triaxiality toward smaller values results in an appreciable decrease of damage induced by strain. Both damage measures are important for the prediction of the meso-structure quality of metalware produced by metal forming techniques.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ЗОЛЫ КЫЗЫЛОРДИНСКОЙ ТЭЦ В КАЧЕСТВЕ СЫРЬЯ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА КЕРАМИЧЕСКИХ СТЕНОВЫХ МАТЕРИАЛОВ

Удербаяв С.С., Исамбаева Г., Алтай Д., Абжанова А.

КГУ, г. Кызылорда, Казахстан

Развитие теплоэнергетики сопровождается выходом больших количеств золошлаковых отходов, накопление которых создает серьезные экологические проблемы. Важнейшим условием охраны окружающей среды является рациональное комплексное использование природных ресурсов, требующие практических мер по массовому применению отходов. Большие возможности в решении этой экономической и социальной задачи имеет промышленность строительных материалов. Отечественный опыт использования зол и золошлаков теплоэлектростанций показывает, что эти промышленные отходы могут служить постоянным источником сырья для изготовления строительных материалов и конструкций.

В зависимости от структуры и зернового состава они могут быть применимы в растворах и бетонах комплексно, как заменитель части вяжущего, микронаполнитель, улучшающий технологические свойства бетонных и растворных смесей, и заменитель обычных инертных заполнителей.

Исследованиями установлена целесообразность применения зол Кызылординской ТЭЦ. При производстве стеновых керамических материалов рекомендуется использовать, в первую очередь, легкоплавкие золы. Золы, содержащие до 10% топлива, целесообразно использовать, в основном, как отощающую добавку. Золы, содержащие 10% топлива и более, целесообразно использовать в качестве топливосодержащей добавки без введения в шихту технологического топлива.

Исследована возможность и эффективность получения аглопоритового гравия с применением золы до 90% и умереннопластичных или высокопластичных глин 10%.

Химический и минералогический составы золошлаков в основном определяются составом исходного топлива и сложными химическими и фазовыми превращениями, происходящими в процессе его сгорания. Преобладающими минералами в золошлаковых материалах ТЭЦ являются глинистые минералы, в разной степени метаморфизированные.

Для анализа были представлены 7 проб золы гидроудаления Кызылординской ТЭЦ. При проведении испытаний пробы объединены: № I – пробы 1, 2, 3; № II – пробы 4, 5; № III – пробы 6, 7.

Зола гидроудаления Кызылординской ТЭЦ представлена серым сыпучим материалом с размерами частиц от практически пылевидных до 5 мм. Содержание зольной составляющей в золошлаковой смеси находится в пределах 69,39...90,18%, шлакового песка в пределах 9,76...30,61%. Содержание шлакового щебня незначительно – 0,06...1,15 %. В соответствии с ГОСТ 25592-91 «Смеси золошлаковые тепловых электростанций для бетонов» по зерновому составу зола Кызылординской ТЭЦ относится к среднезернистому типу.

Таблица 1 – Гранулометрический состав золы гидроудаления

№ пробы	Остатки на ситах, % по массе,						Прошло через сито 0,14, % по массе
	5,0	2,5	1,25	0,63	0,315	0,14	
I	1,15	0,98	4,98	4,43	16,72	32,48	39,26
II	0,36	0,32	3,02	5,08	21,83	34,52	34,87
III	0,06	0,08	1,32	1,17	7,19	33,28	56,90

Гранулометрический состав зол, используемых в качестве керамического сырья, существенно влияет на их формовочные свойства. В зависимости от гранулометрического состава зол, количества и качества связующих глин, пластичность и структурно-механические свойства зологлиняных смесей колеблется в широких пределах. Вязкость системы с увеличением дисперсности золы уменьшается, пластичность и эластичность повышается, т.е. улучшается формовочная способность зологлиняных композиций.

Петрографическое и микроскопическое исследования показали, что в составе золошлаков можно выделить четыре группы веществ: стекловидное, аморфизованное глинистое, кристаллическое и органическое.

Стекловидное вещество представлено преимущественно сферическими образованиями, подвергнутыми гидратации. Органическая часть золы представлена в виде кокса и полукокса. Кристаллическая фаза золы состоит из зерен кварца, муллита, гематита, каолинита и полевого шпата.

В связи с высоким содержанием потерь при прокаливании (более 10%) золу гидроудаления Кызылординской ТЭЦ при производстве стеновых керамических изделий целесообразно использовать в качестве топливосодержащей добавки и организовать производство стеновых керамических изделий без введения в шихту технологического топлива. На основе тонко- и среднедисперсной золы с добавкой от 25 до 40% среднепластичной глины могут быть получены керамические изделия марки 100-125. По содержанию серы в пересчете на SO₃ (не более 2%) и количества шлаковых включений размером более 3 мм (не более 5%) удовлетворяет требованиям, предъявляемым к золошлаковым смесям.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ОТХОДОВ ПРОМЫШЛЕННОСТИ В ТЕХНОЛОГИИ И ПРОИЗВОДСТВЕ МЕЛКОЗЕРНИСТЫХ БЕТОНОВ

Уруев В.М., Токарева М.И.
ТулГУ, г. Тула, Россия

Современное общество достаточно четко осознает истощаемость природных ресурсов и угрозу экологического загрязнения, в том числе техногенными отходами, накопление которых ежегодно увеличивается. Решение проблемы предполагает ограничение потребления природных ресурсов и принятие мер по защите окружающей среды, главным образом разработку эффективных безотходных технологий за счет комплексного использования сырья.

Рациональным направлением утилизации промышленных отходов является их использование при производстве различного вида продукции. Перспективным является применение отходов промышленности в области строительных материалов, как с позиций замены природного сырья техногенным, так и с позиций уменьшения их отрицательного влияния на окружающую среду.

На основе применения техногенного сырья возможно не только производство традиционных, но и новых эффективных строительных материалов, в частности бетонов.

В настоящее время все более широкое применение в строительстве находят мелкозернистые бетоны, так как большинство регионов Европейской части России не обеспечены высокопрочным крупным заполнителем. Также песчаный бетон обладает рядом достоинств по сравнению с крупнозернистым – это более высокая прочность на изгиб и долговечность. Однако, главным недостатком мелкозернистых бетонов является повышенный расход цемента, вызванный отсутствием крупного заполнителя. Таким образом, исследование и внедрение в производство мелкозернистых бетонов с использованием техногенного сырья является перспективным и выгодным направлением, как с точки зрения промышленности строительных материалов, так и с точки зрения экологии и защиты окружающей среды.

Металлургические шлаки и золы ТЭЦ, микрокремнезем и другое техногенное сырье нашли свое применение в песчаных бетонах как заполнители, наполнители, в виде минеральных добавок, а также в составе композиционных вяжущих.

Одним из путей снижения расхода цемента в мелкозернистых бетонах является использование в качестве вяжущего цемента низкой водопотребности (ЦНВ), благодаря замене портландцемента в ЦНВ на 30-70% молотым наполнителем увеличивается жесткость цементного камня, что снижает деформативность мелкозернистого бетона.

В качестве микронаполнителя могут применяться шлаки золы, которые способствуют повышению плотности и стойкости цементного камня в пресных и сульфатных водах; тонкомолотый известняк, снижающий водопотребность и расслаиваемость бетонных смесей другие тонкодисперсные техногенные отходы.

В качестве тонкодисперсных кремнеземсодержащих наполнителей в песчаных бетонах используется микрокремнезем, представляющий собой отход, образующийся в процессе осаждения в электрофильтрах, при производстве кристаллического кремния. Частицы микрокремнезема в 100 раз меньше зерен цемента, содержат более 90% SiO_2 , что предполагает мощный пуццолановый эффект. Также используется зола-унос ТЭЦ, обладающая удельной поверхностью 3000-3500 $\text{см}^2/\text{г}$. Эти отходы не требуют специальной подготовки при их введении в бетонную смесь. Имеются данные, что 1 кг микросиликата может заменить несколько килограмм цемента в бетоне при обеспечении той же прочности в 7 и 28-суточном возрасте.

При дроблении известняка образуются карбонатные высевки, которые также могут использоваться в качестве микронаполнителя. Из литературных данных известно, что тонкомолотый известняк способствует уменьшению водоотделения, водопотребности и расслаиваемости бетонных смесей, повышению их водоудерживающей способности, пластичности, однородности, снижению усадки, а также улучшению их водо- и морозостойкости.

Имеются исследования о положительном использовании в качестве наполнителя молотых некондиционных песков, в виде отсева фракции менее 0,14...0,16 мм. Рекомендуются также пылевидные кварцевые пески, а также другие кварцсодержащие породы, например, высевки от дробленого кварцита, горного хрусталя, содержащие не менее 80% кремнезема.

В мелкозернистых бетонах золошлаковые нашли свое применение и в роли заполнителей. В песчаном бетоне на однокомпонентном заполнителе из золошлаковой смеси песок полностью заменяется золошлаковой смесью, содержащей мелкодисперсные золы, мелкие и крупные фракции шлака, при этом не наблюдается снижение прочности.

Мелкозернистые бетоны на шлакопесчаном заполнителе изготавливаются из шлака раздельного гидроудаления и природного кварцевого песка. По предварительным данным, такой бетон более экономичен, чем песчаный бетон на двухфракционном кварцевом песке (на 20...25% по расходу цемента).

Одним из основных направлений в сокращении расхода цемента в песчаных бетонах является применение матричнонаполняющих добавок с наномасштабным уровнем. С этой целью ведутся исследования по разработке комплексной органоминеральной добавки. Комплексная органоминеральная добавка представляет собой смесь микронаполнителя, наполнителя и щелочного активатора с катионами металлов. Микронаполнитель – тонкомолотый

известняк, отход горнодобывающей промышленности; наполнитель – кварцевая мука, отход высева от дробленого кварцита. В результате проведенных испытаний установлено, что данная комплексная добавка позволяет снизить расход цемента на 10...15%.

На основе проведенных исследований можно рекомендовать применение техногенных отходов в области промышленности строительных материалов.

Библиографический список

1. Копаница, Н.О. Тонкодисперсные добавки для наполненных вяжущих на основе цемента / Н.О. Копаница, Л.А. Аниканова, М.С. Макаревич // Строительные материалы. – 2002. – № 9. – С. 2-3.
2. Зинов, И.А. Высокопрочный бетон с добавкой микрокремнезема / И.А. Зинов, С.П. Горбунов // Известия вузов. Строительство и архитектура. – 1990. – № 4. – С. 55.

ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАВИСИМОСТИ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ МЕЛКОЗЕРНИСТОГО БЕТОНА НА ОСНОВЕ ОТХОДОВ ДРОБЛЕНИЯ ОТВАЛЬНЫХ ДОМЕННЫХ ШЛАКОВ ОТ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ В ПРОЦЕССЕ ВИБРОПРЕССОВАНИЯ

Уруев В.М., Фадин А.И., Петренко А.В.

ТулГУ, г. Тула, Россия

Отходы дробления отвальных доменных шлаков фракцией 0-5 мм, повышают водопотребность и снижают удобоукладываемость бетонной смеси и, в большинстве случаев, имеют неудовлетворительный гранулометрический состав для получения вибропрессованных изделий. В связи с этим получение качественных вибропрессованных изделий на основе отходов дробления шлака является сложной и актуальной проблемой.

В данной работе исследование проводилось в два этапа:

- на первом этапе при постоянном давлении на смесь исследовалась зависимость прочности при сжатии образцов-кубов от изменения частоты колебаний вибростола;
- на втором этапе при постоянной частоте колебаний вибростола исследовалась зависимости прочности при сжатии образцов-кубов от изменения давления на бетонную смесь.

Применяемые материалы:

- Отход дробления отвальных доменных шлаков, фр. 0...5 мм (ОАО «Косогорский металлургический завод»);
- портландцемент ЦЕМ I 42,5 Н (ООО «Тулацемент»).

Рабочий состав был подобран из расчёта плотности бетонных образцов 2250 кг/м³, В/Ц – 0,34, расход портландцемента – 450 кг, отсева – 1647 кг.

Процесс вибропрессования образцов-кубов производилось в формах 2ФК100 с использованием лабораторной установки, имитирующей процесс вибропрессования, на виброплощадке СМЖ-539, усовершенствованной частотным преобразователем Schneider Electric серия Altivar 312.

Для первого этапа работы было выбрано постоянное давление на смесь 200 г/см² и переменная частота колебаний виброплощадки от 30 до 80 Гц.

На основе полученных результатов, для второго этапа работы было выбрана постоянная частота колебаний виброплощадки 70 Гц и переменное давление пригруза на бетонную смесь от 0 до 400 г/см².

В итоге данных было определено, что без изменения состава можно получить увеличение прочности при сжатии, практически, в полтора раза путем увеличения частоты колебаний вибростолу до 70 Гц (при частоте колебаний – 50 Гц прочность составила 15,9 МПа, а при частоте 70 Гц – 23,6 МПа).

Оптимальным для данного состава является давление на бетонную смесь 250 г/см² (прочность образцов составила 27,6 МПа), дальнейшее увеличение давления не привело к росту прочности.

МЕТОДЫ УСИЛЕНИЯ ГРУНТОВ ОСНОВАНИЙ

Федоров О.А., Шеин А.А., Черных В.К.

СГТУ, г. Саратов, Россия

Одной из актуальных проблем современного фундаментостроения является усиление грунтов. Нынешнее развитие экономики страны предполагает освоение новых территорий для строительства, но, к сожалению, слабые грунты можно встретить почти в любом регионе нашей страны, наибольшее распространение они получили на территории Западной Сибири и Урала.

Необходимость укрепления фундаментов бывает обусловлена тем, что непосредственно под подошвой и на расстояниях, не превышающих глубину сжимаемой толщи, расположены рыхлые грунты с низкими деформационными характеристиками.

Наличие неоднородных «слабых» грунтов в основании фундаментов здания может привести в процессе эксплуатации к сверхнормативным осадкам и кренам здания.

Существуют различные методы улучшения оснований, рассмотрим их по наиболее распространенной классификации Б.И. Долматова:

1. Конструктивные:

- песчаные и грунтовые подушки;
- каменные и другие отсыпки.

2. Механическое уплотнение:

- поверхностное уплотнение – поверхностные трамбовки, катки, вибро-трамбовки, виброплиты;
- глубинное уплотнение:
 - а) гидровиброуплотнение;

- б) метод уплотнения песчаными и грунтовыми сваями;
- в) метод уплотнения приложением нагрузки;
- г) метод уплотнения понижением уровня грунтовых вод;
- д) метод уплотнения взрывами
- е) метод уплотнения замачиванием.

3. Закрепление: цементация оснований, силикатизация, электрохимическое закрепление, термическая обработка грунта, битуминизация и глинизация.

Одной из наиболее интересных конструкций улучшения слабых оснований являются грунтовые и грунтоцементные сваи. При использовании этого метода увеличивается несущая способность улучшенного основания, снижаются осадки, ускоряется процесс консолидации грунта за счет фильтрационных процессов грунтовой воды (поскольку сваи исполняют роль вертикальных дренажей).

Главным плюсом усиления грунтовыми сваями является то, что они обеспечивают значительную экономию материалов по сравнению с полной выемкой слабых грунтов и заменой их на более прочные.

КОМПОЗИЦИОННОЕ ШЛАКОЩЕЛОЧНОЕ ВЯЖУЩЕЕ ДЛЯ СУХИХ СТРОИТЕЛЬНЫХ СМЕСЕЙ

Хмелевский М.В., Рябов Г.Г.
ТулГУ, г. Тула, Россия

Шлакощелочное вяжущее – это высокопрочное вяжущее, полностью заменяющее обычный цемент и состоящее из молотого шлака, смешанного с любым щелочесодержащим компонентом (жидкое стекло, сода и т.д.). Процесс твердения этого вяжущего при его затворении аналогичен твердению обычного цемента, т.е. допускается твердение при положительной температуре, ускоренная обработка в пропарочных камерах. На основе шлакощелочного вяжущего могут быть получены железобетонные изделия, обладающие повышенной стойкостью к агрессивным средам. При этом могут применяться загрязненные наполнители, такие как пылеватые и глинистые включения. Для получения композиционных шлакощелочных вяжущих могут применяться как основные, так и кислые доменные шлаки, причем, чем выше их основность, тем лучше прочностные и другие характеристики бетонов, изготавливаемых на их основе.

Твердение шлакощелочных комбинаций обусловлено гидратацией шлакового стекла под влиянием гидроксильных ионов с образованием низкоосновных гидросиликатов кальция, а также гидрогранатов и гидроалюмосиликатов натрия (при использовании соды и натриевого жидкого стекла).

Растворы пластичной консистенции, при нормальных условиях твердения достигают прочности при сжатии 20...25 МПа. При пропаривании в течение 8...12 ч при 90...95 °С прочность растворов и бетонов возрастает до 45...70 МПа в зависимости от свойств шлаков, расхода шлакощелочного вяжущего и щелочного компонента.

В качестве алюмосиликатной составляющей шлакощелочного вяжущего используют гранулированные доменные шлаки, соответствующие ГОСТ 3476-74 «Шлаки доменные и электротермофосфорные гранулированные для производства цемента». Для изготовления образцов использовали гранулированный доменный шлак металлургического завода «Тулачермет». Химический состав шлака представлен в табл. 1.

Таблица 1 – Химический состав гранулированного доменного шлака

Название соединения	CaO	MgO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	TiO ₂	MnO
Содержание, мас. %	43,30	6,17	41,60	6,32	0,24	0,049

В состав композиции входят известняковые высевки, полученные как отход камнедробления в карьере при получении взрывным способом известнякового щебня ОАО «Гуров-Бетон»:

- модуль крупности – 1,5;
- содержание пылеватых, глинистых и илистых – до 10%;
- насыпная плотность – 1200 кг/м³;
- химический состав – CaCO₃ (97,1...98,7%), примеси SiO₂, Fe₂O₃, глины.

В качестве активатора использовался плав соды кальцинированной щелочной (ТУ 213-636-00209023-97) объединенной химической компании «Щекиноазот» со следующим химическим составом, мас. %:

- натриевая соль кислоты:
 - * адипиновой 20...25;
 - * щавелевой 7,8...8,2;
 - * янтарной 6,25...7,3;
- циклогексанон 1,4...1,5;
- циклогексанол 0,15...0,2;
- гидроксид натрия 2,3...2,8.

При этом соотношение компонентов принимают следующим, мас. %:

- гранулированный доменный шлак 60,5...65,7;
- известняковые высевки 25,4...34,8;
- плав соды кальцинированной щелочной 4,7...8,9;

РЕШЕНИЕ ЗАДАЧИ ОБ ОПРЕДЕЛЕНИИ НДС ТОЛСТОСТЕННОГО КОЛЬЦА ИЗ РАЗНОМОДУЛЬНОГО ИЗОТРОПНОГО МАТЕРИАЛА

Ходорович П.Ю.
ТулГУ, г. Тула, Россия

Инженерная практика постоянно требует совершенствование методики расчёта элементов строительных конструкций, деталей машин и аппаратов. В настоящее время известен достаточно широкий круг материалов, особенно, к которым является чувствительность механических характеристик к виду

напряженного состояния. Подобная зависимость обнаружена не только у новых материалов, используемых в технике, каковыми являются различные композитные составы, полимеры, графиты, стеклопластики, но и у традиционных конструкционных материалов типа чугуна, бетонов и керамики.

Для апробации теории, предложенной в [1], была решена задача о определении напряженно-деформированного состояния толстостенного кольца из графита ВПП. Расчёт велся с применением метода конечных разностей.

Исходные данные для расчётов принимались следующие: внутренний радиус кольца $r_i = 1$ м, внешний радиус кольца $r_e = 1$ м, внутреннее давление $p_i = 1000$ кН/м², механические характеристики графита ВПП: $E^+ = 5900$ МПа, $E^- = 7400$ МПа, $\nu^+ = 0.212$, $\nu^- = 0.28$ [1].

Разница в результатах расчёта между моделью, предложенной в [1], и классическим решением (механические характеристики взяты для сжатия) достигает 7% по напряжению, 11% по деформациям и 12% по перемещениям. Это доказывает необходимость учета явления разносопротивляемости.

Библиографический список

1. Трещёв, А.А. Теория деформирования и прочности материалов, чувствительных к виду напряженного состояния. Определяющие соотношения / А.А. Трещёв. – Тула: Изд-во ТулГУ, 2008. – 264 с.

ПРИМЕНЕНИЕ ОБЪЕМНЫХ КЭ ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ О ДАВЛЕНИИ НА ГРУНТОВОЕ ОСНОВАНИЕ

Ходорович П.Ю., Теличко В.Г.
ТулГУ, г. Тула, Россия

Для повышения эффективности строительства важным является совершенствование методов проектирования оснований и фундаментов, стоимость устройства которых может доходить до 20...30% полной стоимости сооружения. Сложность инженерно-геологической обстановки площадок строительства, уникальность и масштабность современных сооружений (АЭС, ТЭС, установки на шельфе и др.), повышение технологических нагрузок и этажности зданий требуют возможно полного учета реальных свойств грунтов оснований, что можно обеспечить только при использовании новейших достижений в области механики грунтов, горных пород и численных методов расчёта. Согласно [1] анизотропные грунты и породы широко распространены в коре и в верхней мантии Земного шара. Кроме того, они обладают свойством разносопротивляемости [2].

Для решения поставленной задачи авторы использовали модифицированную конечно-элементную модель, построенную на базе объемного изопараметрического элемента в форме тетраэдра с 3-мя степенями свободы в узле, использующего положения трехмерной теории упругости [3].

Проведенные авторами исследования напряженно-деформированного состояния модели полупространства из нескольких слоев разнородных анизотропных материалов показали, что предлагаемый подход, основанный на положениях трехмерной теории упругости и определяющих соотношениях А.А. Трещёва [3] вполне адекватен и обладает рядом преимуществ над многими теориями. Также показано, что при проведении расчётов пренебрегать учетом явления разнородности никак нельзя, так как это может привести к значительным погрешностям при определении параметров напряженно-деформированного состояния.

Библиографический список

1. Бугров, А.К. Анизотропные грунты и основания сооружений / А.К. Бугров, А.И. Голубев. – СПб.: Недра, 1993. – 245 с.
2. Вялов, С.С. Реологические основы механики грунтов: Учеб. пособие для строительных вузов / С.С. Вялов. – М.: Высш. школа, 1978. – 447 с.
3. Трещёв, А.А. Конечно-элементная модель расчёта пространственных конструкций из материалов с усложненными свойствами / А.А. Трещёв, В.Г. Теличко, А.Н. Царев, П.Ю. Ходорович // Известия ТулГУ. Технические науки. – Вып. 10. – Тула: Изд-во ТулГУ, 2012. – С. 106-114.

ПОСТРОЕНИЕ УРАВНЕНИЙ МЕТОДА КОНЕЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ НДС ПРОСТРАНСТВЕННЫХ ОБЪЕМНЫХ КОНСТРУКЦИЙ

Ходорович П.Ю., Теличко В.Г., Цуканов А.А.

ТулГУ, г. Тула, Россия

В настоящее время многие конструкции и их детали изготавливаются как из новых, так и из традиционных материалов, которые не подчиняются классическим законам упругого деформирования. Механические характеристики таких материалов активно проявляют чувствительность к виду напряженного состояния, проявляются такие эффекты, как дилатация и разнородность. К анизотропным материалам, обладающим подобными свойствами, относят керамику, стеклопластики, различные конструкционные графиты, ряд полимеров и подавляющее большинство композитов. В общем случае, эти материалы можно рассматривать как материалы с «усложненными» механическими свойствами.

Для расчёта пространственных конструкций из таких материалов, авторами был разработан трехмерный конечный элемент в форме тетраэдра с 3-мя степенями свободы в узле [2] на базе стандартного изопараметрического конечного элемента [1].

Матрица жесткости полученного КЭ содержит в себе компоненты, позволяющие учитывать особенности деформирования физически-нелинейных разносопротивляющихся материалов. Модель учета разносопротивляемости принята в виде, предложенном в работах А.А. Трещёва.

Предложенный подход был апробирован на широком классе задач. Определялось напряженно-деформированное состояние таких конструкций как: плиты с различными граничными условиями, цилиндрические оболочки различной конфигурации, сферические оболочки, а также слоистого полупространство под местной нагрузкой. Результаты этих расчётов показывают, что учет явления разносопротивляемости дает значительные расхождения в параметрах напряженно-деформированного состояния.

Библиографический список

1. Клованич, С.Ф. Метод конечных элементов в нелинейных задачах инженерной механики. / С.Ф. Клованич – Запорожье: Издательство журнала «Світ геотехніки», 2009. – 400 с.

2. Трещёв, А.А. Конечно-элементная модель расчёта пространственных конструкций из материалов с усложненными свойствами / А.А. Трещёв, В.Г. Теличко, А.Н. Царев, П.Ю. Ходорович // Известия ТулГУ. Технические науки. – Вып. 10. – Тула: Изд-во ТулГУ, 2012. – С. 106-114.

ВАРИАНТЫ ИЗМЕНЕНИЯ НАГРУЗКИ В МОДЕЛИ КОРРОЗИОННОГО ИЗНОСА ТРУБ

Черных В.К.

СГТУ, г. Саратов, Россия

Имеется модель коррозионного износа труб с учетом меняющегося напряжения, записанная в общем виде:

$$\frac{d\delta}{dt} = V_0(1 + k \cdot \sigma) + k \cdot \frac{d\sigma}{dt}$$

Рассмотрим три варианта изменения нагрузки.

1. Нагрузка равномерно возрастает $P = P_0 + \alpha \cdot t$;

$$\sigma = \frac{N}{A} = \frac{P_0 + \alpha \cdot t}{A_0 - \pi \cdot d \cdot \delta}.$$

Т.к. $\sigma(t) = \frac{N(t)}{A(t)}$, то выражение для скорости изменения напряженного состояния примет вид:

$$\frac{d\sigma}{dt} = \frac{\alpha \cdot (A_0 - \pi \cdot d \cdot \delta) + \pi \cdot d \cdot \frac{d\delta}{dt} (P_0 + \alpha \cdot t)}{(A_0 - \pi \cdot d \cdot \delta)^2}$$

Путем математических преобразований, получаем:

$$\frac{d\delta}{dt} = V_0 + \frac{V_0 \cdot k_1 \cdot (P_0 + \alpha \cdot t)}{A_0 - \pi \cdot d \cdot \delta} + \frac{k_2 \cdot \alpha}{A_0 - \pi \cdot d \cdot \delta} + \frac{k_2 \cdot \pi \cdot d \cdot (P_0 + \alpha \cdot t)}{(A_0 - \pi \cdot d \cdot \delta)^2} \frac{d\delta}{dt} \quad (1)$$

2. Нагрузка равномерно убывает $P = P_0 - \alpha \cdot t$.

Напряжение:

$$\sigma = \frac{N}{A} = \frac{P_0 - \alpha \cdot t}{A_0 - \pi \cdot d \cdot \delta}.$$

Выражение для скорости изменения напряженного состояния примет вид:

$$\frac{d\sigma}{dt} = \frac{\pi \cdot d \cdot \frac{d\delta}{dt} (P_0 - \alpha \cdot t) - \alpha \cdot (A_0 - \pi \cdot d \cdot \delta)}{(A_0 - \pi \cdot d \cdot \delta)^2}$$

Преобразовывая, получаем:

$$\frac{d\delta}{dt} = V_0 + \frac{V_0 \cdot k_1 \cdot (P_0 - \alpha \cdot t)}{A_0 - \pi \cdot d \cdot \delta} - \frac{k_2 \cdot \alpha}{A_0 - \pi \cdot d \cdot \delta} + \frac{k_2 \cdot \pi \cdot d \cdot (P_0 - \alpha \cdot t)}{(A_0 - \pi \cdot d \cdot \delta)^2} \frac{d\delta}{dt} \quad (2)$$

3. Нагрузка изменяется по синусоидальному закону $P = P_0 + b \cdot \sin(\frac{\pi \cdot t}{l})$.

Напряжение:

$$\sigma = \frac{N}{A} = \frac{P_0 + b \cdot \sin(\frac{\pi \cdot t}{l})}{A_0 - \pi \cdot d \cdot \delta}.$$

Выражение для скорости коррозии примет вид:

$$\frac{d\sigma}{dt} = \frac{\frac{b \cdot \pi \cdot t}{l} \cdot \cos(\frac{\pi \cdot t}{l}) \cdot (A_0 - \pi \cdot d \cdot \delta) + \pi \cdot d \cdot \frac{d\delta}{dt} (P_0 + b \cdot \sin(\frac{\pi \cdot t}{l}))}{(A_0 - \pi \cdot d \cdot \delta)^2}$$

Преобразовывая, получаем:

$$\begin{aligned} \frac{d\delta}{dt} = V_0 + \frac{V_0 \cdot k_1 \cdot (b \cdot \sin(\frac{\pi \cdot t}{l}) + P_0)}{(A_0 - \pi \cdot d \cdot \delta)} + \frac{k_2 \cdot b \cdot \pi \cdot t \cdot \cos(\frac{\pi \cdot t}{l})}{l \cdot (A_0 - \pi \cdot d \cdot \delta)} + \\ + \frac{k_2 \cdot \pi \cdot d \cdot (b \cdot \sin(\frac{\pi \cdot t}{l}) + P_0)}{(A_0 - \pi \cdot d \cdot \delta)^2} \frac{d\delta}{dt} \end{aligned} \quad (3)$$

Для получения закона изменения коррозионного износа в рассматриваемых случаях нужно решить задачу Коши в виде (1)...(3), тем или иным численным методом (Рунге-Куты, Адамса-Башфорта и др.)

ПОСТРОЕНИЕ МОДЕЛИ КОРРОЗИОННОГО ИЗНОСА ТРУБ С УЧЕТОМ МЕНЯЮЩЕГОСЯ НАГРУЖЕНИЯ

Черных В.К., Овчинников И.Г.
СГТУ, г. Саратов, Россия

Предлагается модель коррозионного износа трубчатых элементов, учитывающая скорость нагружения:

$$V = V_1 + V_2, \quad (1)$$

где $V = d\delta/dt$ – скорость коррозии, член $V_1 = V_0 \cdot f(\sigma)$ – учитывает влияние коррозионной среды и уровня напряженного состояния на скорость коррозии, а член $V_2 = k_2 \cdot \frac{d\sigma}{dt}$ учитывает влияние скорости изменения напряженного состояния, вызываемого действием внешней нагрузки. В этих выражениях δ – глубина коррозионного износа, t – время, V_0 – скорость коррозии ненапряженного металла, σ – напряжение, k_2 – коэффициент, учитывающий весовой вклад скорости изменения напряжения на кинетику развития коррозионного процесса.

Для описания кинетики коррозионного износа конструкций без учета влияния скорости изменения напряженного состояния использовались модели вида:

$$\frac{d\delta}{dt} = f(t, \dots, \sigma) = V_0(1 + k_1 \cdot \sigma). \quad (2)$$

Выражение для правой части этого уравнения, описывающего влияние напряжения на скорость коррозии, может быть принято в форме:

$$V = \frac{d\delta}{dt} = V_0(1 + k_1 \cdot \sigma), \quad (3)$$

или в форме

$$V = V_0 \cdot \exp(k \cdot \sigma), \quad (4)$$

Применим уравнение (1), записанное в виде

$$\frac{d\delta}{dt} = V_0 \cdot f(\sigma) + k_2 \cdot \frac{d\sigma}{dt}, \quad (5)$$

к моделированию коррозионного износа элемента трубчатого сечения, к которому приложена изменяющаяся во времени нагрузка P , действующая вдоль продольной оси.

Частный случай уравнения (5) в виде (2) и будет моделью износа, записанной в общем виде:

$$\frac{d\delta}{dt} = V_0(1 + k \cdot \sigma) + k \cdot \frac{d\sigma}{dt}. \quad (6)$$

ФУНКЦИОНАЛЬНАЯ ВЗАИМОСВЯЗЬ МАКСИМАЛЬНОГО ПРОГИБА ПЛАСТИНОК ПРИ ПОПЕРЕЧНОМ ИЗГИБЕ С КОНФОРМНЫМИ РАДИУСАМИ

Черняев А.А., Федощенко И.В., Демина А.А.
Государственный университет – УНПК, г. Орел, Россия

Пластинки как элементы несущих и ограждающих конструкций широко распространены в строительстве. Одной из важнейших задач при расчёте пластинок является оценка их жесткости. В работе рассматриваются упругие тонкие пластинки различных форм.

На основе вариационного представления собственного значения дифференциального уравнения свободных колебаний пластинок, конформного представления внутренности ее области при отображении на единичный круг и математической аналогии задач свободных колебаний и поперечного изгиба пластинок установлена функциональная связь максимального прогиба пластинок при поперечном изгибе с отношением конформных радиусов [1]:

$$w_0 \leq k \cdot \frac{\dot{r}}{\bar{r}} \times \frac{qA^2}{D}, \quad (1)$$

где k – некоторая числовая константа, зависящая от вида граничных условий и обращающая в равенство для круглых пластинок (в случае жесткого защемления контура $k = 1,583 \cdot 10^{-3}$, а в случае шарнирного опирания по контуру $k = f(\nu)$, где ν – коэффициент Пуассона); A – площадь пластинки; q – интенсивность равномерно распределенной нагрузки; D – цилиндрическая жесткость; $\dot{r}/\bar{r}$ – отношение внутреннего к внешнему конформных радиусов; конформные радиусы – это радиусы, получаемые при конформном отображении плоской области на внутренность и внешность круга.

Из выражения (1) следует, что отношение конформных радиусов является геометрическим аналогом максимального прогиба в задаче поперечного изгиба пластинок. Это означает, что можно, не решая дифференциального уравнения, описывающего задачу поперечного изгиба пластинок:

$$D\Delta^2\Delta^2w(x, y) - q = 0, \quad (2)$$

а рассматривая лишь геометрическую задачу, связанную с анализом поведения отношения отношением конформных радиусов при геометрических преобразованиях исследуемых пластинок можно оценивать и качественную, и количественную стороны решаемой задачи.

Библиографический список

1. Поля, Г. Изопериметрические неравенства в математической физике / Г. Поля, Г. Сеге. – М.: КомКнига, 2006. – 336 с.

АНАЛИЗ МЕХАНИКИ РАЗРУШЕНИЯ ТОНКИХ ПЛАСТИН ИЗ ГРАФИТА С УЧЕТОМ РАЗНОСОПРОТИВЛЯЕМОСТИ И ВОЗНИКНОВЕНИЯ ТРЕЩИН НОРМАЛЬНОГО РАЗРЫВА

Чигинский А.С., Теличко В.Г.

ТулГУ, г. Тула, Россия

В условиях развития науки и техники в целях снижения экономических затрат и повышения безопасности требования к точности расчёта постоянно повышаются. Современные нормы ставят задачу расчёта в соответствии с реальным поведением материалов. Поэтому проведение исследований и поиск эффективной теории расчёта конструкций из разносопротивляющихся материалов является весьма актуальной задачей.

Объектом моделирования является тонкая пластина: толщина много меньше размеров в плане. Предлагается учесть наряду с разносопротивляемостью возникновение трещин нормального разрыва.

Материал пластины в условиях растяжения и сжатия обнаруживает различный характер деформирования, особенно при загрузении их с развитыми пластическими деформациями и в состоянии, близком к разрушению (разносопротивляемость).

Пластическая деформация тела складывается из необратимых сдвигов по плоскостям скольжения. Необратимые сдвиги происходят только в тех плоскостях, в которых найдется хоть одно направление, вдоль которого компонента касательного напряжения данной плоскости превосходит постоянное значение и, кроме того, больше своих предшествующих значений.

В каждом таком направлении на данной плоскости происходит пластический сдвиг, величина которого зависит только от касательного напряжения.

При достижении напряженно-деформированным состоянием условий зарождения микротрещины в системе скольжения образуется k дефектов размера R .

При дальнейшем деформировании оставшаяся неразрушенной часть системы скольжения деформируется сдвигом, величина которого зависит только от эффективного касательного напряжения, большего своих предыдущих значений. Распределение напряжений для материалов, связь между напряжениями совпадает с распределением напряжений у конца трещины в линейной теории упругости при плоском напряженном состоянии.

Изменение размеров микротрещин определяется условием их роста – системы скольжения не взаимодействуют, и общая деформация суммируется по всем направлениям.

К ФИЗИЧЕСКИ НЕЛИНЕЙНОМУ РАСЧЕТУ МОНОЛИТНЫХ БЕЗРИГЕЛЬНЫХ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ПЕРЕКРЫТИЙ ПОСТОЯННОЙ ТОЛЩИНЫ В ПК STARK ES

Чигинский Д. С., Теличко В. Г.

ТулГУ, г. Тула, Россия

В настоящее время, в качестве несущих систем многоэтажных гражданских зданий широко используются монолитные пространственно-несущие системы с плоскими дисками перекрытий. Указанные конструктивные системы обеспечивают широкие возможности для современного дизайна интерьеров зданий и облегчают планировочные трансформации на всех стадиях жизненного цикла здания: при проектировании, строительстве и эксплуатации. Кроме того, при соответствующих уровнях расчёта и конструирования указанные системы достигают высоких показателей надежности, прочности и экономичности.

Выполнено исследование деформативности монолитного безригельного железобетонного перекрытия, сложной формы в плане, с учетом вариации толщины бетона. Расчёт производился в программном комплексе STARK ES. Деформативность перекрытий анализировалась для трёх моделей: линейный расчёт с пониженными значениями модуля упругости бетона; модель с билинейной и трехлинейной диаграммами для бетона, принятыми согласно СП 63.13330.2012. Для арматурной стали, согласно тому же своду правил, была принята диаграмма Прандтля.

Параметры диаграмм назначались в зависимости от класса бетона и арматуры, а также длительности нагружения. Рассматривался класс бетона по прочности на сжатие В20, продольная арматура в двух направлениях А500С диаметром 10 мм с шагом 200 мм основного армирования и аналогичная (диаметр и шаг) в зонах дополнительного армирования. В соответствии с СП 20.13330.2011, для определения прогибов приняты расчётные значения нагрузок по второй группе предельных состояний (нормативные значения). Расчёт производился исходя из конструктивных и эстетико-психологических требований с учётом и без учёта кратковременно действующих нагрузок, соответственно.

По результатам работы, подтверждена необходимость выполнения расчёта деформаций по нелинейной деформационной модели, а также целесообразность применения и эффективность использования ПК STARK ES для обозначенного класса задач о расчёте монолитных безригельных железобетонных перекрытий.

РАСЧЕТ МОНОЛИТНЫХ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ СВОДЧАТЫХ ПЕРЕКРЫТИЙ КОЛОКОЛЬНИ УСПЕНСКОГО СОБОРА ТУЛЬСКОГО КРЕМЛЯ

Чигинский Д.С., Теличко В.Г., Делягин М.Ю.

ТулГУ, г. Тула, Россия

В настоящее время, актуальной задачей при возведении и реконструкции зданий, сооружений и комплексов храмовых сооружений является расчёт несущих и ограждающих конструкций, проектируемых в форме куполов, сводов и арок, выполненных из композитных материалов, в частности из железобетона и армоцемента. Сводчатые конструкции в сочетании с указанными материалами позволяют соблюсти церковно-канонические требования [1], которые определяются православной традицией, и при этом обеспечить требования прочности и ограничения прогибов, предъявляемые нормами проектирования конструкций [2, 3].

В работе выполнен расчёт следующих монолитных железобетонных конструкций, без учёта влияния деформаций основания на сооружение: крестовый свод в осях 2–3/Б–В и полусомкнутые своды в осях 1–2/Б–В, 3–4/Б–В, 2–3/А–Б, 2–3/В–Г в пределах отм. +6.600...+9.865 м; крестовые своды в осях 2–3/Б–В в пределах отм. +17.985...+20.990 м, +27.705...+30.710 м, +36.915...+39.920 м, с обеспечением пропуска через железобетонные сводчатые перекрытия винтовых лестниц с отм. +17.985 по +39.920 м. Общая высота колокольни от уровня земли – 67 м.

Расчёты выполнены с помощью программного конечно-элементного комплекса STARK ES. Идеализация конструкций выполнена в виде набора стержней и оболочек. Материалы конструкций: бетон по прочности на сжатие В25 и арматура класса А400. Сбор нагрузок выполнен согласно [2]. В расчётах учтены постоянные нагрузки (собственный вес элементов) и временные нагрузки (равномерно распределённые, снеговые и ветровые, с учётом пульсационной составляющей). Статический расчёт производился с учётом физически нелинейной работы материала (зависимости между деформациями и напряжениями) [3]. Использовался материал типа «Слоистый», который описывает жесткость композитных элементов, составленных по высоте сечения (толщине) из ряда слоев с различными механическими свойствами. Расчёт прогибов выполнен по деформированной схеме [3], с учетом работы продольных усилий (теория больших перемещений и малых деформаций).

В результате, получены требуемые площади сечений арматуры (на 1 м²) в элементах конструкций и подтверждено соответствие рассчитанных конструкций конструктивным и эстетико-психологическим требованиям [2].

Библиографический список

1. СП 31-103-99. Здания, сооружения и комплексы православных храмов – М.: АХЦ «Арххрам»; ГУП ЦПП., 2000. – 33 с.

2. СНиП 2.01.07-85*. Нагрузки и воздействия. Общие положения. – М.: ОАО «ЦПП», 2004. – 44 с.

3. СП 52-101-2003. Бетонные и железобетонные конструкции без предварительного напряжения арматуры. – М., 2004. – 74 с.

РАСЧЕТ СИСТЕМЫ ИЗ ДВУХ ОБОЛОЧЕК

Шагивалеев К.Ф., Васильцов С.В.

СГТУ, г. Саратов, Россия

Рассмотрена пространственная система из двух замкнутых цилиндрических оболочек, имеющих шарнирные крепления по концам. Оболочки расположены на некотором расстоянии друг от друга и соединены в середине длины промежуточной опорой. Одна из оболочек находится под действием радиальной нагрузки, сосредоточенной в кольцевом направлении и равномерно распределенной вдоль образующей оболочки (рис. 1).

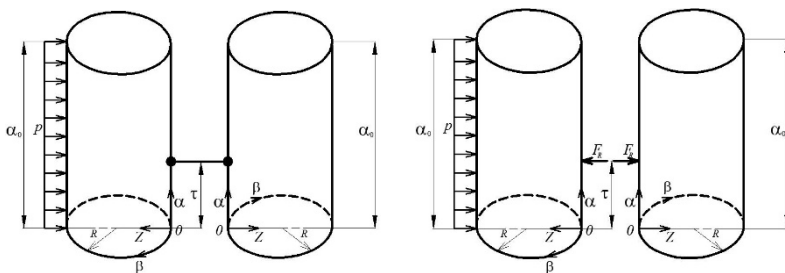


Рис. 1

Для расчёта пространственной системы применим метод сил. Основную систему выберем, разрезая или удаляя горизонтальный стержень, заменяя его действием неизвестной реактивной силой F_R . Таким образом, расчёт пространственной системы сводится к расчёту отдельных замкнутых цилиндрических оболочек.

В рассматриваемом случае на первую оболочку действуют радиальная нагрузка и реактивная сила F_R . На вторую оболочку действует только реактивная сила F_R .

Неизвестная реактивная сила F_R была определена из условия сопряжения оболочек. В точке контакта оболочек радиальные перемещения оболочек равны.

При расчёте оболочек были использованы выражения, приведенные в работе [1].

Зная F_R , можно, используя выражения, приведенные в работе [1], определить напряженно деформируемое состояние в каждой оболочке.

Библиографический список

1. Шагивалеев К.Ф. Расчёт замкнутой цилиндрической оболочки на локальные и сосредоточенные нагрузки / К.Ф. Шагивалеев. – Саратов: Саратов. гос. техн. ун-т, 2011. – 316 с.

РАСЧЕТ ЗАМКНУТОЙ ЦИЛИНДРИЧЕСКОЙ ОБОЛОЧКИ ПРИ ДЕЙСТВИИ НАГРУЗКИ ВДОЛЬ ОБРАЗУЮЩЕЙ

Шагивалеев К.Ф., Сурнина Е.К., Васильцов С.В.

СГТУ, г. Саратов, Россия

Рассмотрена замкнутая цилиндрическая оболочка под действием нагрузки $X(\alpha, \beta)$, направленной вдоль образующей. Нагрузка сосредоточена в кольцевом направлении и равномерно распределена на части длины оболочки α_1 . Оболочка по концам имеет шарнирные закрепления.

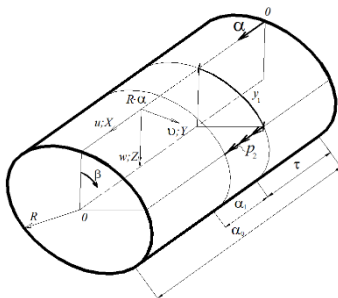


Рис. 1

Для решения задачи была использована приближенная теория оболочек в форме Гольденвейзера [1, 2].

Рассматриваемая нагрузка раскладывалась в тригонометрический ряд по переменной β :

$$X(\alpha, \beta) = \begin{cases} 0; & \text{при } 0 \leq \alpha < \tau; \\ \frac{p}{2\pi R} + \frac{p}{\pi R} \sum_{n=1}^{\infty} \cos n(\beta - e_1); & \text{при } \tau \leq \alpha \leq \tau + \alpha_1; \\ 0; & \text{при } \tau + \alpha_1 < \alpha \leq \alpha_0, \end{cases} \quad (1)$$

Получены аналитические выражения в общем виде. Они позволяют определить перемещения, усилия и моменты в оболочке при различных геометрических параметрах оболочки, при разных размерах и расположениях участка нагружения по длине оболочки.

Библиографический список

1. Гольденвейзер, А.Л. Теория упругих тонких оболочек / А.Л. Гольденвейзер. – М.: Наука, 1976. – 512 с.
2. Шагивалеев, К.Ф. Расчёт замкнутой цилиндрической оболочки на локальные и сосредоточенные нагрузки / К.Ф. Шагивалеев. – Саратов: Сарат. гос. техн. ун-т, 2011. – 316 с.

СИСТЕМА ИЗ ДВУХ ОБОЛОЧЕК

Шагивалеев К.Ф., Сурнина Е.К., Вахнин А.Н.
СГТУ, г. Саратов, Россия

Рассмотрена пространственная система из двух замкнутых цилиндрических оболочек. Оболочки имеют на одном конце жесткое закрепление, а на другом свободный конец. Оболочки расположены на некотором расстоянии друг от друга и соединены на свободном конце промежуточной (жесткой) опорой. Одна из оболочек находится под действием радиальной сосредоточенной нагрузки F , приложенной на свободном крае.

Для расчёта пространственной системы применим метод сил. Основную систему выберем, разрезая горизонтальный стержень, заменяя его действием неизвестной реактивной силой F_R . Расчёт пространственной системы сводится к расчёту отдельных замкнутых цилиндрических оболочек.

На первую оболочку действуют радиальная сосредоточенная нагрузка F и реактивная сила F_R . На вторую оболочку действует только реактивная сила F_R .

По формулам, приведенным в работе [1], были определены в точке контакта оболочек радиальные перемещения в первой и второй оболочек.

Из условия, что в точке контакта оболочек радиальные перемещения оболочек равны, была определена неизвестная реактивная сила F_R .

Зная F_R , можно, используя выражения, приведенные в работе [1], определить напряженно деформируемое состояние в каждой оболочке.

Используя предлагаемый подход, можно рассчитать систему из двух оболочек при различных геометрических параметрах оболочек, при действии различных нагрузок, при любом расположении промежуточной опоры, а также при любом количестве опор.

Библиографический список

1. Шагивалеев, К.Ф. Расчёт замкнутой цилиндрической оболочки на локальные и сосредоточенные нагрузки / К.Ф. Шагивалеев. – Саратов: Сарат. гос. техн. ун-т, 2011. – 316 с.

СРАВНЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ МЕТОДОВ КОНЕЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ И КОНЕЧНЫХ РАЗНОСТЕЙ В ЗАДАЧЕ ИЗГИБА ПОЛОГОЙ ПРЯМОУГОЛЬНОЙ В ПЛАНЕ ОБОЛОЧКИ ИЗ РАЗНОСОПРОТИВЛЯЮЩИХСЯ МАТЕРИАЛОВ

Шерешевский М.Б., Трещёв А.А.

ТулГУ, г. Тула, Россия

В представленной работе рассмотрена задача деформирования пологой оболочки положительной гауссовой кривизны из нелинейного разнородного материала, графита АТJ-S, с учетом усложненных свойств: поперечного сдвига, нелинейной разнородности основного материала.

Решение поставленной задачи осуществлялось с использованием конечно-разностной модели, а также с помощью конечно-элементной модели, предложенной А.А. Трещёвым и В.Г. Теличко, чтобы сравнить точность получаемых результатов при примерно одинаковых затратах машинного времени. Эта математическая модель, основанная на исследованиях Кука-Пиана-Тонга, позволяет учесть ряд усложненных свойств материалов, таких, как разнородность, структурная анизотропия, позволяет проводить анализ разрушения материала. Использовался гибридный конечный элемент, допускающий произвольную треугольную форму с пятью степенями свободы в узле.

В качестве примера решалась задача об изгибе жестко заземленной вдоль двух противоположных граней пологой квадратной в плане оболочки с размерами 6×6 м, высотой подъема 0,5 м. Толщина оболочки была принята равной 0,08 м, материал – ортотропный конструкционный графит АТJ-S. Нагрузка принималась равномерно распределенной по поверхности оболочки. Величина нагрузки бралась в диапазоне от 0 до 50 кПа.

Проведенное сравнение результатов, полученных на основе указанных выше моделей, учитывая одинаковую точность (до 3-го десятичного знака), показало незначительное расхождение в потребляемых машинных мощностях.

Таким образом, можно утверждать, что в сформулированной выше задаче изгиба пологой оболочки метод конечных элементов не обладает явными преимуществами по сравнению с методом конечных разностей, в то время как второй более прост в описании.

ТЕМПЕРАТУРНЫЕ НАПРЯЖЕНИЯ В МОСТАХ

Щербаков Н.О., Черных В.К., Козырева Л.В.

СГТУ, г. Саратов, Россия

Помимо основных нагрузок, мосты и другие транспортные сооружения подвергаются воздействию температуры. Для безопасности эксплуатации сооружения температурные напряжения необходимо строго учитывать. Они возникают в конструкциях вследствие изменения температуры либо неравномерности её распределения. Изменения размеров конструкции или её части

называются температурной деформацией. Как известно, при повышении температуры любое тело расширяется, а при охлаждении – сжимается. В полной мере это относится и к мостам. Сам мост, а также его элементы могут рассматриваться в качестве отдельных физических тел, полностью подверженных температурным деформациям.

Эти элементы взаимосвязаны, вследствие чего возможность свободной температурной деформации ограничена, а иногда и полностью отсутствует. В сравнительно узком диапазоне температур, на который обычно рассчитываются мостовые сооружения, все обходится благополучно. Однако летом температура воздуха может достигать и 40 °С, и 50 °С. Конструктивные элементы стремятся расшириться. В итоге, невозможность их удлинения приводит к возникновению сжимающих напряжений. И, наоборот, при понижении температуры элементы стремятся укоротиться, сжаться, но, так как не имеют такой возможности, в них возникают растягивающие напряжения, что может привести к их разрушению.

Для примера: коэффициент температурного расширения стали равен 0,012 мм/м. Это значит, что при повышении внешней температуры на 1°С стальной прут длиной 1 м удлинится на 0,012 мм. Если рассматриваемый прут неподвижно закреплен с двух сторон, а внешняя температура повысилась на 10°С, прут попытается закономерно деформироваться на $0,012 \times 10 = 0,12$ мм. А поскольку это невозможно, то в нём возникают сжимающие усилия, значения которых соответствуют потенциальному удлинению. Таким образом, значительная доля прочностных возможностей элемента занята борьбой с температурным воздействием.

Для реальных сооружений, например, для стальной части моста, такое изменение температуры на 10 °С может иметь самые трагические последствия. Уже в конструкции, рассчитанной на одну-две железнодорожные колеи, возникает сжимающая сила, равная приблизительно 1000 т. Для сравнения стоит отметить, что примерно столько же весит товарный состав вместе с локомотивом.

Для предотвращения подобных аварий принимаются определенные меры. Т.е. нужно обеспечить конструкции возможность свободно удлиняться и укорачиваться. Между пролетами мостов устанавливаются специальные деформационные швы, ширина и конструкция которых назначается исходя из материала пролетного строения, его размеров и показателей температуры.

СОДЕРЖАНИЕ

<i>Абовский Н.П., Деордиев С.В., Инжутов И.С., Енджиевский Л.В., Палагушкин В.И.</i>	
Формообразование строительных конструкций	5
<i>Аншакова А.А., Кривошеин И.В.</i>	
О точности упрощенного варианта уравнений в перемещениях нелинейно деформируемых пологих оболочек	6
<i>Ачкасов М.А., Гончарова М.А.</i>	
Применение композитной арматуры в дорожном строительстве	7
<i>Башкатов А.В., Сысоева Е.А.</i>	
Теории расчёта железобетонных конструкций, эксплуатируемых в агрессивных средах	8
<i>Башкатов А.В., Теличко В.Г.</i>	
Применение конечного элемента для задач по определению НДС слоистых конструкций из нелинейного материала	9
<i>Башкатов А.В., Трещёв А.А.</i>	
Математическая модель задачи определения НДС слоистых армированных конструкций из нелинейного материала	10
<i>Белов В.В., Образцов И.В.</i>	
Исследование моделей плотных упаковок полидисперсных частиц заполнителя бетонов на компьютерных моделях	11
<i>Бирнинова А.А., Козырева Л.В., Черных В.К.</i>	
Современные способы и оборудование при устройстве фундаментов	15
<i>Бойчук С.В.</i>	
Исследование формообразования панели в ПК ЛИРА	16
<i>Борисенко О.Г., Лапунова К.А., Терехина Ю.В.</i>	
Технологические особенности и применение клинкерного кирпича	17
<i>Гараников В.В.</i>	
Исследование ползучести сплава АМГ6 при сложном напряженном состоянии	18
<i>Гордон В.А., Шмаркова Л.И., Потураева Т.В.</i>	
Свободные колебания криволинейных вязкоупругих стержней	20
<i>Гриднев С.Ю., Будковой А.Н.</i>	
Обобщение результатов численных исследований совместных колебаний балочных систем и движущихся транспортных средств с жидкими грузами при торможении	21

<i>Девуцкий А.А., Куницын И.С., Худяков А.В.</i> Несущая способность и перемещения фундаментов с промежуточной бетонной подготовкой	23
<i>Елсуфьева М.С.</i> Зависимость прочностных свойств сталефибробетонов от комплексного влияния расширяющей добавки и стальной фибры.....	24
<i>Елсуфьева М.С.</i> Перспективы использования сталефибробетонов.....	25
<i>Ерёменко Г.Н., Черевкова Я.В.</i> Экологически чистые кровельные материалы.....	26
<i>Задирака А.А., Кокодеева Н.Е.</i> Автозаправочные станции как объект дорожной инфраструктуры.....	27
<i>Зиборов Л.А., Теличко В.Г.</i> Условия прочности бетона В30	28
<i>Зубчанинов В.Г., Алексеева Е.Г.</i> Запаздывание векторных свойств на гладких траекториях упруголастического деформирования металлов	30
<i>Ивашкин А.Н., Гончарова М.А., Каширская О.А.</i> Оптимизация гранулометрического состава минеральных смесей декоративных бетонов с использованием конвертерных шлаков.....	32
<i>Ильченко Е.Д., Тарасов А.А., Черных В.К.</i> Использование сверхвысокопрочного бетона в строительстве.....	33
<i>Козлов Н.В., Панченко А.И.</i> Использование техногенных отходов в гипсовых вяжущих	34
<i>Кокодеев А.В., Овчинников И.Г.</i> Подводное обследование мостов.....	35
<i>Колосова Н.М., Михеева О.В., Шмагина Э.Ю.</i> Оценка эксплуатационной надежности автомобильной дороги к п. Зелененький от автодороги «обход г. Самары» в Самарской области.....	36
<i>Кривошеин И.В., Аниакова А.А.</i> О возможности упрощения уравнений нелинейно деформируемых пологих оболочек в смешанной форме.....	38
<i>Кривошеин И.В., Ошменский А.С., Попова Д.Н.</i> Модифицированный метод Бицено-Коха в нелинейной теории пологих оболочек и пластин	39

<i>Кривошеин И.В., Ошменский А.С., Попова Д.Н.</i> Применение модифицированного метода Бицено-Коха в расчётах нелинейно деформируемых пластин	40
<i>Кривошеин И.В., Ошменский А.С., Попова Д.Н.</i> Расчёт нелинейно деформируемых пологих оболочек модифицированным методом Бицено-Коха	41
<i>Крохотин В.В., Гончарова М.А.</i> Шлаковые вяжущие контактно-конденсационного твердения	42
<i>Кузнецов О.Р.</i> Постановка задачи для расчётной модели замкнутой призматической пирамидальной оболочки	44
<i>Кузнецов О.Р., Мингазова А.С.</i> Системы координат в расчётах тонкостенных пирамидальных оболочек	46
<i>Кузнецов О.Р., Решетникова А.А.</i> Выражение геометрических параметров призматических пирамидальных оболочек в выбранных системах косоугольных координат	48
<i>Кузнецов О.Р., Сорокин М.М.</i> Выбор аппроксимирующих функций при расчётах призматических пирамидальных оболочек	50
<i>Кузнецов О.Р., Стародубова К.Б.</i> Компоненты вектора перемещений вдоль контура поперечного сечения пирамидальной оболочки	52
<i>Кузнецов О.Р., Торяникова Л.С.</i> Выражение для компонентов вектора продольных перемещений точек контура пирамидальной оболочки	53
<i>Курилко О.Ю.</i> Долговечность гибких нелинейно упругих пластинок сложной формы	54
<i>Ларсен О.А.</i> Применением вторичных материалов и отходов промышленности в технологии бетона	55
<i>Лисицкий В.С., Трещёв А.А.</i> Потенциальная связь деформаций и напряжений для нелинейных ортотропных разносопротивляющихся материалов	56
<i>Марчук Н.И., Палагушкин В.И., Прасоленко Е.В.</i> Моделирование защитных устройств для уменьшения колебаний зданий и сооружений	57

<i>Матросов Д.В., Раткин В.В., Черных В.К.</i> Расчётные комплексы в транспортном строительстве	58
<i>Матросов Д.В., Черных В.К., Раткин В.В.</i> Анализ современных систем автоматизированного проектирования для расчёта мостов.....	59
<i>Моргун Л.В., Кадомцева Е.Э.</i> Эффективность применения фибропенобетона в балках, армированных металлическими каркасами	61
<i>Мосаков Б.С., Крашенинников Д.Д.</i> Выбор башенных кранов с учетом критериев безопасности и устойчивости.....	62
<i>Москалев О.Ю., Малышев Е.Ю.</i> Прогноз коэффициента вариации эквивалентного модуля упругости	63
<i>Нехаев Г.А., Захарова И.А.</i> Определение несущей способности внецентренно сжатых тонкостенных холодногнутых оцинкованных стержней	64
<i>Никонов П.И., Тутьшкин Н.Д.</i> Учет микронарушения сплошности материала при оценке прочности элементов конструкций.....	65
<i>Никудушкин А.А., Кокодеева Н.Е.</i> Вероятностный подход к оценке шума от транспортного потока	66
<i>Охлопков Н.Л., Нигоматулин Ф.В.</i> Упругопластическая устойчивость цилиндрической оболочки при простых комбинированных докритических процессах.....	67
<i>Охлопков Н.Л., Черемных С.В.</i> О решении задачи бифуркации цилиндрической оболочки при простом и сложном комбинированном нагружении	68
<i>Петров В.В.</i> Расчёт неоднородных пологих оболочек с двумя видами нелинейности	69
<i>Прудков Е.Н., Закуражнов М.С.</i> Исследование влияния нанодобавки белой сажи на свойства мелкозернистого бетона	70
<i>Прудков Е.Н., Закуражнов М.С., Павлова М.С.</i> Исследование влияния микродобавки метакаолина на свойства мелкозернистого бетона	71

<i>Ращепкина С.А., Андреева Н.В.</i> Соединения элементов оболочки с полыми ребрами	72
<i>Ращепкина С.А., Бойчук С.В.</i> Экспериментальные исследования ребристой панели на моделях	73
<i>Ращепкина С.А., Ращепкин С.В.</i> Опоры мостов из ребристых элементов	74
<i>Ращепкина С. А., Романов Д.А.</i> Металлические ёмкости из мини-оболочек	75
<i>Ращепкина С.А., Шевченко А.С.</i> Расчёт купольного покрытия с полыми ребрами	76
<i>Савин Е.В., Теличко В.Г.</i> Исследование механики разрушения тонких пластин из графита с учётом разносопротивляемости и возникновения трещин сдвига.....	77
<i>Селиванов Ф.С., Морев В.С.</i> Разработка компьютерной модели «резервуар-основание» с учетом наведенной неоднородности свойств основания	78
<i>Селиванов Ф.С., Морев В.С.</i> Расчёт модели «резервуар-слоистое основание» с наведенной неоднородностью физико-механических свойств основания	81
<i>Селиванов Ф.С., Морев В.С.</i> Расчёт резервуарной конструкции из разномодульных материалов, взаимодействующей с нелинейно деформируемым основанием	83
<i>Семенов П.К., Костюхина М.В.</i> Расчёт регулярной системы перекрестных балок вариационными итерациями в сочетании с методом двойной аппроксимации	84
<i>Семенов П.К., Минаева Д.И.</i> Расчёт плит прямоугольного очертания на нелинейном неоднородном основании методом двойной аппроксимации	85
<i>Семенов П.К., Ошменский А.С.</i> К вопросу моделирования коррозионного процесса с учетом случайных факторов	86
<i>Семенов П.К., Поляков Ю.А.</i> Расчёт нелинейно-упругой прямоугольной плиты, взаимодействующей с нелинейным неоднородным основанием, вариационными итерациями	87

<i>Семенов П.К., Федотов А.В.</i> Расчёт регулярной системы перекрестных балок методом двойной аппроксимации при статических граничных условиях	87
<i>Синева Н.Ф., Селиванов Ф.С., Горностаева А.Н.</i> Моделирование работы резервуара, взаимодействующего с двухслойным основанием.....	88
<i>Синева Н.Ф., Селиванов Ф.С., Тоистев А.М.</i> Моделирование системы «неоднородный резервуар – двухслойное основание».....	90
<i>Спасская М.В., Теличко В.Г., Трещёв А.А.</i> Влияние разнородности материала на НДС круговой цилиндрической ортотропной оболочки	92
<i>Спасская М.В., Трещёв А.А.</i> Влияние температурного воздействия на НДС круговой цилиндрической оболочки из ортотропного разнородного материала	93
<i>Суховерков Н.В., Лунев Л.А.</i> Сравнение НДС двухпролетной рамы с т-образной опорой, усиленной вантами и консольными ригелями, и НДС типовой двухпролетной рамной конструкции	95
<i>Тажинова О.Г.</i> Долговечность гибких нелинейно упругих пологих оболочек переменной толщины.....	96
<i>Тажинова О.Г., Ращепкина С.А.</i> Расчёт криволинейной фермы различными методами	97
<i>Теличко Г.Н.</i> К вопросу об обеспечении совместной работы стенок тонкостенных холодногнутых профилей в составе ИС-сечения	98
<i>Торжжинская В.В., Лапунова К.А.</i> Керамика как древнейший экологический строительный материал	99
<i>Трещёв А.А., Делягин М.Ю., Павлова Н.С.</i> Конечный элемент для решения связанных задач термоупругости существенно нелинейных разнородных материалов	100

<i>Трещёв А.А., Захарова И.А., Злобин С.Ф.</i> Осесимметричный деформирование цилиндрической толстостенной трубы из материалов, свойства которых зависят от вида напряженного состояния, при ползучести и плоской деформации	101
<i>Трещёв А.А., Морозова А.В.</i> Задача о плоском напряженном состоянии для пластинки с двумя ортогонально направленными эллиптическими отверстиями, выполненной из нелинейно ортотропных материалов	103
<i>Трещёв А.А., Теличко В. Г., Чигинский Д.С.</i> Применение модифицированных гибридных КЭ к решению связанных задач термоупругости	104
<i>Тришина Т.Ю.</i> Анализ процесса вытяжки оболочки с учетом деформационной повреждаемости материала	105
<i>Трофимов В.И., Пупенин К.И., Валюженич П.М.</i> Микросетки – новое слово в технологии дисперсноармированных бетонов	107
<i>Tutyshkin N.D., Müller W.H., Wille R.</i> Experimental study and modeling of damage of al alloys.....	108
<i>Удербает С.С., Исамбаева Г., Алтай Д., Абжанова А.</i> Экспериментальные исследования золы кызылординской ТЭЦ в качестве сырья для производства керамических стеновых материалов	109
<i>Уруев В.М., Токарева М.И.</i> Использование отходов промышленности в технологии и производстве мелкозернистых бетонов.....	111
<i>Уруев В.М., Фадин А.И., Петренко А.В.</i> Исследование зависимости физико-механических свойств мелкозернистого бетона на основе отходов дробления отвалных доменных шлаков от технологических факторов в процессе вибропрессования	113
<i>Федоров О.А., Шеин А.А., Черных В.К.</i> Методы усиления грунтов оснований	114
<i>Хмелевский М.В., Рябов Г.Г.</i> Композиционное шлакощелочное вяжущее для сухих строительных смесей	115

<i>Ходорович П.Ю.</i> Решение задачи об определении НДС толстостенного кольца из разномодульного изотропного материала	116
<i>Ходорович П.Ю., Теличко В.Г.</i> Применение объемных КЭ для решения задачи о давлении на грунтовое основание	117
<i>Ходорович П.Ю., Теличко В.Г., Цуканов А.А.</i> Построение уравнений метода конечных элементов для определения НДС пространственных объемных конструкций	118
<i>Черных В.К.</i> Варианты изменения нагрузки в модели коррозионного износа труб	119
<i>Черных В.К., Овчинников И.Г.</i> Построение модели коррозионного износа труб с учетом меняющегося нагружения	121
<i>Черняев А.А., Федощенко И.В., Демина А.А.</i> Функциональная взаимосвязь максимального прогиба пластинок при поперечном изгибе с конформными радиусами	122
<i>Чигинский А.С., Теличко В.Г.</i> Анализ механики разрушения тонких пластин из графита с учетом разносопротивляемости и возникновения трещин нормального разрыва	123
<i>Чигинский Д. С., Теличко В. Г.</i> К физически нелинейному расчёту монолитных безригельных железобетонных перекрытий постоянной толщины в ПК STARK ES.....	124
<i>Чигинский Д.С., Теличко В.Г., Делягин М.Ю.</i> Расчёт монолитных железобетонных сводчатых перекрытий колокольни Успенского собора Тульского кремля	125
<i>Шагивалеев К.Ф., Васильцов С.В.</i> Расчёт системы из двух оболочек.....	126
<i>Шагивалеев К.Ф., Сурнина Е.К., Васильцов С.В.</i> Расчёт замкнутой цилиндрической оболочки при действии нагрузки вдоль образующей	127
<i>Шагивалеев К.Ф., Сурнина Е.К., Вахнин А.Н.</i> Система из двух оболочек	128

Шерешевский М.Б., Трещёв А.А.

Сравнение эффективности метода конечных элементов
и метода конечных разностей в задаче изгиба пологой
прямоугольной в плане оболочки
из разносопротивляющихся материалов **129**

Щербаков Н.О., Черных В.К., Козырева Л.В.

Температурные напряжения в мостах **129**

Научное издание

Сборник материалов XV Международной
научно-технической конференции
«Актуальные проблемы строительства
и строительной индустрии»
(1-3 июля 2014 г.)

Авторское редактирование

Изд. лиц. ЛР № 020300 от 12.02.97. Подписано в печать 01.07.14

Формат бумаги 60×84 ¹/₁₆. Бумага офсетная

Усл. печ. л 8,2. Уч.-изд. л. 7,0

Тираж 100 экз. Заказ №

Тульский государственный университет

300012, г. Тула, просп. Ленина, 92

Отпечатано в Издательстве ТулГУ

300012, г. Тула, Пр. Ленина, 95