

Министерство науки и высшего образования РФ
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«Тульский государственный университет»

ПЕСТРИКОВА Варвара Сергеевна

ОЦЕНКА ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ВЕРТИКАЛЬНЫХ СТВОЛОВ С ПОРОДНЫМИ МАССИВАМИ ПРИ ВОССТАНОВЛЕНИИ КРЕПИ И АРМИРОВКИ

Кафедра геотехнологий и строительства
подземных сооружений

Специальность 25.00.22 – Геотехнология
(подземная, открытая и строительная)

Научный руководитель – д.т.н., профессор
КАЧУРИН Николай Михайлович

ЦЕЛЬ И ИДЕЯ РАБОТЫ

Целью работы являлось уточнение закономерностей изменения надежности жесткой армировки шахтных стволов для совершенствования методики оценки эксплуатационных характеристик вертикальных стволов в условиях Верхнекамского месторождения калийно-магниевых солей.

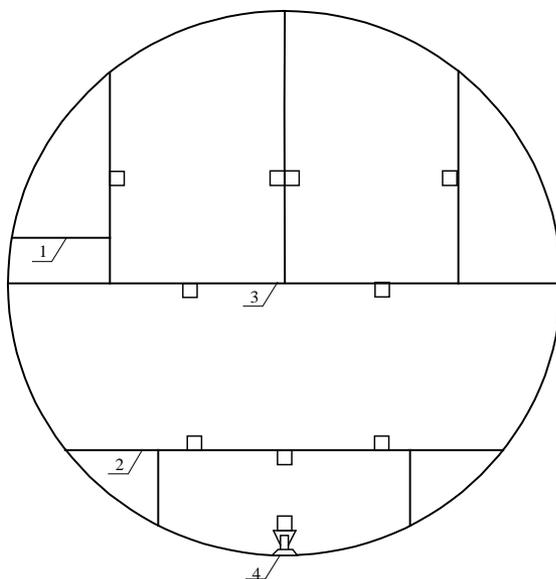
Идея работы заключается в том, что совершенствование методики оценки эксплуатационных характеристик вертикальных стволов в условиях Верхнекамского месторождения калийно-магниевых солей основывается на оценке параметров надежности технической системы «крепь ствола – армирование ствола – подъемный сосуд»

ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЯ

1. Экспериментальные замеры износов рабочих поверхностей направляющих проводников и балок расстрелов в действующих стволах ВКМКС, обработка и анализ полученного материала.
2. Анализ влияния механического и коррозионного износа направляющих проводников и коррозионного износа расстрелов на их деформационно-прочностные свойства
3. Разработка алгоритма расчета долговечности и предельно допустимого износа элементов армировки ствола. Разработка нового программного продукта для ПК по расчету проектируемой армировки и расчету предельно допустимых сроков безопасной эксплуатации балок расстрелов в агрессивных условиях действующих стволов Верхнекамского месторождения калийно-магниевых солей.
4. Апробация разработанного программного продукта в условиях действующих стволов Верхнекамского месторождения калийно-магниевых солей.
5. Натурные исследования нарушений чугунно-бетонной крепи шахтных стволов.
6. Разработка математических моделей формирования напряженно-деформированного состояния обнаженной бетонной крепи при замене разрушенных тюбингов.
7. Разработка методики оценки эксплуатационных характеристик вертикальных стволов в условиях Верхнекамского месторождения калийно-магниевых солей.

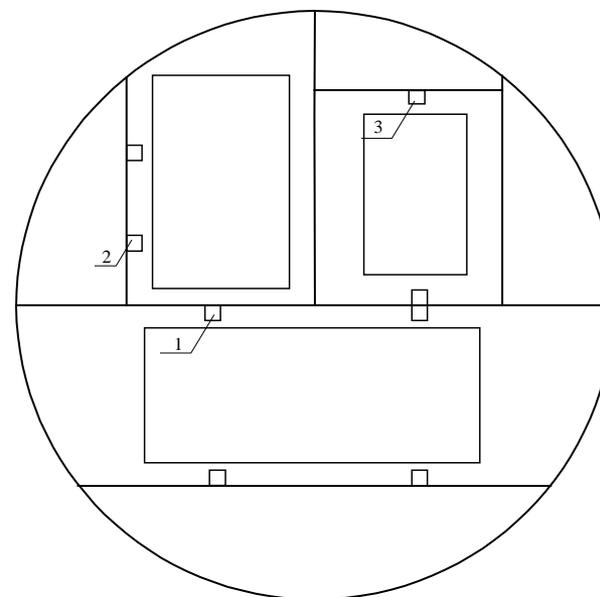
ХАРАКТЕРИСТИКА ОБЪЕКТОВ ИССЛЕДОВАНИЯ

Схема яруса армировки



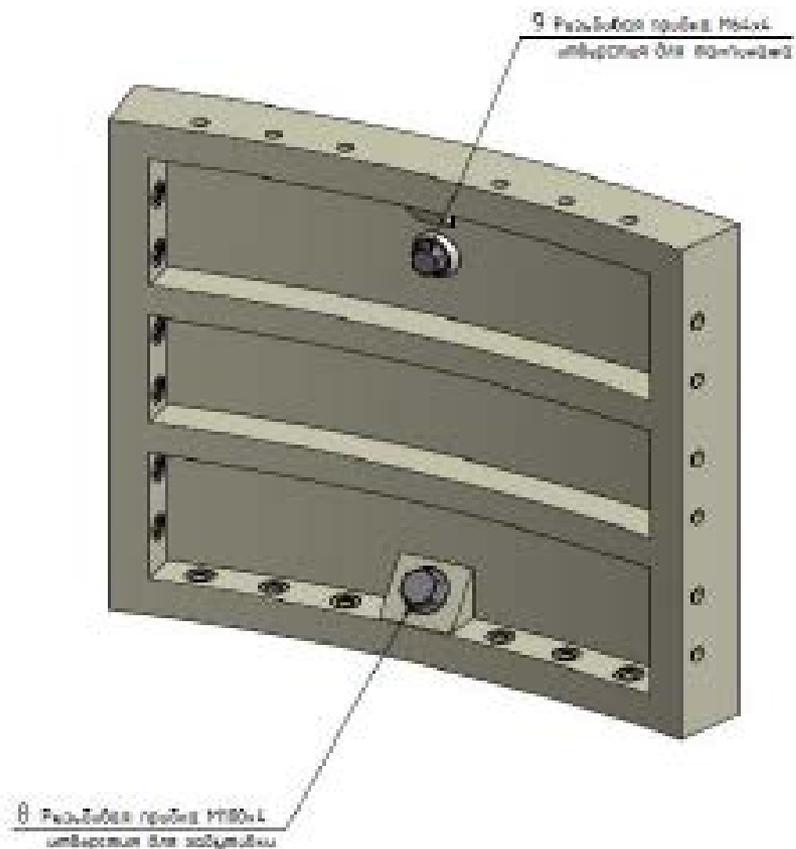
Позиция 1 – «свободная» балка расстрела;
Позиция 2 – балка расстрелов с дополнительными связями;
Позиция 3 – «Ш-образные» балки расстрела;
Позиция 4 – консольный расстрел

Схема расположения проводников



Позиция 1 – двухстороннее боковое;
Позиция 2 – одностороннее боковое;
Позиция 3 – двухстороннее лобовое.

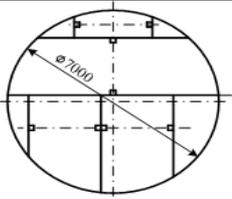
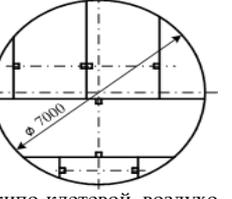
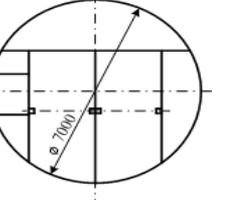
ХАРАКТЕРИСТИКА ОБЪЕКТОВ ИССЛЕДОВАНИЯ



ХАРАКТЕРИСТИКА ОБЪЕКТОВ ИССЛЕДОВАНИЯ

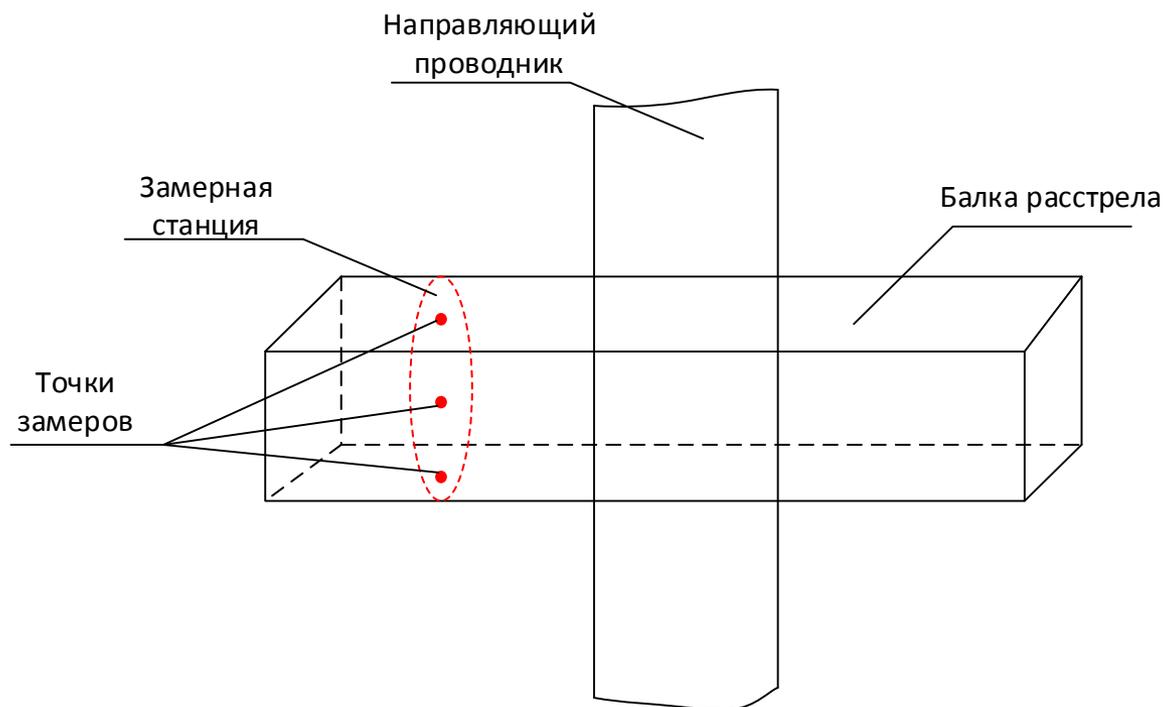


ОСНОВНЫЕ ПАРАМЕТРЫ ШАХТНЫХ СТОЛОВ, АРМИРОВОК И ПОДЪЕМНЫХ УСТАНОВОК ДЕЙСТВУЮЩИХ ВЕРТИКАЛЬНЫХ ШАХТНЫХ СТОЛОВ НА ВЕРХНЕКАМСКОМ МЕСТОРОЖДЕНИИ КАЛИЙНО-МАГНИЕВЫХ СОЛЕЙ

Рудоуправление, рудник	Схема сечения ствола	Диаметр ствола в свету, м	Глубина ствола, м	Размеры поперечного сечения элементов армировки, мм		Шаг армировки, м	Система подъема	Тип подъемного сосуда	Тип направляющих подъемного сосуда	Высота подъема, м	Скорость подъема, м/с	Год окончания строительства
				Проводники	Расстрелы							
БКПРУ-2	 <p>Скипо-клетевой, воздухоподающий</p>	7,0	473,8	180×185×12 (Сталь Ст3пс)	190×190×12 (Сталь Ст3пс)	3,0	2-х скиповой	СН-19,5	Роликовые, башмаки скольжения	470	10,4	1968
				220×220 (дерево)			Клеть с противовесом	Клеть 2-НОВ-400-15,0	Башмаки скольжения	395	7,3	
БКПРУ-2	 <p>Скипо-клетевой, воздухоподающий</p>	7,0	474,2	180×185×12 (Сталь Ст3пс)	190×190×12 (Сталь Ст3пс)	3,0	2-х скиповой	СН-19,5	Роликовые, башмаки скольжения	467	10,4	1969
				220×220 (Сталь Ст3пс)			Клеть с противовесом	Клеть 2-НОВ-400-15,0	Башмаки скольжения	394,7	7,3	
БКПРУ-2	 <p>Клетевой, вентиляционный</p>	7,0	401,15	190×190×12 (Сталь Ст3пс)	220×220 (дерево) 200×200 (дерево)	3,0	Клетевой	1КНД-400-113	Башмаки скольжения	395	5,5	1967

КОРРОЗИОННЫЙ ИЗНОС МЕТАЛЛИЧЕСКИХ РАССТРЕЛОВ В ШАХТНЫХ СТВОЛАХ

Схема замера остаточной толщины балок расстрелов



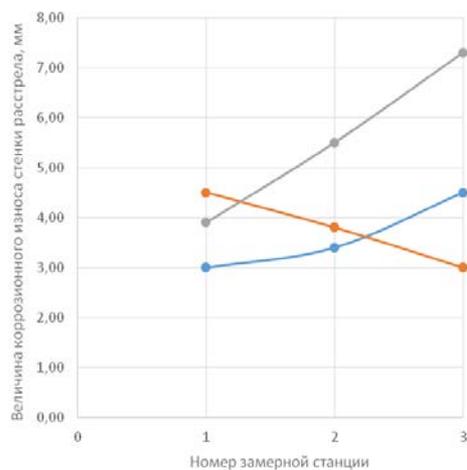
СТЕПЕНЬ КОРРОЗИОННОГО ИЗНОСА БАЛКИ РАССТРЕЛА (СРОК ЭКСПЛУАТАЦИИ 20 ЛЕТ)



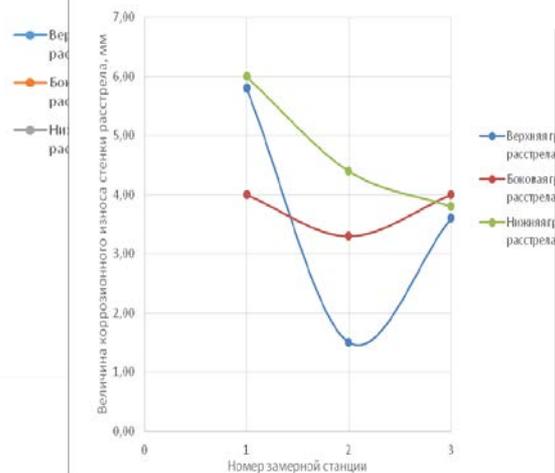
РАСПРЕДЕЛЕНИЕ КОРРОЗИОННОГО ИЗНОСА

Распределение коррозионного износа по длине расстрелов ствола № 3 Соликамского калийного рудоуправления № 3

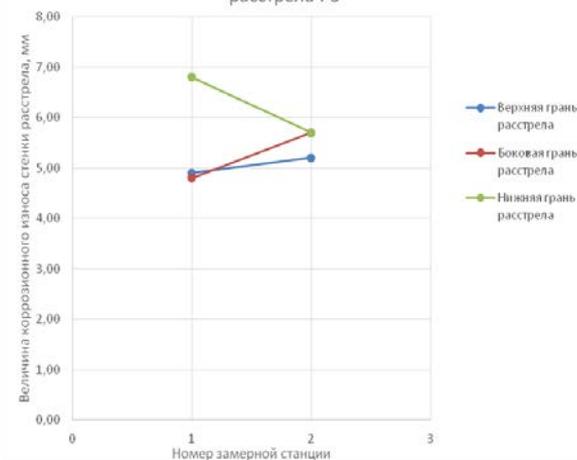
Распределение коррозионного износа по длине расстрела P1



Распределение коррозионного износа по длине расстрела P2



Распределение коррозионного износа по длине расстрела P3

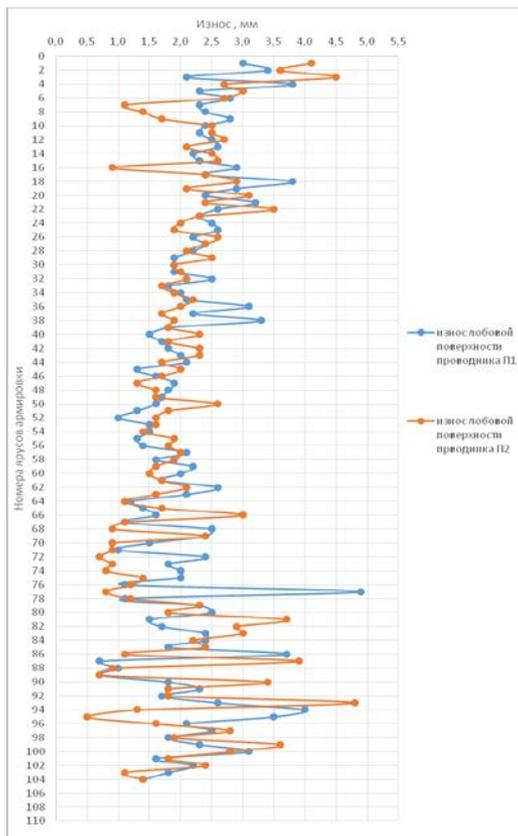


РАСПРЕДЕЛЕНИЕ СКОРОСТЕЙ КОРРОЗИИ РАССТРЕЛОВ В ШАХТНЫХ СТВОЛАХ ВЕРХНЕКАМСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ КАЛИЙНО-МАГНИЕВЫХ СОЛЕЙ

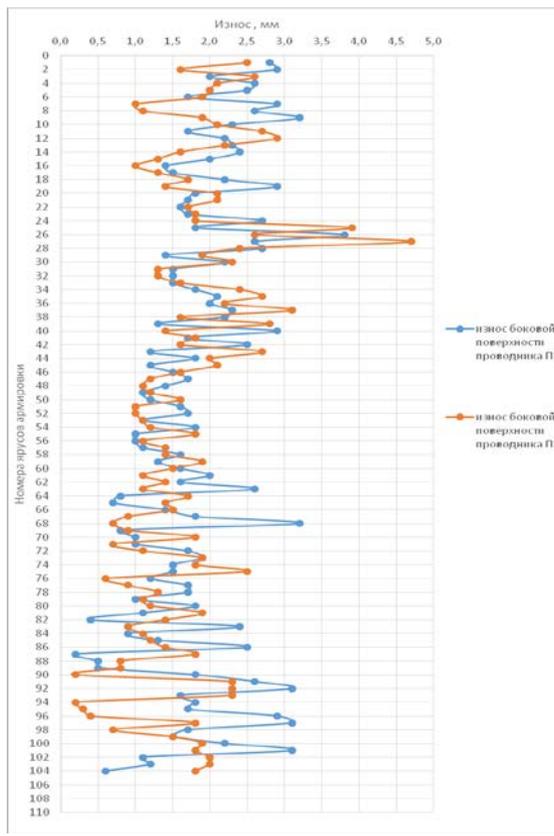
Наименование ствола	Назначение ствола в системе вентиляции		Тип подъема		Скорость коррозии по интервалам ствола, мм/год		
	Вентиляционный	Воздухоподающий	Скиповой	Клетевой	Верхний	Средний	Нижний
Ствол № 1 СКРУ-3	+		+		0,07	0,06	0,07
Ствол № 2 СКРУ-3		+		+	0,12	0,08	0,08
Ствол № 3 СКРУ-3		+	+	+	0,14	0,07	0,03
Ствол № 1 БКПРУ-4		+	+	+	0,06	0,08	0,06
Ствол № 2 БКПРУ-4		+	+		0,10	0,06	0,04
Ствол № 3 БКПРУ-4		+		+	0,06	0,08	0,04
Ствол № 1 БКПРУ-2		+	+	+	0,06	0,06	0,05
Ствол № 2 БКПРУ-2		+	+	+	0,09	0,06	0,07
Ствол № 3 БКПРУ-2	+			+	0,06	0,04	0,16
Ствол № 3 СКРУ-2		+		+	0,04	0,02	0,03
Ствол № 4 СКРУ-2	+		+		0,03	0,02	0,03
Ствол № 5 СКРУ-2		+	+	+	0,17	0,14	0,08
Ствол № 2- бис СКРУ-1	+		+	+	0,03	0,01	0,04

РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ИЗНОСА НАПРАВЛЯЮЩИХ ПРОВОДНИКОВ КОРОбЧАТОГО СЕЧЕНИЯ

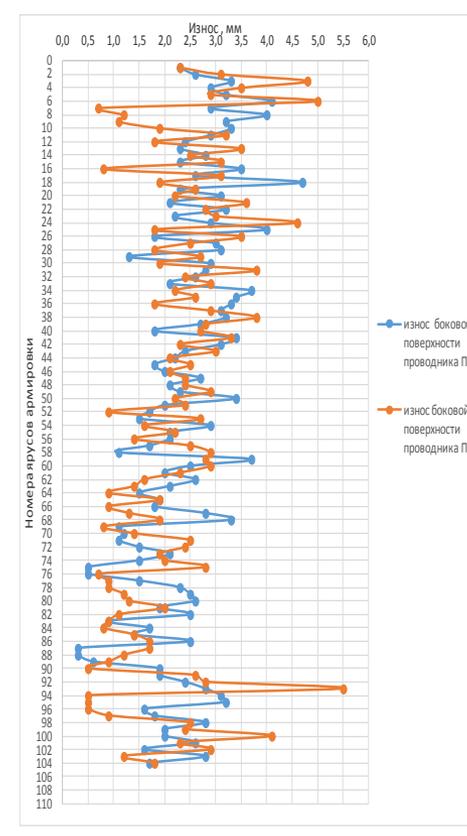
Лобовая плоскость



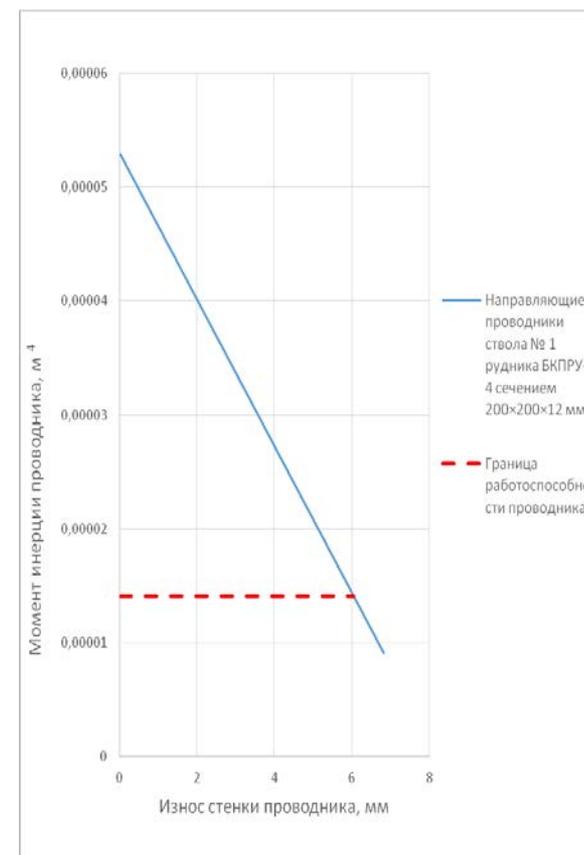
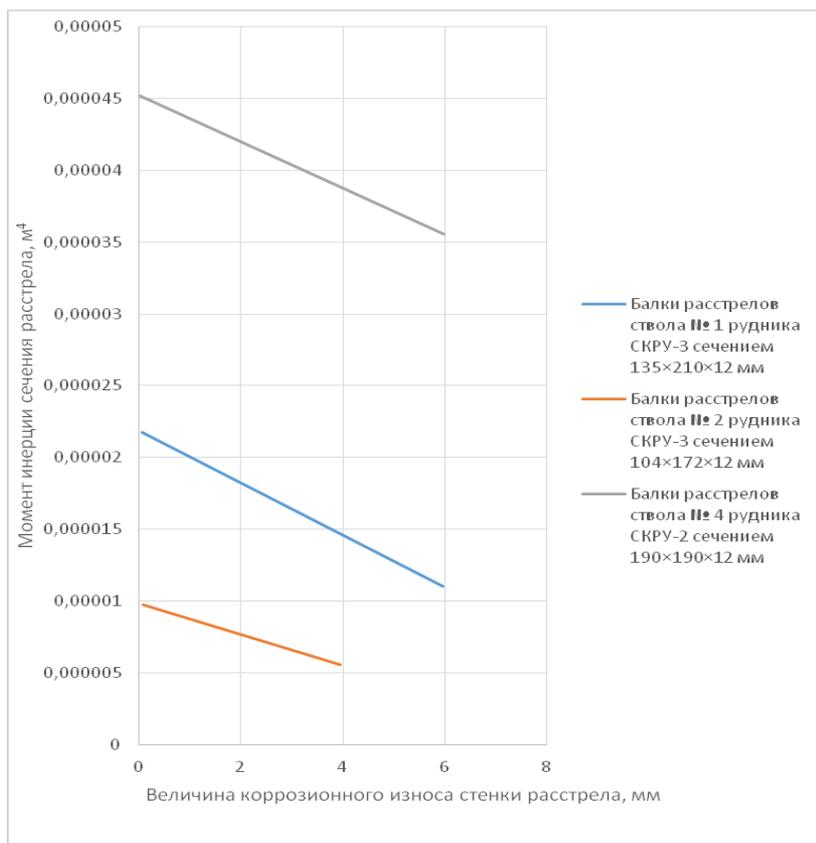
Боковая плоскость №1



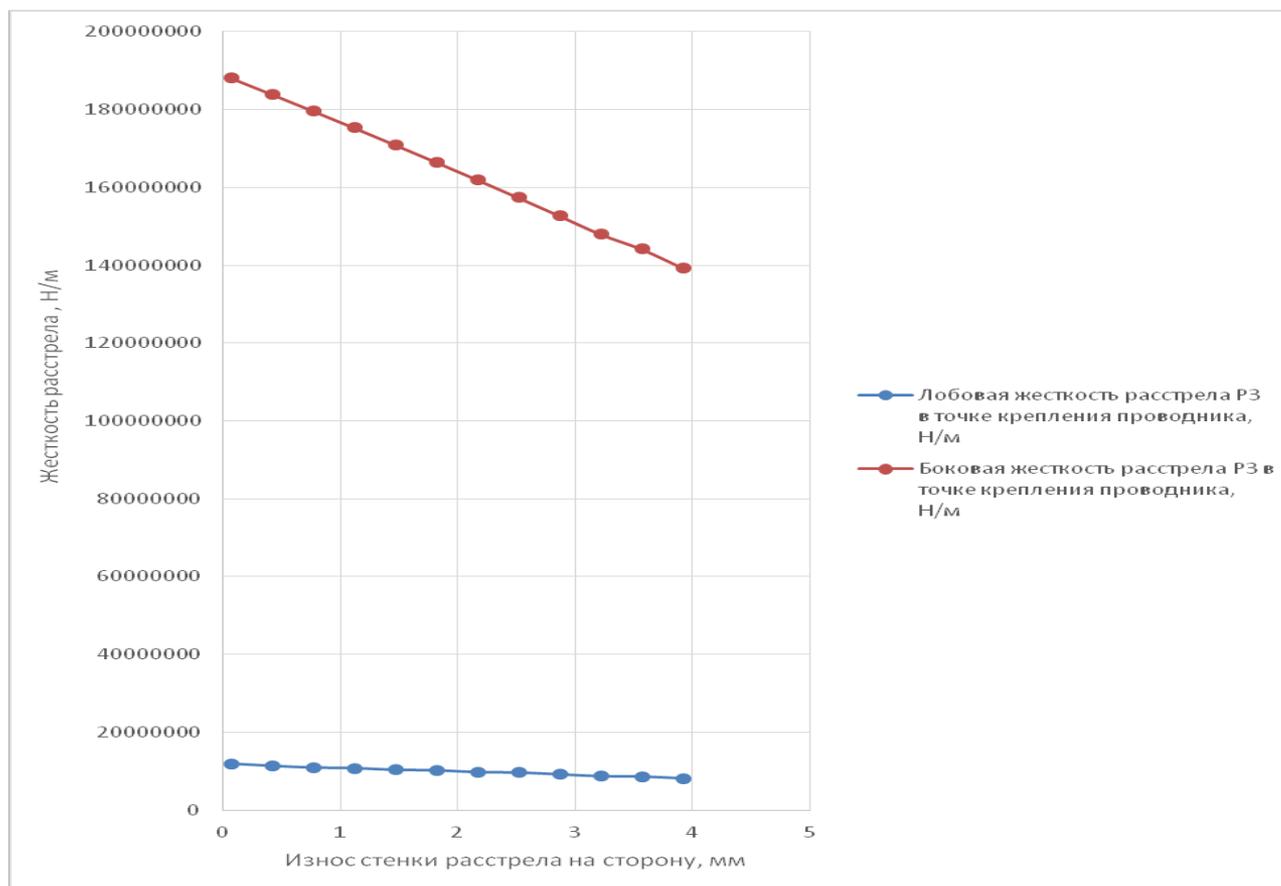
Боковая плоскость №2



ГЕОМЕТРИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ СЕЧЕНИЙ РАССТРЕЛОВ С УЧЕТОМ КОРРОЗИОННОГО ИЗНОСА



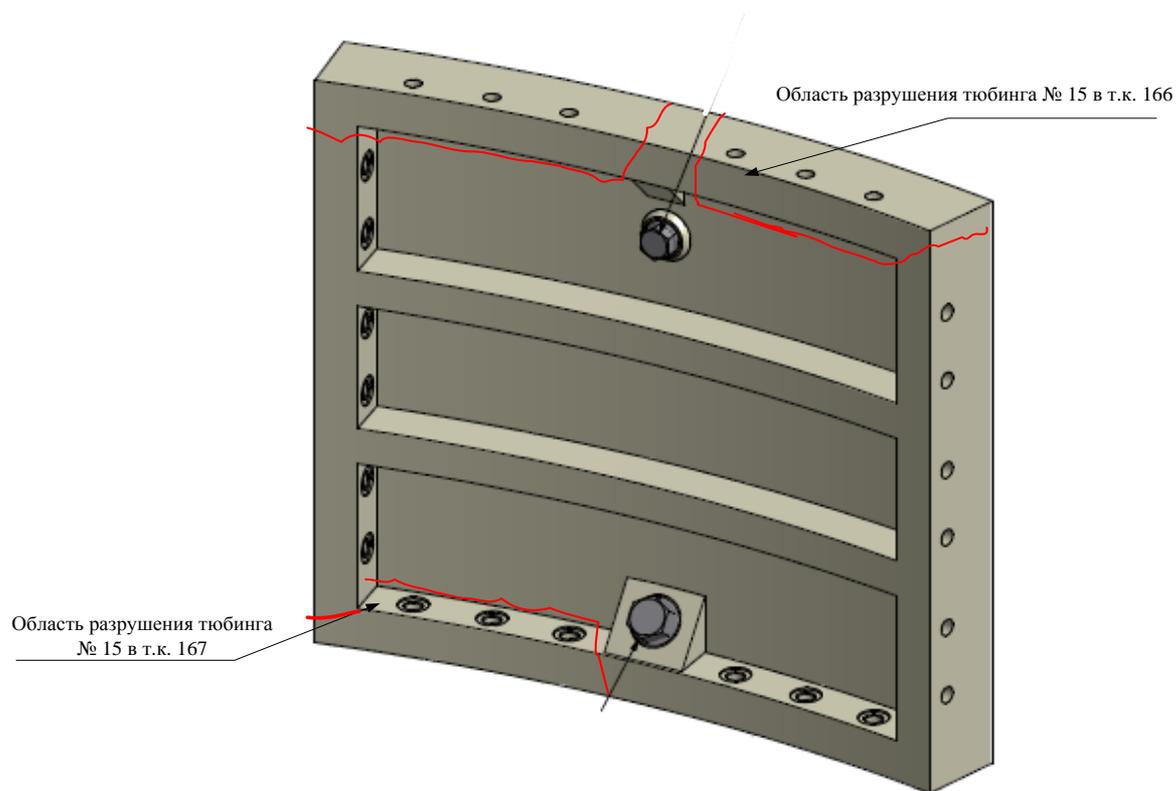
СНИЖЕНИЕ ЖЕСТКОСТИ РАССТРЕЛА РЗ, ВСЛЕДСТВИЕ ИЗНОСА СТЕНКИ РАССТРЕЛОВ И ПРОВОДНИКОВ



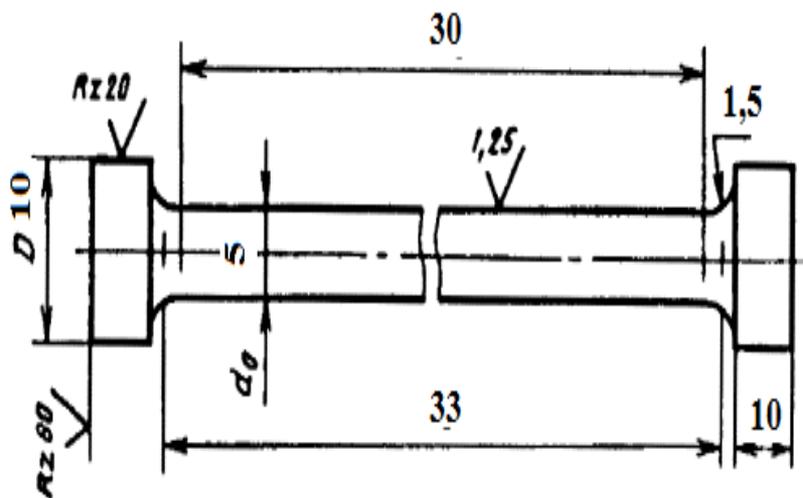
НАТУРНОЕ ОБСЛЕДОВАНИЕ КРЕПИ ШАХТНОГО СТВОЛА № 2 УСТЬ-ЯЙВИНСКОГО РУДНИКА



НАТУРНОЕ ОБСЛЕДОВАНИЕ КРЕПИ ШАХТНОГО СТВОЛА № 2 УСТЬ-ЯЙВИНСКОГО РУДНИКА



ИССЛЕДОВАНИЯ МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ЧУГУНА ТЮБИНГОВОЙ КРЕПИ



Образцы чугуна тюбингов клетьевого
ствола №2 Усть-Яйвинского рудника для
испытания на растяжение

Образцы с 6 по 6

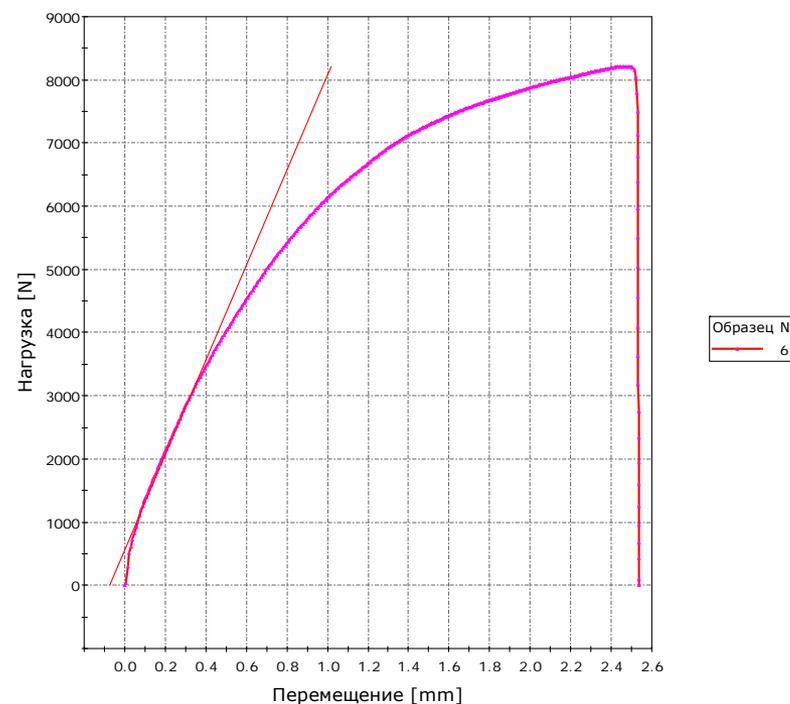


График растяжения цилиндрического
образца из чугуна

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ЧУГУНА ТЮБИНГОВОЙ КРЕПИ

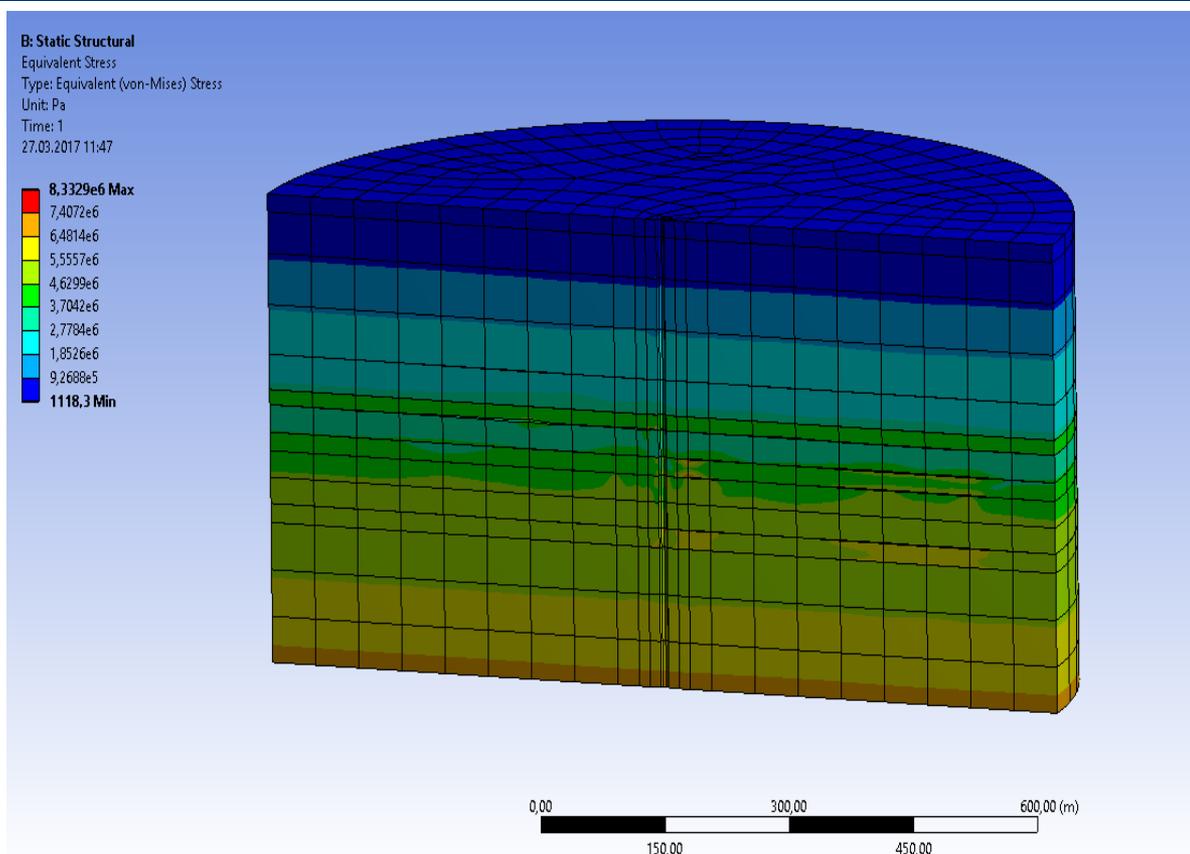
Результаты испытаний чугуна тюбингов клетьевого ствола №2 Усть-Яйвинского рудника на растяжение

Воздействие	Длина, мм	Конечная длина, мм	Модуль деформации, МПа	Максимум нагрузки, Н	Напряжение растяжения при максимуме нагрузки, МПа	Нагрузка при пределе текучести (условном), Н	Напряжение растяжения при пределе текучести (условный ПТ 0,02 мм) МПа
1-вдоль	30,0	31,800	-	7 904,083	402,552	5666,668	288,600
2-вдоль	30,0	33,500	11 969,66	9 023,061	459,541	6633,721	343,325
3-вдоль	30,0	34,500	9 371,684	8 727,507	451,686	5931,579	306,990
4-попер	30,0	33,000	10 040,59	8 816,977	456,317	5710,526	295,545
5-попер	30,0	33,000	11 557,88	8 474,153	440,348	4973,367	257,410
6-попер	30,0	32,500	11 692,00	8 214,683	425,145	5968,421	308,893
7-вдоль	30,0	34,000	9 341,687	8 930,868	464,081	6078,947	314,613
8-попер	30,0	32,500	10 328,64	8 347,426	432,016	6032,567	312,212

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ БЕТОНА КРЕПИ ШАХТНОГО СТВОЛА

Наименование образца	Физические размеры, мм		Масса, кг	Объем, м ³	Средняя плотность, кг/м ³	Прочность на сжатие		Прочность на растяжение	
	диа метр	высота				кгс/см ²	МПа	кгс/см ²	МПа
Клетевой ствол №2									
Север отм. -317 м	94	218	3,69	0,00151	2380	176	17,6	22,0	2,20
Север отм. -297,1 м	94	212	3,62	0,00147	2462	268	26,8	33,5	3,35
Север отм. – 356,8 м	94	163	2,77	0,00113	2451	271	27,1	33,9	3,39
Север отм. – 336,98 м	94	194	3,34	0,00135	2470	214	21,4	26,7	2,67

РАСЧЁТ ГОРНОГО ДАВЛЕНИЯ НА КРЕПЬ СТВОЛА № 2 УСТЬ-ЯЙВИНСКОГО РУДНИКА ЧИСЛЕННЫМ МЕТОДОМ (МКЭ)

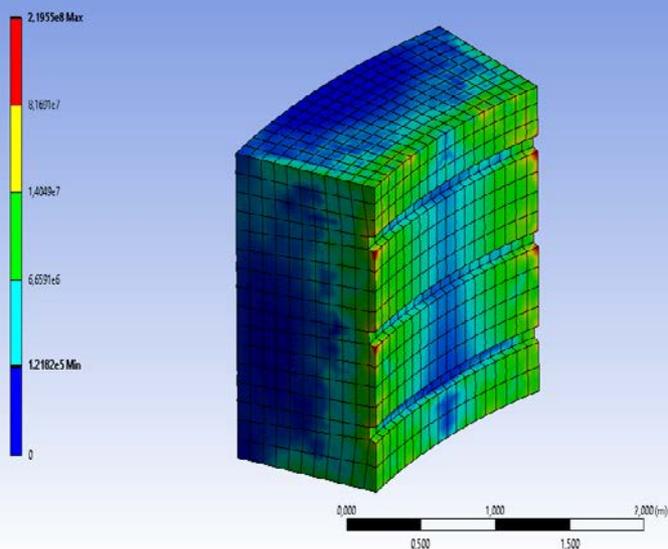


РЕЗУЛЬТАТЫ РАСЧЁТА ГОРНОГО ДАВЛЕНИЯ НА КРЕПЬ СТВОЛА № 2 УСТЬ-ЯЙВИНСКОГО РУДНИКА ЧИСЛЕННЫМ МЕТОДОМ (МКЭ)

Наименование толщи	Глубина, м	Горное давление, МПа
Пестроцветная толща	43,90	0,67
Терригенно – карбонатная толща	67,90	1,16
Терригенно – карбонатная толща	84,40	1,31
Терригенно – карбонатная толща	102,50	1,47
Терригенно – карбонатная толща	124,90	1,69
Терригенно – карбонатная толща	152,50	2,02
Покровная каменная соль	294,60	4,51
Подстилающая каменная соль	531,20	6,98

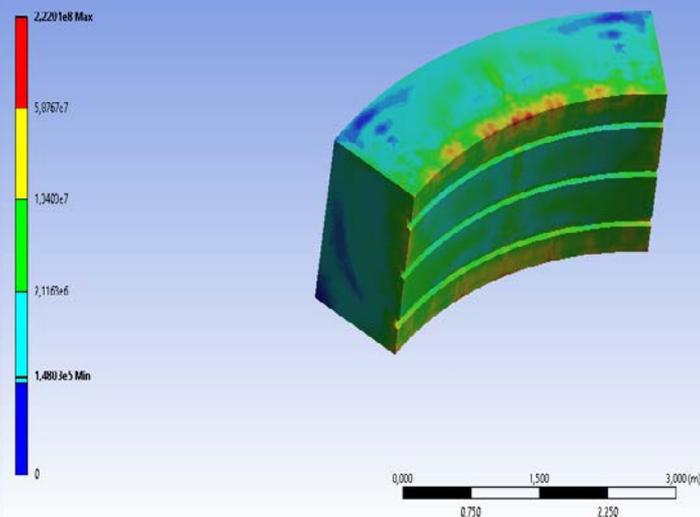
Моделирование процесса трещинообразования в бетонной крепи ствола № 2 при замене тубингов

B: Static Structural
Equivalent Stress
Type: Equivalent (von-Mises) Stress
Units: Pa
Time: 600001



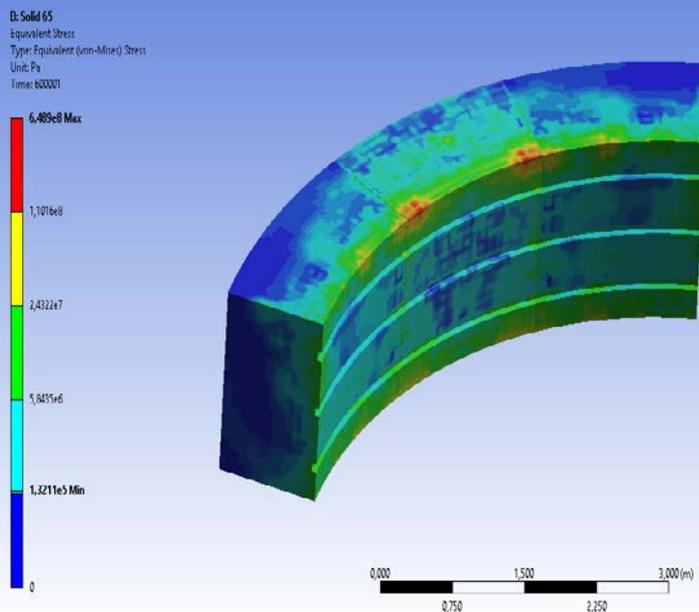
Нормальные тангенциальные напряжения в бетонном слое крепи клетьевого ствола №2 для кольца №166 при демонтаже 1 тубинга

B: Solid 65
Equivalent Stress
Type: Equivalent (von-Mises) Stress
Units: Pa
Time: 600001

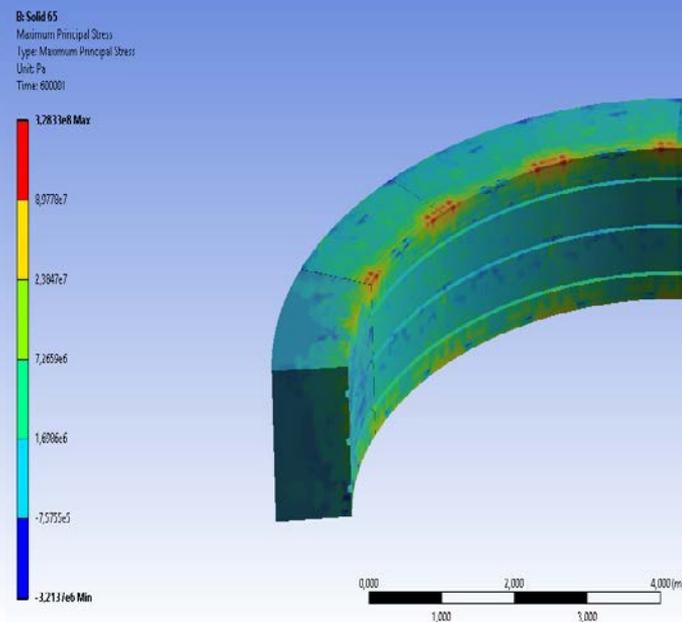


Нормальные тангенциальные напряжения в бетонном слое крепи клетьевого ствола №2 для кольца №166 при демонтаже 2 тубингов

Моделирование процесса трещинообразования в бетонной крепи ствола № 2 при замене ТЮБИНГОВ



Нормальные тангенциальные напряжения в бетонном слое крепи клетьевого ствола №2 для кольца №166 при демонтаже 3 тубингов

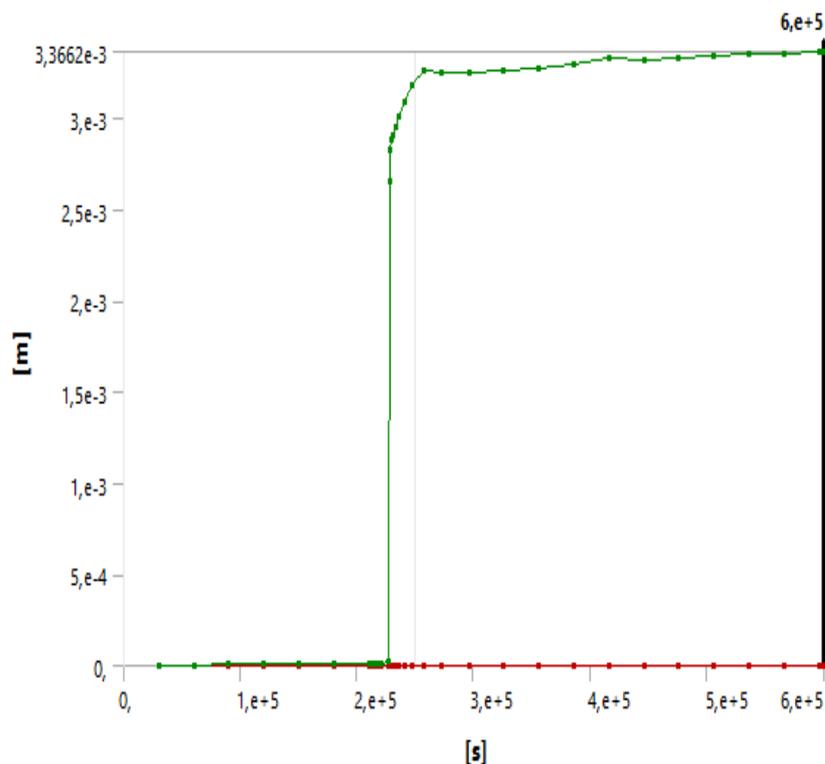


Нормальные тангенциальные напряжения в бетонном слое крепи клетьевого ствола №2 для кольца №166 при демонтаже 5 тубингов

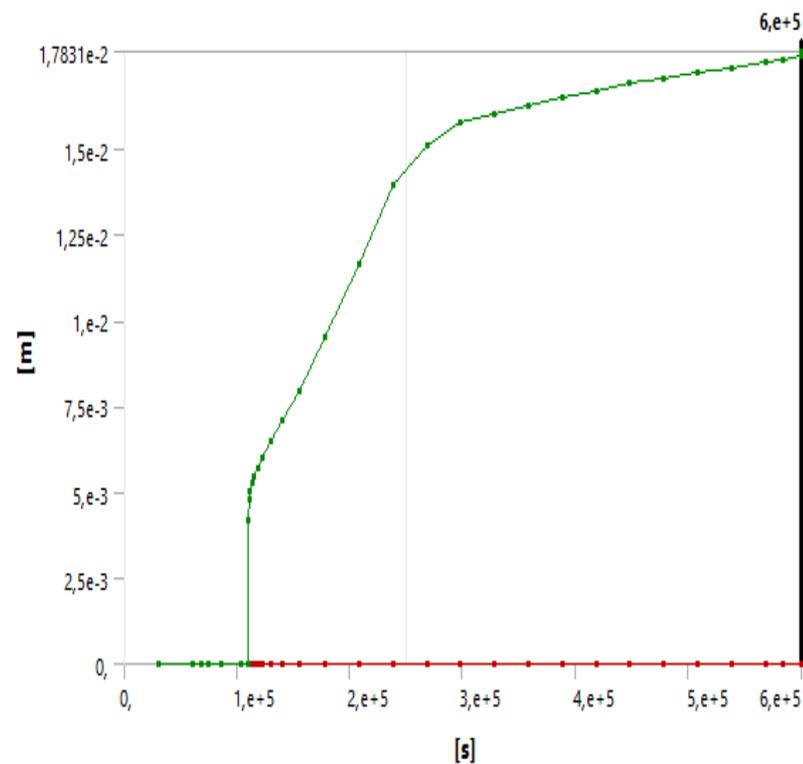
Имитационное моделирование напряжений обнаженной бетонной вертикальных стволов с учетом фактора времени

Коэффициент запаса прочности	Число демонтированных тюбингов				
	1	2	3	4	5
При демонтированных тюбингах	0,44	0,23	0,11	0,07	0,06
При недемонтированных тюбингах	1,61				

Имитационное моделирование напряжений обнаженной бетонной вертикальных стволов с учетом фактора времени



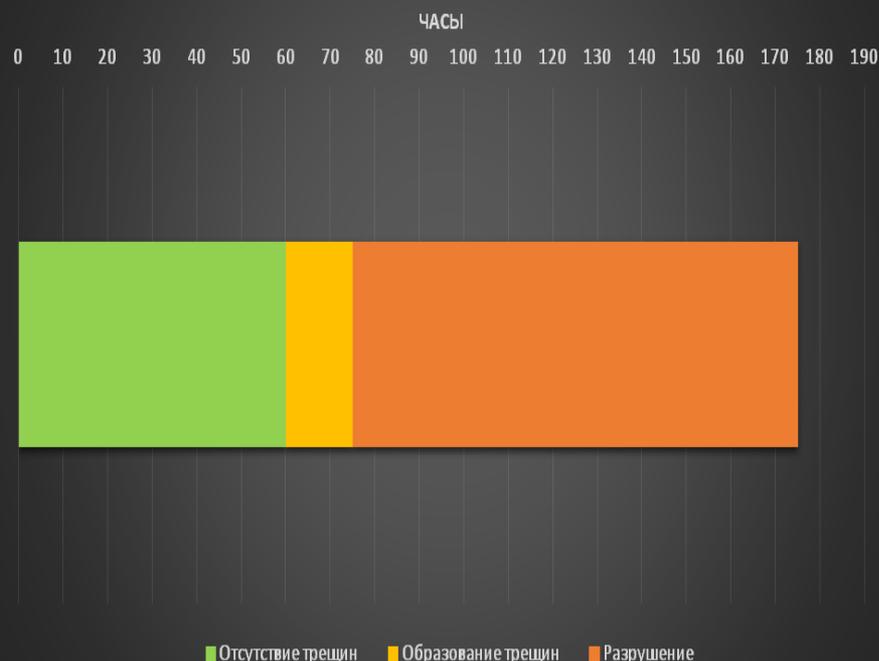
Максимальные деформации бетонного слоя при одновременной замене одного тубинга



Максимальные деформации бетонного слоя при одновременной замене пяти тубингов

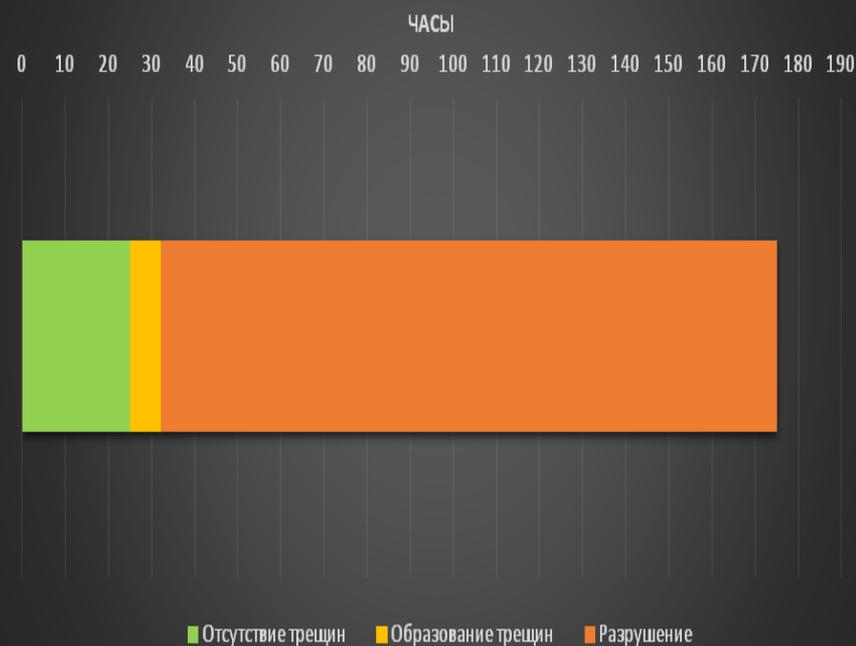
Имитационное моделирование напряжений обнаженной бетонной вертикальных стволов с учетом фактора времени

Трещинообразование и разрушение



Трещинообразование и разрушение бетонного слоя крепи при замене одного тубинга

Трещинообразование и разрушение



Трещинообразование и разрушение бетонного слоя крепи при одновременной замене пяти тубингов

Основные показатели надежности геотехнологической системы

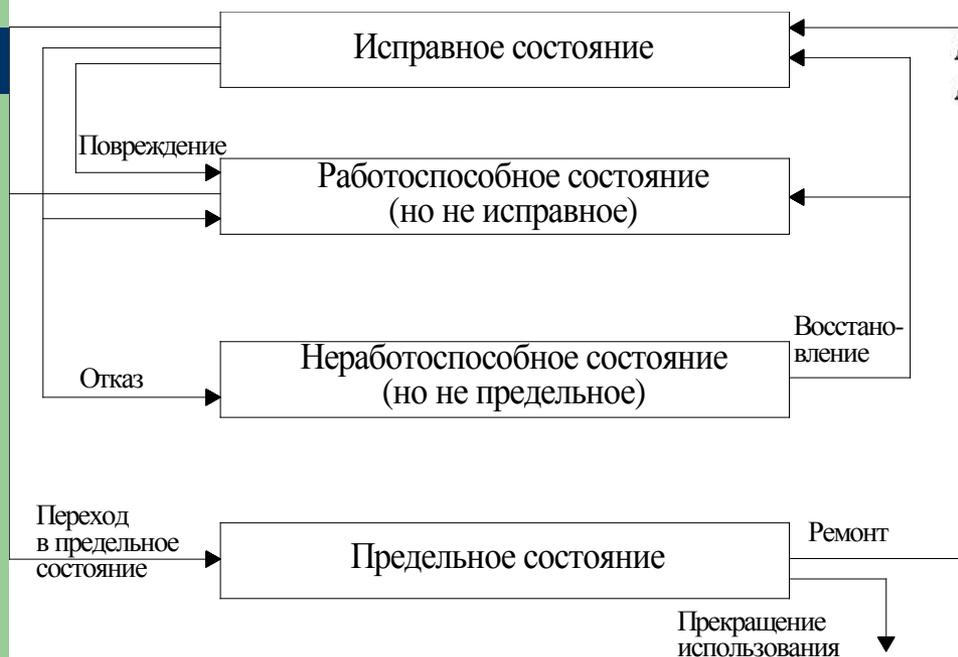
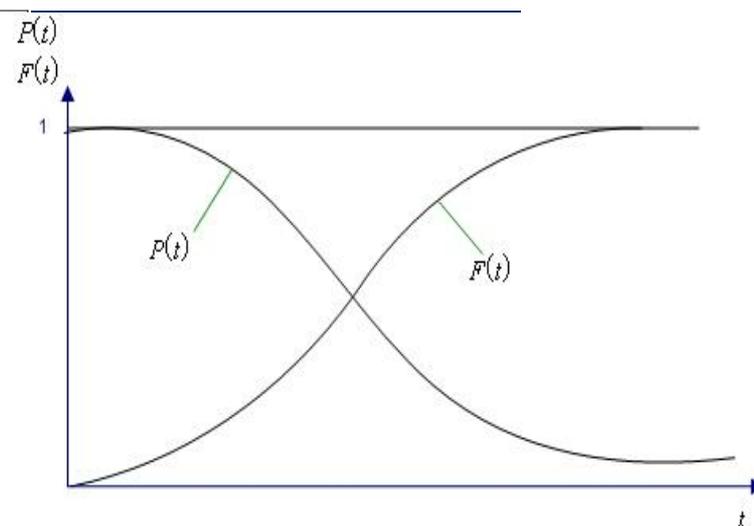


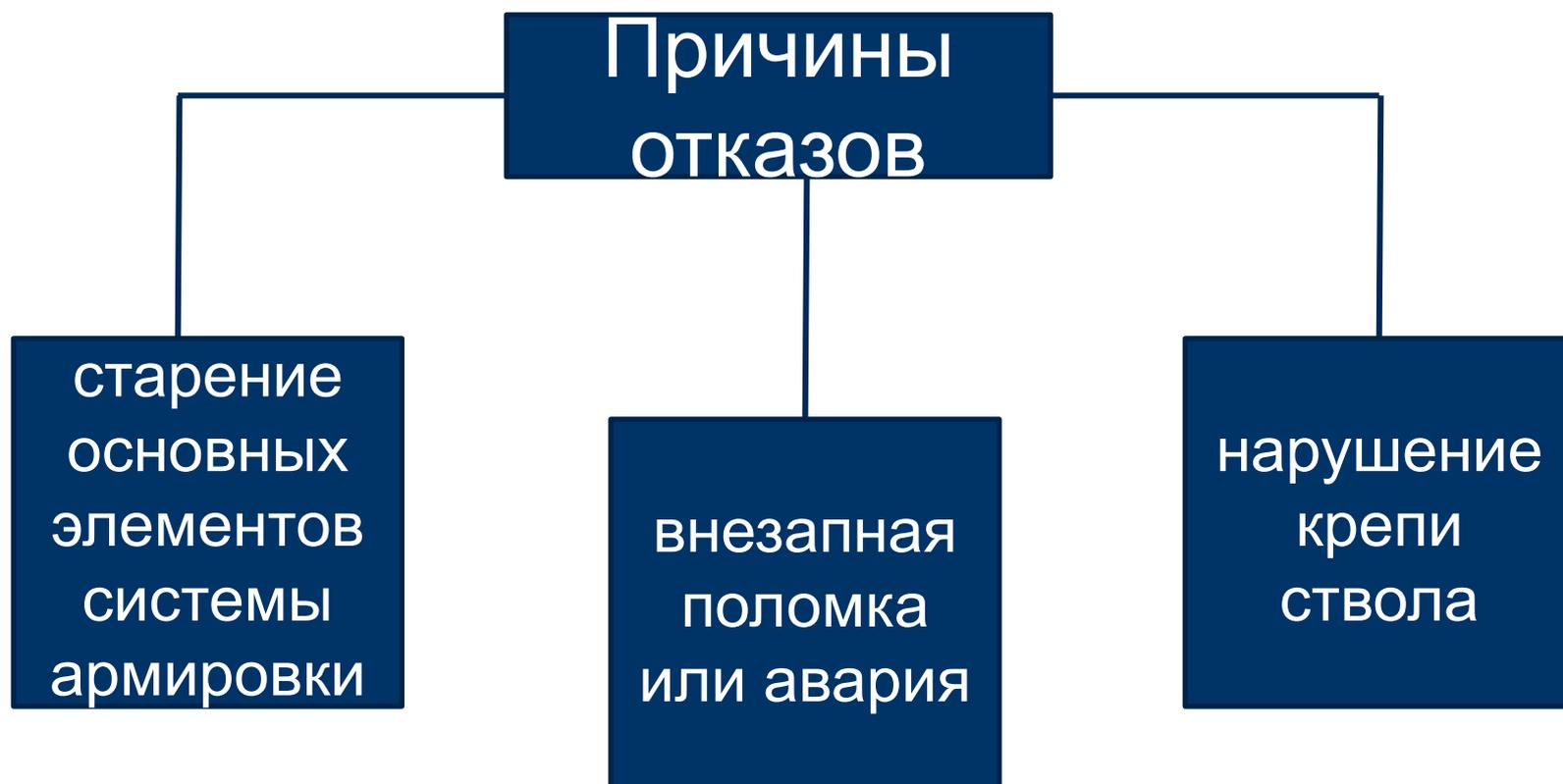
Схема основных состояний и событий системы



Примерный вид функции распределения $F(t)$ и функции надежности $P(t)$

БЛАГОДАРЮ ЗА ВНИМАНИЕ!

КЛАССИФИКАЦИЯ ПРИЧИН ВОЗНИКНОВЕНИЯ ОТКАЗОВ СИСТЕМЫ «ПОДЪЕМНЫЙ СОСУД- АРМИРОВКА-КРЕПЬ СТВОЛА» ВЕРТИКАЛЬНЫХ СТВОЛОВ



ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ЗАКОНОМЕРНОСТИ ОТКАЗОВ СИСТЕМЫ «ПОДЪЕМНЫЙ СОСУД-АРМИРОВКА-КРЕПЬ СТВОЛА» ВЕРТИКАЛЬНЫХ СТВОЛОВ

Концептуальная формула риска нарушения работы ствола

$$R_C = P_C \cdot Y, \quad (13.1)$$

где R_C , P_C - риск и вероятность нарушения работы ствола соответственно; Y - ущерб от нарушения работы ствола. где R_C , P_C - риск и вероятность нарушения работы ствола соответственно; Y - ущерб от нарушения работы ствола.

$$Y = \int_{\Omega} p_{\Pi}(x, y, z) P_{\Pi}(x, y, z) d\Omega, \quad (13.2)$$

где $p_{\Pi}(x, y, z)$ и $P_{\Pi}(x, y, z)$ - соответственно плотность распределения технических средств в стволе, и вероятность их разрушения; Ω - зона действия деструктивного фактора.

Тогда длительность безаварийной работы τ_i по i -му виду аварий элементов армировки будет определяться по формуле:

$$\tau_i = \int_0^{\infty} \left\{ \exp \left[- \int_0^t \lambda_i(t) dt \right] \right\} dt. \quad (13.3)$$

Методика оценки эксплуатационных характеристик вертикальных стволов

Автоматизированная стационарная система мониторинга инженерных конструкций (СМИК):

- составление программы измерений;
- выбор схемы расположения маркшейдерских пунктов плано-высотного обоснования, с которых будут проводиться измерения;
- пространственная привязка этой основы;
- закладка деформационных сетей в виде групп реперов по выбранной схеме наблюдений;
- непосредственные инструментальные измерения;
- обработка, вычисления результатов с оценкой результатов и выводами.

ОСНОВНЫЕ НАУЧНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ

1. Заданные или определяемые в процессе расчета параметры системы «подъемный сосуд – армировка» должны обеспечивать безаварийную эксплуатацию армировки, в случае если сохраняются устойчивость системы и напряженно-деформированное состояние элементов армировки не превышает некоторые нормированные уровни.

2. Совершенствование методики оценки эксплуатационных характеристик вертикальных стволов в условиях Верхнекамского месторождения калийно-магниевых основывается на оценке параметров надежности технической системы «подъемный сосуд-армировка ствола-крепь ствола»

3. В процессе износа балок расстрелов и направляющих проводников происходит уменьшение их инерциальных характеристик, что влечет за собой снижение жесткости конструкции армировки.

4. Значение коэффициента запаса прочности сильно снижается при демонтаже тубингов. Так, при демонтаже одного тубинга он снижается до 0,44; при демонтаже сразу пяти тубингов снижение происходит до 0,06.

5. Трещинообразование и разрушение бетонного слоя крепи целесообразно представлять в виде индикаторных диаграмм, отражающих процессы, протекающие в бетонном слое в различные периоды времени. Длительность безопасного технологического периода при замене одного тубинга составляет 60 ч, при одновременной замене пяти тубингов 25 ч.