

**ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ ВЕРТИКАЛЬНЫХ СТВОЛОВ  
С ПОРОДНЫМ МАССИВОМ И ОЦЕНКА  
ПОСЛЕДСТВИЙ НАРУШЕНИЯ ПРОЕКТОВ  
СТРОИТЕЛЬНЫХ ГЕОТЕХНОЛОГИЙ**

---

Научный руководитель: д.т.н., профессор Н.М. Качурин

# ЦЕЛЬ И ИДЕЯ РАБОТЫ

---

**Целью работы** являлось уточнение закономерностей взаимодействия вертикальных стволов калийных рудников с породным массивом для прогнозной оценки последствий нарушения проектов строительных геотехнологий и разработки эффективных рекомендаций по восстановлению и обеспечению безопасной эксплуатации стволов.

**Идея работы** заключается в том, что для прогнозной оценки последствий нарушения проектов строительных геотехнологий и разработки эффективных рекомендаций по восстановлению и обеспечению безопасной эксплуатации стволов необходимо использовать систему контрольно-измерительного мониторинга материала крепи, и математическое моделирование ее напряженно-деформированного состояния.

# ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЙ

---

1 Исследование горно-геологических условий строительства калийных рудников в Пермском крае и анализ проектных технологических параметров строительства вертикальных стволов.

2 Натурное обследование крепи стволов Усть-Яйвинского рудника и выявление дефектов чугунно-бетонной крепи. Лабораторные исследования физико-механических свойств чугуна тюбингов и бетона бетонной крепи.

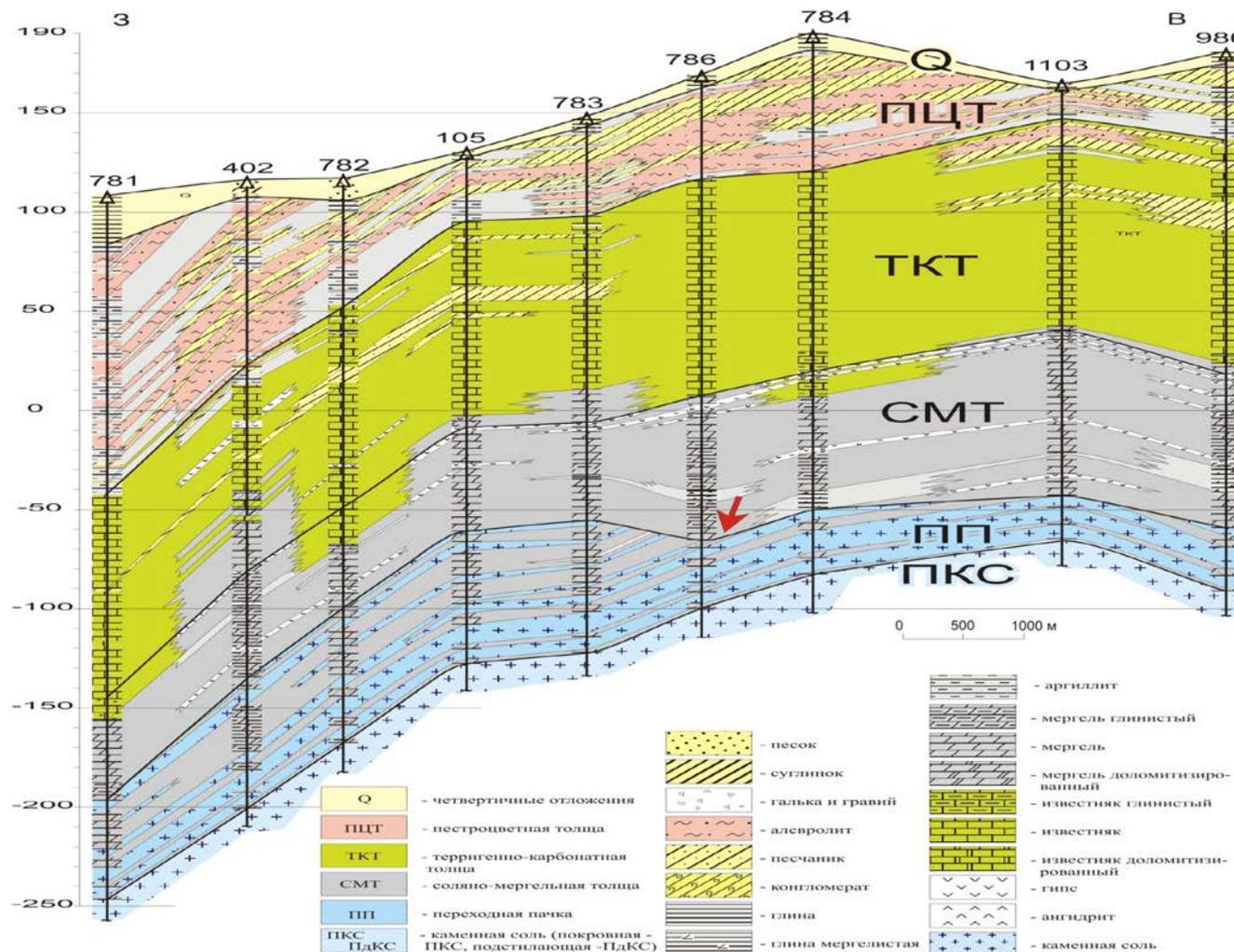
3 Обоснование 3D моделей для прогноза горного давления и моделирования стационарных и нестационарных полей нормальных тангенциальных напряжений. Проведение вычислительных экспериментов для различных участков стволов Усть-Яйвинского рудника, выявление опасных зон в опорных венцах и оценка влияния податливого слоя на напряженно-деформированное состояние крепи.

4 Аналитическое и численное моделирование напряженно-деформированного состояния крепи стволов Усть-Яйвинского рудника и сравнительная оценка полученных результатов.

5 Обоснование условий устойчивости скипового ствола №1 и клетьевого ствола №2 Усть-Яйвинского рудника ПАО «Уралкалий».



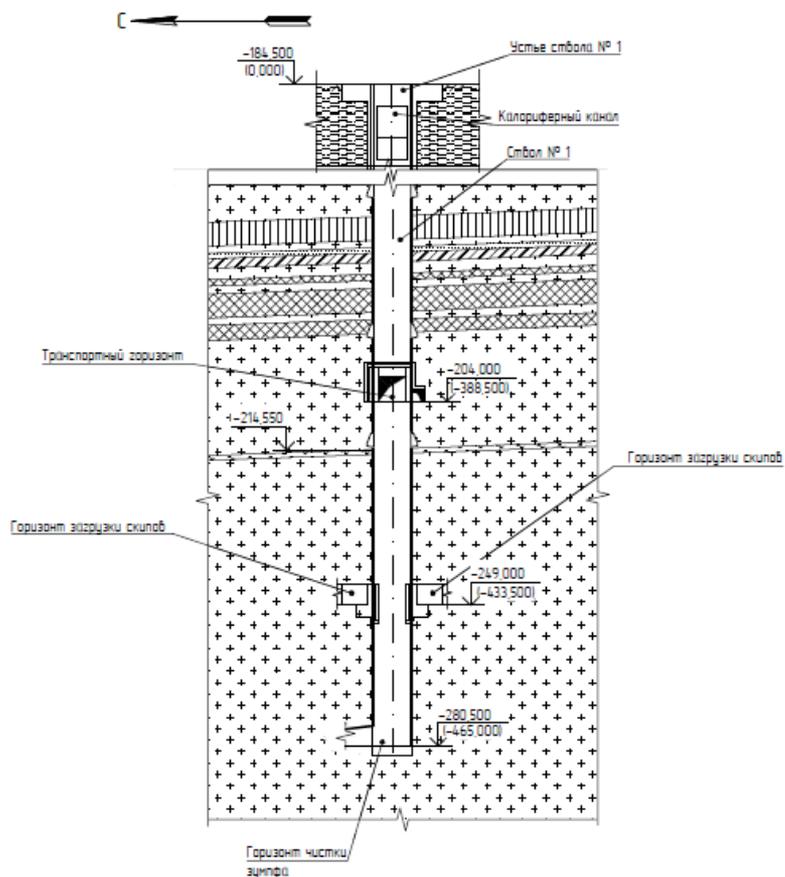
# ГЕОЛОГИЧЕСКИЙ РАЗРЕЗ ЧЕРЕЗ ЦЕНТРАЛЬНУЮ ЧАСТЬ УСТЬ-ЯЙВИНСКОГО УЧАСТКА



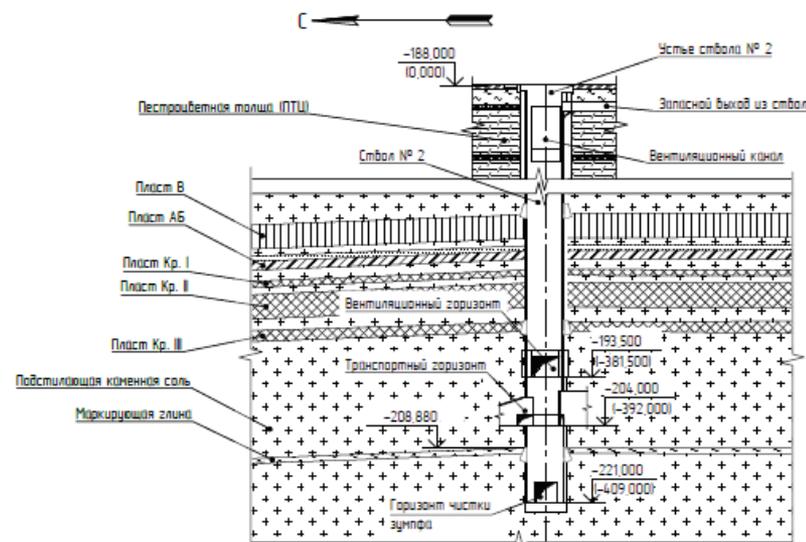
Красной стрелкой показан эрозионный врез на поверхности переходной пачки глубиной около 15 м

# ВЕРТИКАЛЬНАЯ СХЕМА ВСКРЫТИЯ УСТЬ-ЯЙВИНСКОГО РУДНИКА

Ствол № 1 (скиповой, воздухоподающий) (1:1000)



Ствол № 2 (клетевой, вентиляционный) (1:1000)

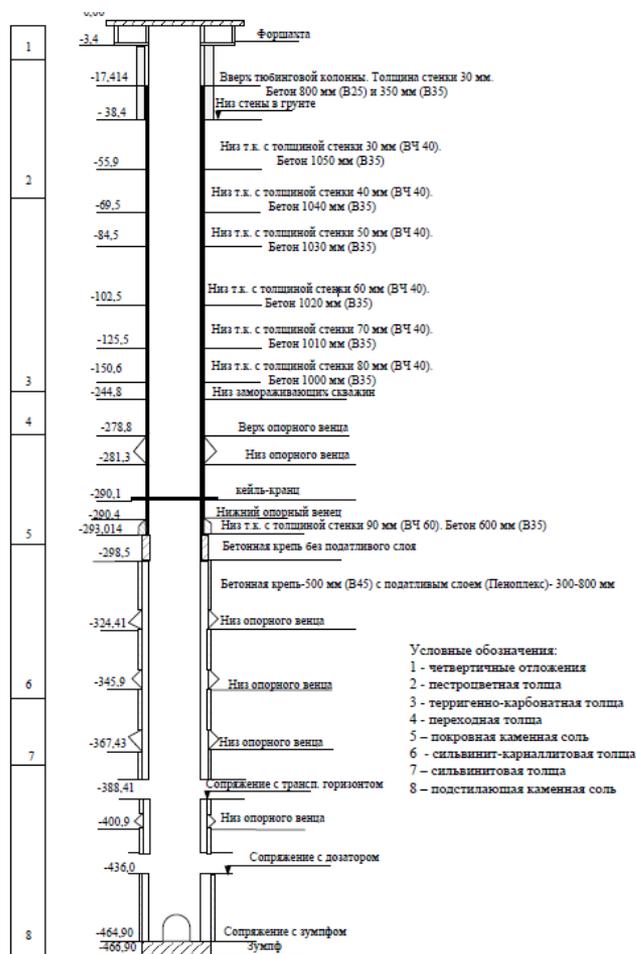


## Условные обозначения

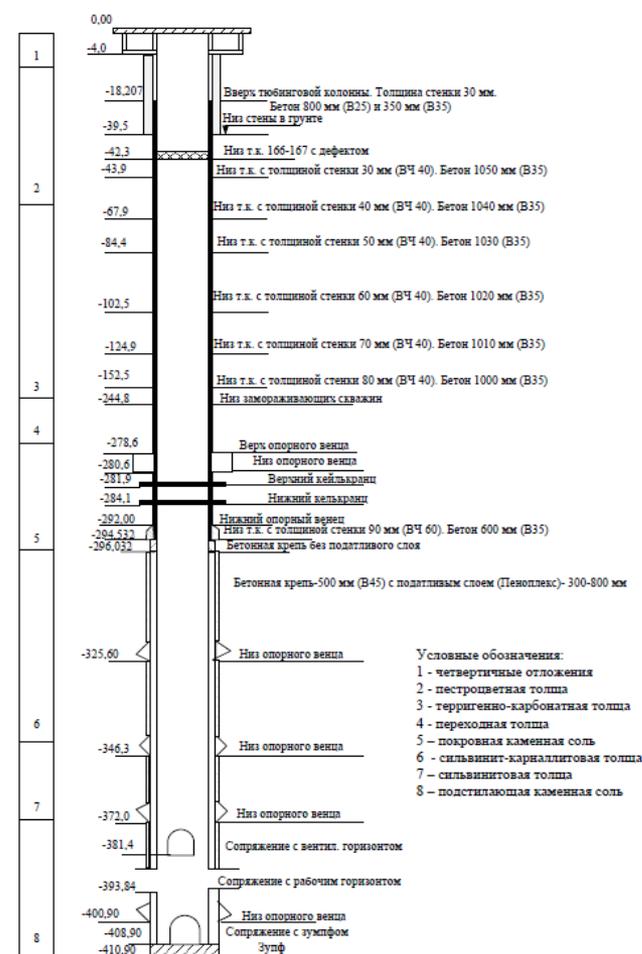


# СХЕМЫ КРЕПИ СТВОЛОВ УСТЬ-ЯЙВИНСКОГО РУДНИКА

Скиповой ствол № 1



Клетевой ствол № 2



# ТЕХНИЧЕСКИЕ ДАННЫЕ ЖЕЛЕЗОБЕТОННОЙ КРЕПИ СКИПОВОГО СТВОЛА №1 И КЛЕТЬЕВОГО СТВОЛА № 2

Показатель	Значение показателя
Толщина крепи ствола	500 мм
Арматура от - 422,0 м до -417,5м	504Ø20/10
Арматура от - 417,5 м до -294,0м	252Ø12/20
Ригели над сопряжениями в вертикальной части ствола	5Ø12
Класс прочности бетона	B45
Фундамент	Высота 2000 мм Диаметр 9700 мм
Арматура фундамента	Ø20/20
Класс прочности бетона	B45
Деформационный слой («Пеноплэкс 35») – 294,000 – 399,000	300 мм
Деформационный слой («Пеноплэкс 35») – 399,000 – 422,000	350 мм



## НАТУРНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ФАКТИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ КРЕПИ СКИПОВОГО СТВОЛА №1 И КЛЕТЬЕВОГО СТВОЛА №2 УСТЬ-ЯЙВИНСКОГО РУДНИКА

**Разрушенные тубинги, зарегистрированные  
в скиповом стволе №1**

№ п.п.	Номер тубингового кольца в колонне	Заводской номер тубинга	Номер сертификата (номер плавки)
1	139	613	66/15 (403945)
2	124	104	76/15 (403991)
3	127	28	58/15 (403934)
4	124	83	64/15 (13111)
5	123	86	38/15 (12173)
6	123	27	38/15 (13059)
7	116	205	37/15 (403874)
8	116	220	37/15 (403880)
9	116	153	37/15 (403833)
10	116	88	37/15 (11525)
11	109	389	53/15 (13164)
12	108	565	52/15 (403943)
13	100	572	43/15 (403951)
14	93	1636	28/15 (403991)
15	96	334	29/15 (11532)
16	120	160	35/15 (403834)
17	120	246	35/15 (403923)

**Разрушенные тубинги, зарегистрированные в клетьевом стволе №2**

№ п.п.	Номер тубингового кольца в колонне	Заводской номер тубинга	Номер паспорта	Тип / марка (по проекту)
1	167	335	342	8.0-30/ВЧ60
2	166	526	366	8.0-30/ВЧ60
3	166	402	366	8.0-30/ВЧ60
4	166	503	366	8.0-30/ВЧ60
5	166	481	366	8.0-30/ВЧ60
6	166	421	366	8.0-30/ВЧ60
7	166	430	374	8.0-30/ВЧ60
8	82	297	227	8.0-30/ВЧ60
9	84	1880	247	8.0-30/ВЧ60
10	96	177	177	8.0-30/ВЧ60
11	97	73	179	8.0-30/ВЧ60
12	99	142	189	8.0-30/ВЧ60
13	100	77	201	8.0-30/ВЧ60
14	103	186	201	8.0-30/ВЧ60
15	105	225	235	8.0-30/ВЧ60
16	105	246	235	8.0-30/ВЧ60
17	105	961	235	8.0-30/ВЧ60
18	102	116	235	8.0-30/ВЧ60
19	110	111	187	8.0-30/ВЧ60
20	112	175	203	8.0-30/ВЧ60
21	112	274	203	8.0-30/ВЧ60
22	114	236	211	8.0-30/ВЧ60
23	114	220	211	8.0-30/ВЧ60
24	118	10	225	8.0-30/ВЧ60
25	68	1742	-	8.0-30/ВЧ60
26	62	426	-	8.0-30/ВЧ60
27	59	294	-	8.0-30/ВЧ60
28	47	143	-	8.0-30/ВЧ60
29	122	m.13	-	-
30	111	m.7	-	-
31	95	m.14	-	-

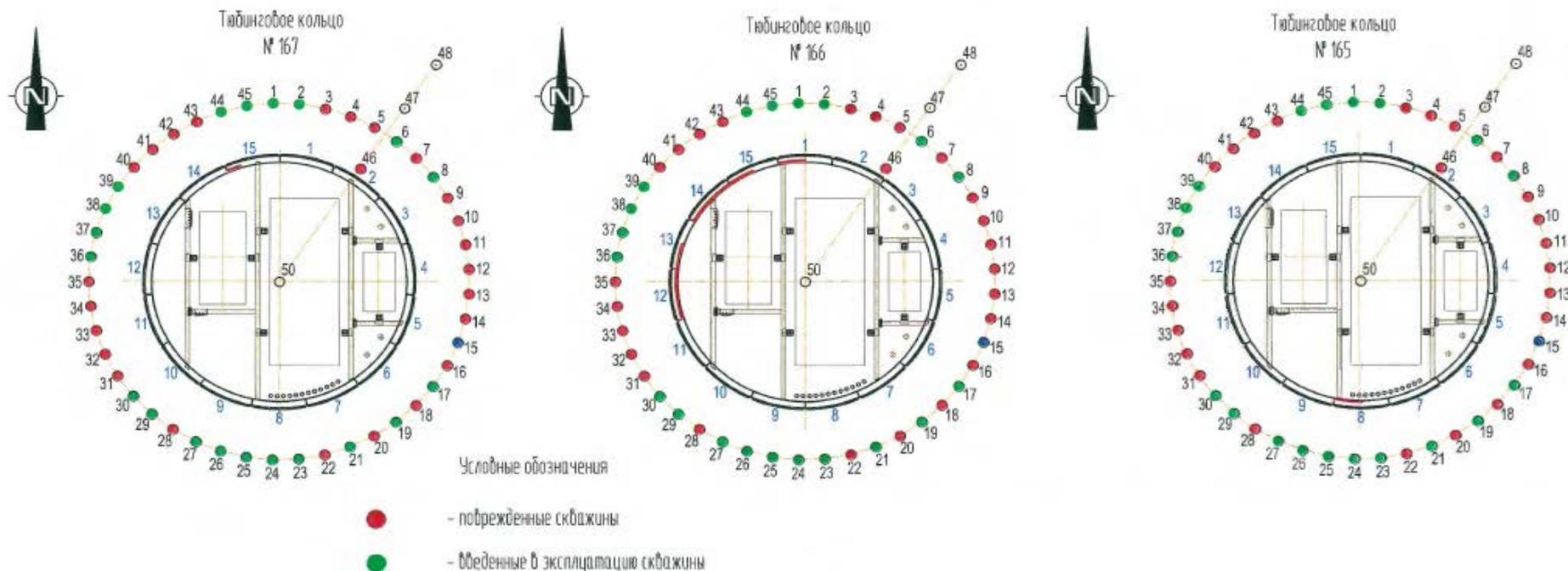
# **ВНЕШНИЙ ВИД ТРЕЩИНЫ В ТЮБИНГОВОМ СЕГМЕНТЕ №15 ТЮБИНГОВОГО КОЛЬЦА № 167**

---

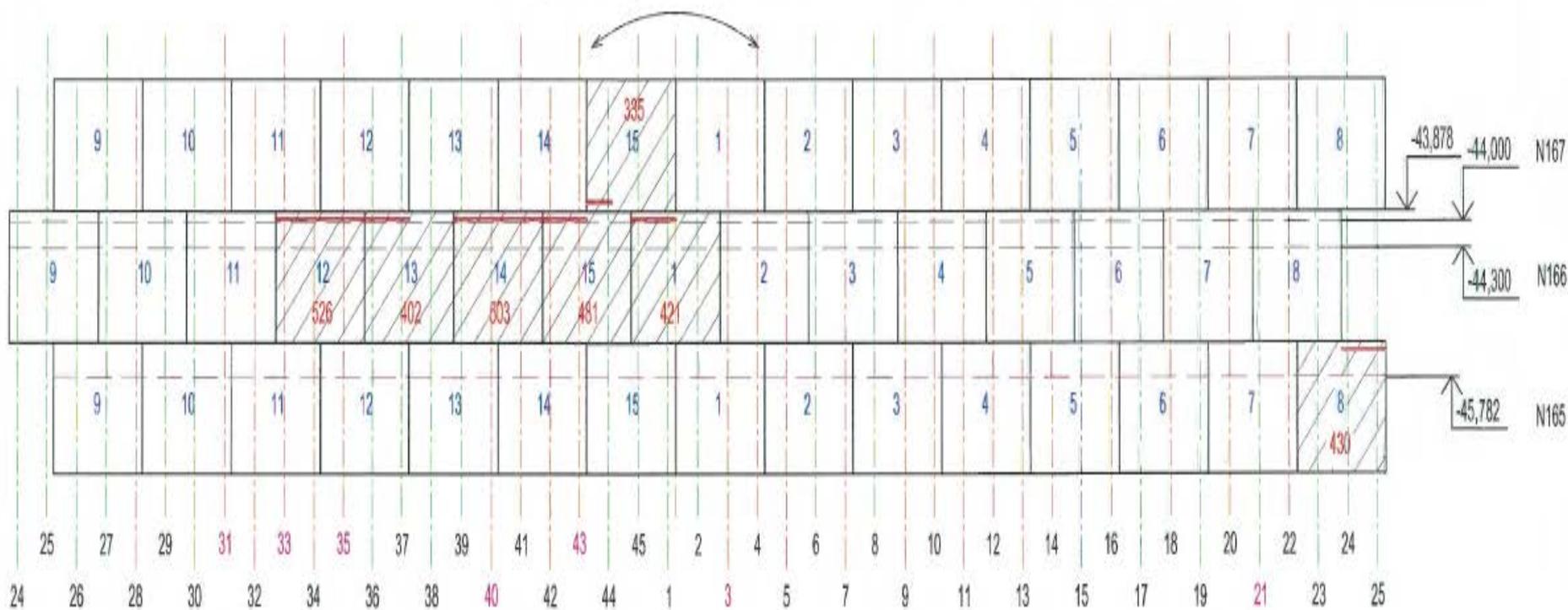


# НАРУШЕНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ИСКУССТВЕННОГО ОТТАИВАНИЯ ЛЕДОПОРОДНОГО ОГРАЖДЕНИЯ

Схема расположения действовавших и вышедших из строя скважин при реализации технологии искусственного оттаивания ледопородного ограждения в клетьевом стволе №2



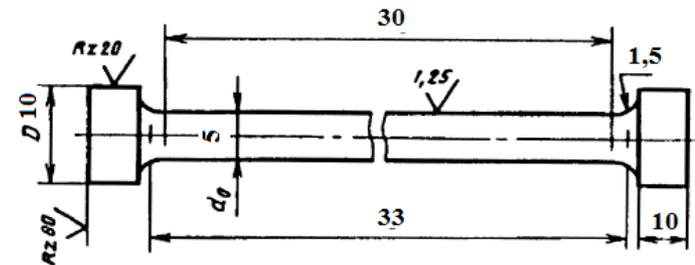
# РАЗВЕРТКА В ЗОНЕ РАЗРУШЕНИЯ ТЮБИНГОВОЙ КРЕПИ СТВОЛА №2



# ИССЛЕДОВАНИЕ МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ЧУГУНА ТЮБИНГОВ КЛЕТЬЕВОГО СТВОЛА №2 УСТЬ-ЯЙВИНСКОГО РУДНИКА



Оборудование для испытания чугуна тубингов



Образцы чугуна тубингов

Образцы с 1 по 1

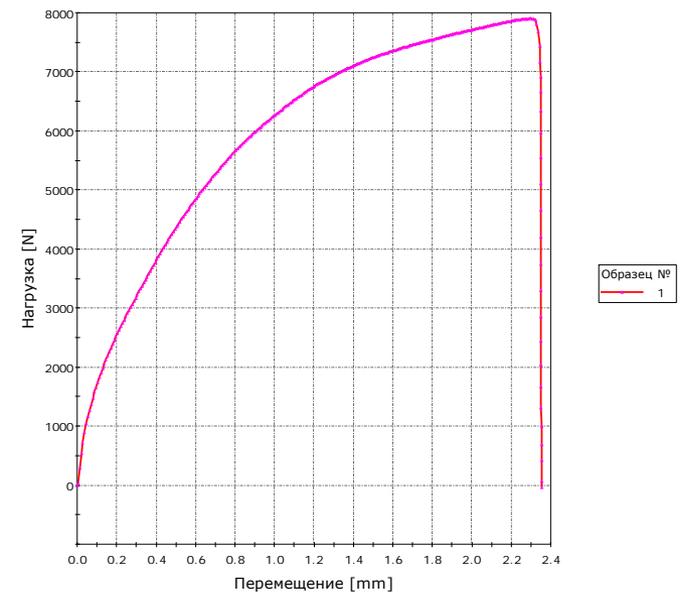


График растяжения цилиндрического образца из чугуна (образец №1)

# ПРОТОКОЛ ИСПЫТАНИЙ ЧУГУНА ТЮБИНГОВ КЛЕТЬЕВОГО СТВОЛА №2 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 mm) 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

# ПРОТОКОЛ ИСПЫТАНИЙ ЧУГУНА ТЮБИНГОВ КЛЕТЬЕВОГО СТВОЛА №2 НА СЖАТИЕ

Воздействие	Диаметр [mm]	Относительное уменьшение высо- ты,%	Нагрузка при пределе теку- чести (Услов- ный ПТ 0,02 mm) [N]	Предел теку- чести (Услов- ный 0,02 mm) [mm]	Модуль (Автомати- ческий) [МПа]	Макси- мальная нагрузка [N]	Напряжение сжа- тия при максиму- ме нагрузки [МПа]
1-вдль	15,00000	60,6	66315,78947	375,27059	10 885,2056	245000	1386,41634
3-вдоль	15,00000	54,2	80000,00000	452,7074	11 763,1334	245000	1386,41634
4-вдоль	15,00000	50,7	62025,31646	350,99148	11 249,8177	199000	1126,10960
5-поперёк	15,00000	50,7	65569,62025	371,04813	11 848,9336	225000	1273,23950
6-поперёк	15,00000	52,2	59715,63981	337,92138	3 056,42773	227000	1284,55718
7-поперёк	15,00000	57,6	64240,50633	363,52689	11 399,5608	231000	1307,19255

**ОБРАЗЕЦ БЕТОНА ИЗ БЕТОННОЙ КРЕПИ  
СТВОЛОВ УСТЬ-ЯЙВИНСКОГО РУДНИКА.  
КЕРН В ИЗЛОМЕ.**

---

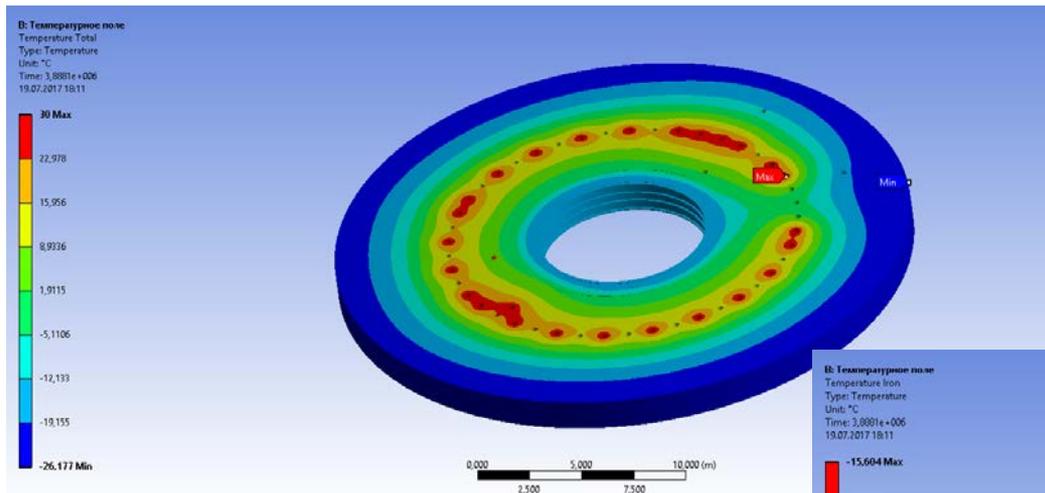


# ИССЛЕДОВАНИЯ МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ БЕТОНА КРЕПИ СКИПОВОГО СТВОЛА №1 И КЛЕТЬЕВОГО СТВОЛА №2 УСТЬ-ЯЙВИНСКОГО РУДНИК

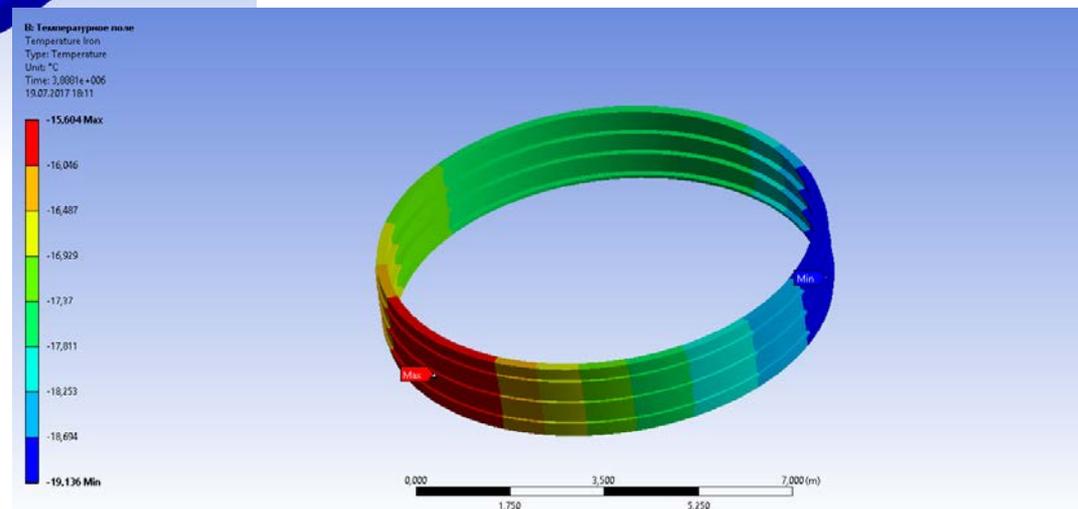
Наименование образца	Физические размеры, мм		Масса, кг	Объем, м <sup>3</sup>	Сред- няя плот- ность, кг/м <sup>3</sup>	Прочность на сжатие		Прочность на растяжение	
	диа- метр	высо- та				кгс/см <sup>2</sup>	МПа	кгс/см <sup>2</sup>	МПа
<b>Скиповой ствол №1</b>									
Север отм. – 337 м	94	194	3,34	0,00135	2470	214	21,4	26,7	2,67
гор. 395.210 м Юго-запад	94	215	3,52	0,00149	2365	207	20,7	25,9	2,59
Север отм. – 357 м	94	163	2,77	0,00113	2451	271	27,1	33,9	3,39
Юг отм. – 399,71м	94	294	4,96	0,00204	2431	220	22,0	27,5	2,75
<b>Клетьевого ствол №2</b>									
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
Юг отм. – 419,2 м	94	222	3,69	0,00154	2396	200	20,0	25,0	2,5
Юго- запад отм. – 407,43 м	94	237	3,94	0,00164	2402	223	22,3	27,9	2,79

# ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕМПЕРАТУРНОГО СОСТОЯНИЯ ТЮБИНГОВОГО КОЛЬЦА №116 СКИПОВОГО СТВОЛА №1 УСТЬ-ЯЙВИНСКОГО РУДНИКА (использованы исходные данные проекта по искусственному размораживанию)

Температурное поле крепи и ледопородного ограждения  
(45-е сутки размораживания)

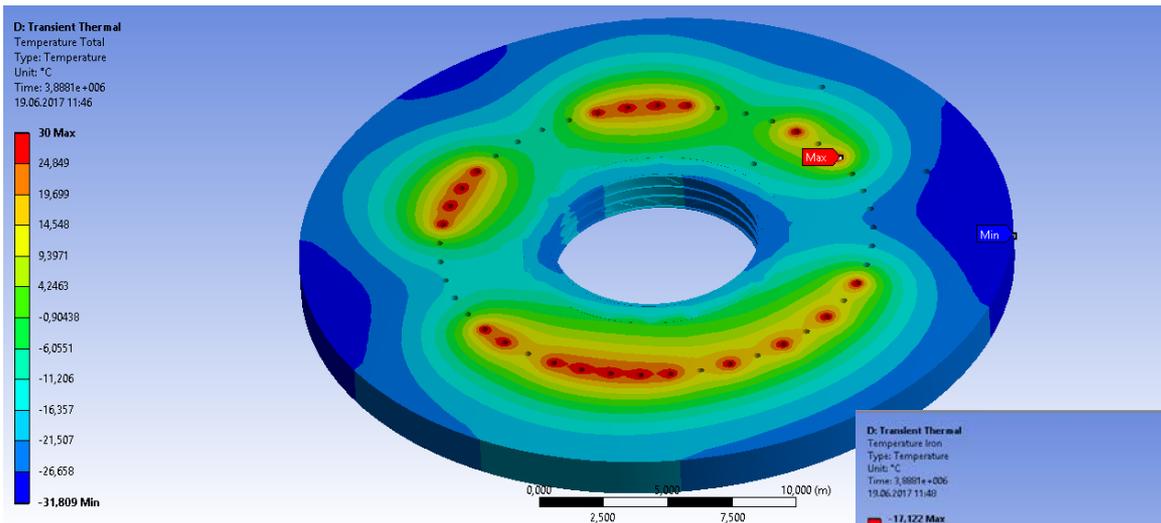


Температурное поле тубингового кольца  
(45-е сутки размораживания)

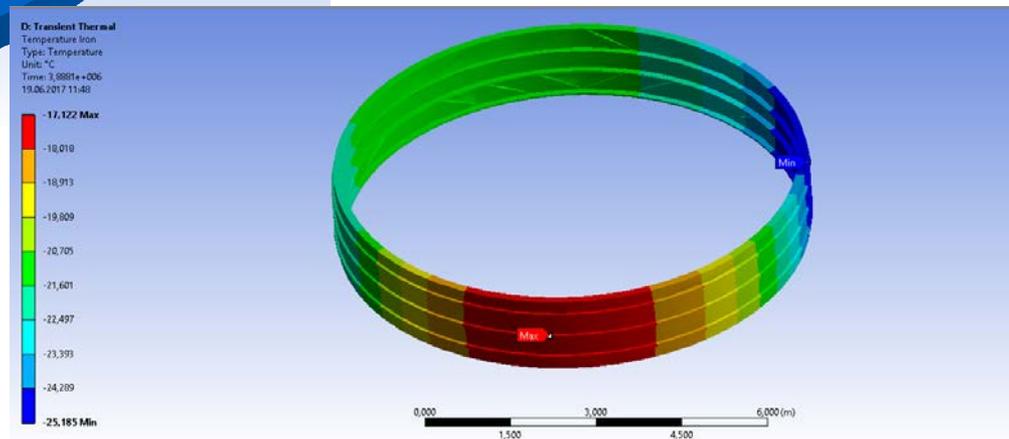


# ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕМПЕРАТУРНОГО СОСТОЯНИЯ ТЮБИНГОВОГО КОЛЬЦА №166 КЛЕТЬЕВОГО СТВОЛА №2 УСТЬ-ЯЙВИНСКОГО РУДНИКА (использованы исходные данные проекта по искусственному размораживанию)

Температурное поле крепи и ледопородного ограждения  
(45-е сутки размораживания)

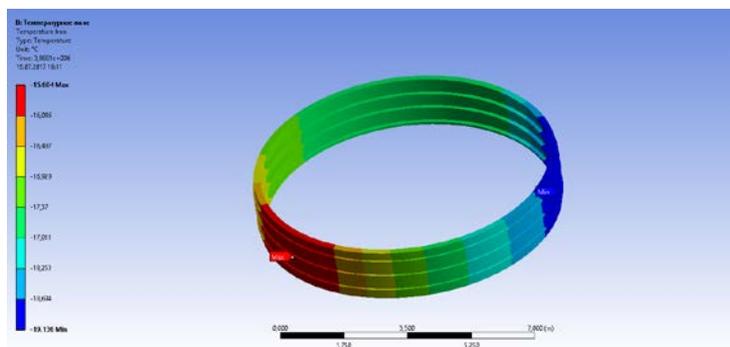


Температурное поле тубингового кольца  
(45-е сутки размораживания)

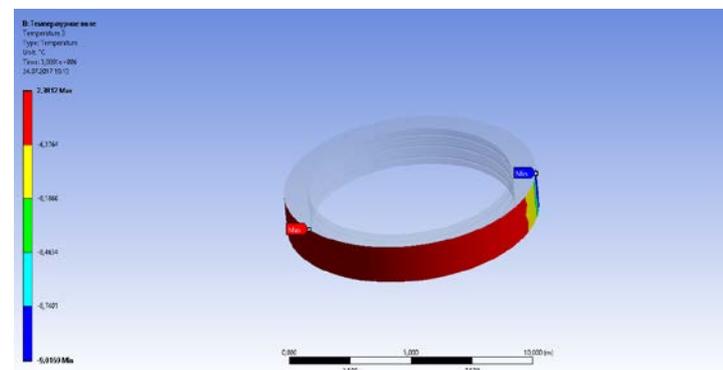


# МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕРМИЧЕСКОГО НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ ТЮБИНГОВОГО КОЛЬЦА №116 КРЕПИ СКИПОВОГО СТВОЛА №1 ДЛЯ МАРКИ ЧУГУНА ВЧ-40 (исходные данные проекта по искусственному размораживанию)

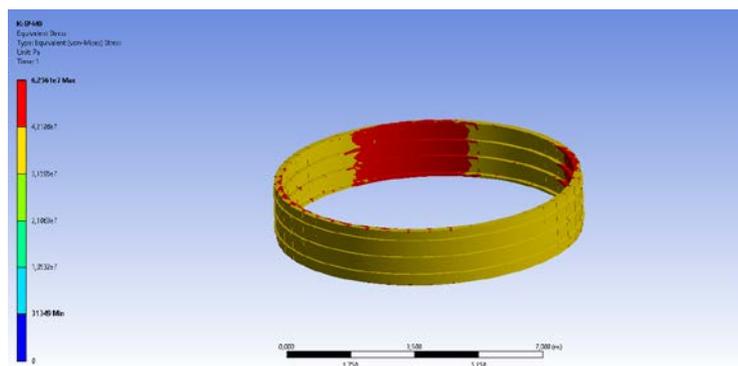
Температурное поле тубингового кольца №116 крепи скипового ствола №1 для марки чугуна ВЧ-40 (45-е сутки размораживания)



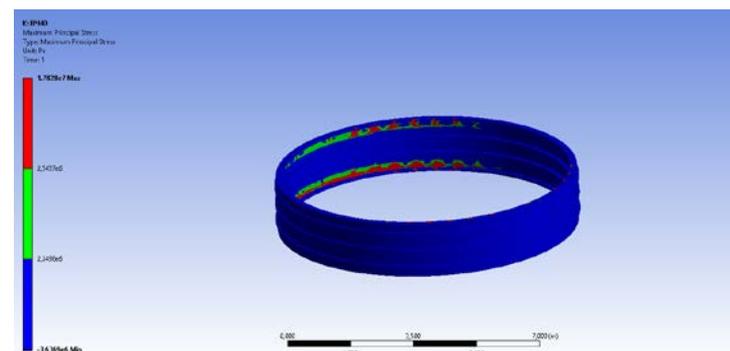
Температурное поле внешнего контура бетонного слоя тубингового кольца №116 крепи скипового ствола №1 для марки чугуна ВЧ-40 (45-е сутки размораживания)



Нормальные тангенциальные напряжения в тубинговом кольце №116 крепи скипового ствола №1 для марки чугуна ВЧ-40 (45-е сутки размораживания)

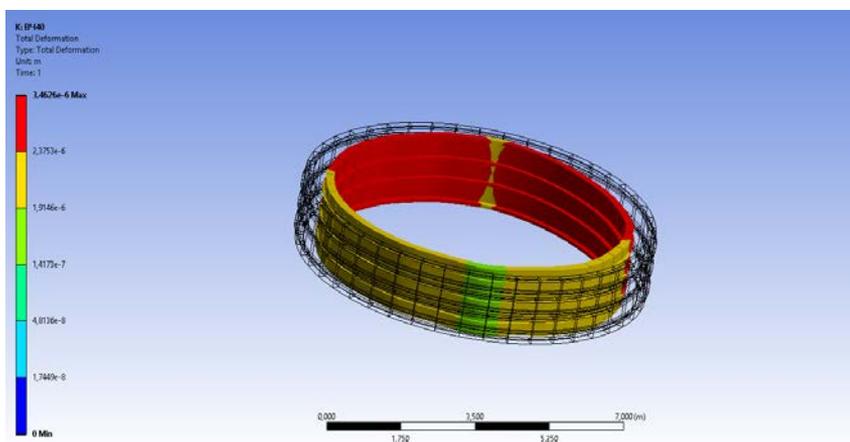


Максимальные главные напряжения в тубинговом кольце №116 крепи скипового ствола №1 для марки чугуна ВЧ-40 (45-е сутки размораживания)

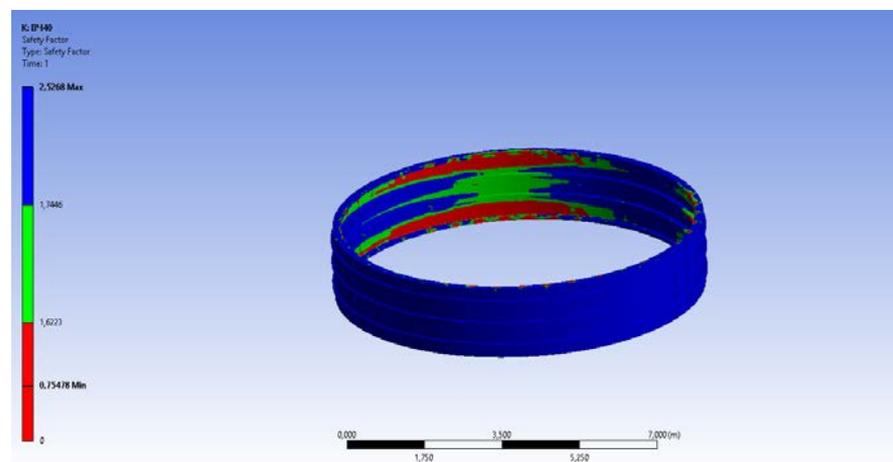


# МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕРМИЧЕСКОГО НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ ТЮБИНГОВОГО КОЛЬЦА №116 КРЕПИ СКИПОВОГО СТВОЛА №1 ДЛЯ МАРКИ ЧУГУНА ВЧ-40 (исходные данные проекта по искусственному размораживанию)

Деформации тубингового кольца №116 крепи скипового ствола №1 для марки чугуна ВЧ-40 (45-е сутки размораживания) при неравномерном размораживании



Коэффициент запаса прочности тубингового кольца №116 крепи скипового ствола №1 для марки чугуна ВЧ-40 (45-е сутки размораживания) при неравномерном размораживании (согласно теории Мора-Кулона)

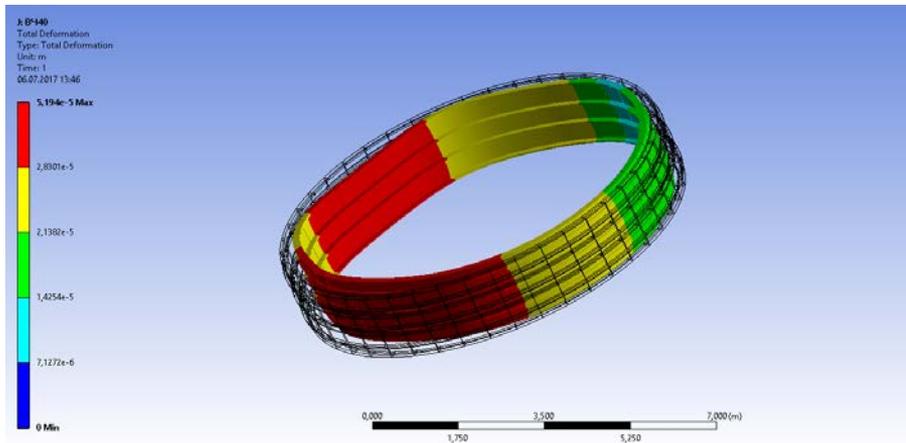


Температурные характеристики и напряженно-деформированное состояние чугуно-бетонной крепи скипового ствола №1 (чугун ВЧ-40) в 45-е сутки размораживания

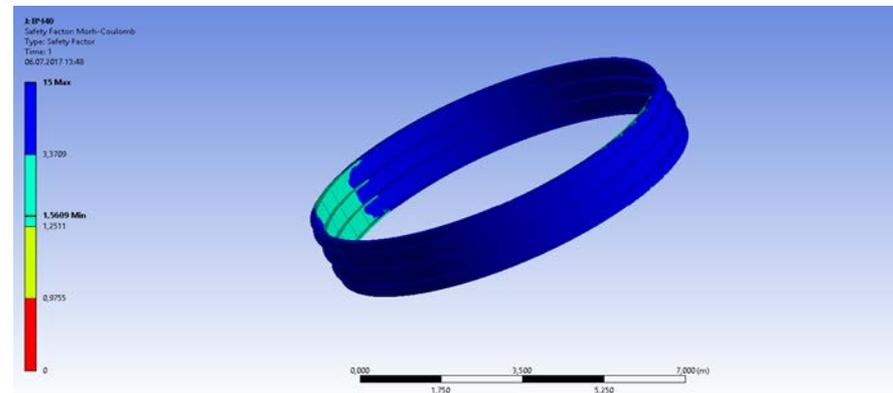
Температурные характеристики					
Температура рассола, °С	Температура внешнего контура бетонного слоя, °С		Температура тубингового кольца, °С		Разница температур тубингового кольца, °С
	min	max	min	max	
30	-9.017	2.381	-19.136	-15.604	3.532
Напряжения и деформации					
Максимальные напряжения в спинке тубингов, МПа	Максимальные напряжения в ребрах тубингов, МПа		Максимальные деформации, м	Минимальный коэффициент запаса прочности	
42.126	62.561		$3.426 \times 10^{-6}$	0.754	

# МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕРМИЧЕСКОГО НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ ТЮБИНГОВОГО КОЛЬЦА №166 КРЕПИ КЛЕТЬЕВОГО СТВОЛА №2 ДЛЯ МАРКИ ЧУГУНА ВЧ-40 (исходные данные проекта по искусственному размораживанию)

Деформации тубингового кольца №166 крепи клетьевого ствола №2 для марки чугуна ВЧ-40 (73-и сутки размораживания) при неравномерном размораживании



Коэффициент запаса прочности тубингового кольца №166 крепи клетьевого ствола №2 для марки чугуна ВЧ-40 (73-и сутки размораживания) при неравномерном размораживании (согласно теории Мора-Кулона)



Температурные характеристики и напряженно-деформированное состояние чугунно-бетонной крепи клетьевого ствола №2 (чугун ВЧ-40) в 73-и сутки размораживания

Температурные характеристики					
Температура рассола, °С	Температура внешнего кон- тура бетонного слоя, °С		Температура тубингового кольца, °С		Разница темпера- тур тубингового кольца, °С
	min	max	min	max	
30	-10.792	10.561	-12.635	-1.893	10.742
Напряжения и деформации					
Максимальные напряжения в спинке тубингов, МПа	Максимальные напряжения в ребрах тубингов, МПа		Максимальные деформации, м	Минимальный коэффициент за- паса прочности	
47.111	50.680		$5.771 \times 10^{-5}$	0.674	

## КОЭФФИЦИЕНТ ЗАПАСА ПРОЧНОСТИ ТЮБИНГОВОЙ КРЕПИ КАК ОБОБЩЕННАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА НАПРЯЖЕННО- ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ ТЮБИНГОВ

$$\text{КОЭФФИЦИЕНТ ЗАПАСА ПРОЧНОСТИ} = \frac{\text{ПРЕДЕЛЬНО ДОПУСТИМОЕ НАПРЯЖЕНИЕ РАСТЯЖЕНИЯ}}{\text{МАКСИМАЛЬНОЕ НАПРЯЖЕНИЕ РАСТЯЖЕНИЯ В ТЮБИНГЕ}}. \quad (24.1)$$

где ПРЕДЕЛЬНО ДОПУСТИМОЕ НАПРЯЖЕНИЕ РАСТЯЖЕНИЯ - ИЗВЕСТНАЯ СПРАВОЧНАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА МАТЕРИАЛА (в данном случае для чугуна); МАКСИМАЛЬНОЕ НАПРЯЖЕНИЕ РАСТЯЖЕНИЯ В ТЮБИНГЕ - ОПРЕДЕЛЯЕТСЯ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ МОДЕЛИРОВАНИЯ ТЕРМИЧЕСКОГО НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ ТЮБИНГОВОГО КОЛЬЦА.

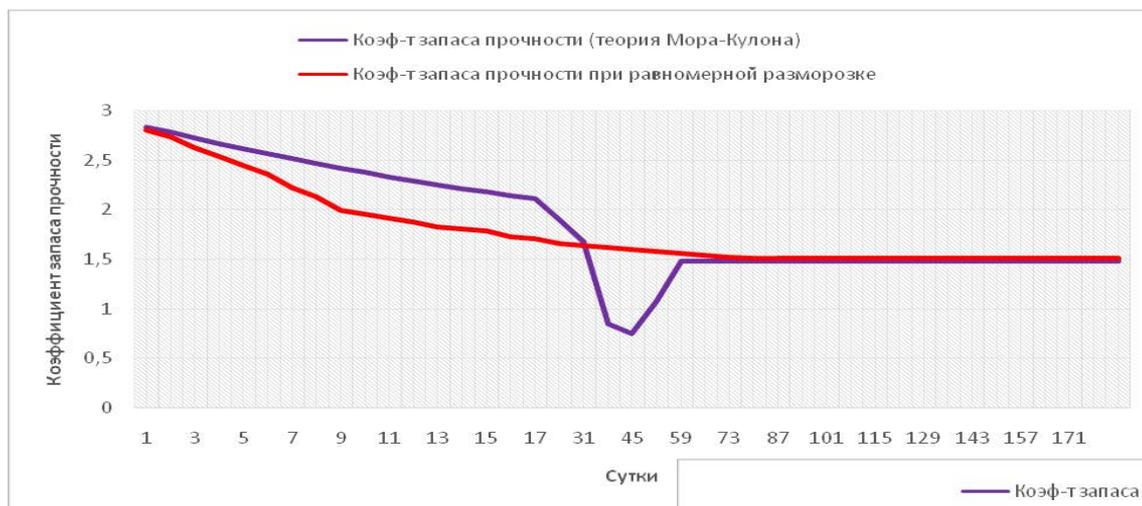
**ЕСЛИ**  
**КОЭФФИЦИЕНТ ЗАПАСА ПРОЧНОСТИ > 1, ТО ПРЕДЕЛ**  
**ПРОЧНОСТИ НЕ ПРЕВЫШЕН И ВСЕ СЕГМЕНТЫ ТЮБИНГОВОГО** (24.2)  
**КОЛЬЦА НЕ ИМЕЮТ ДЕФЕКТОВ РАЗРУШЕНИЯ.**

**ЕСЛИ**  
**КОЭФФИЦИЕНТ ЗАПАСА ПРОЧНОСТИ < 1, ТО ПРЕДЕЛ**  
**ПРОЧНОСТИ ПРЕВЫШЕН И НЕКОТОРЫЕ СЕГМЕНТЫ ТЮБИНГОВОГО** (24.3)  
**КОЛЬЦА ИМЕЮТ ДЕФЕКТЫ РАЗРУШЕНИЯ.**

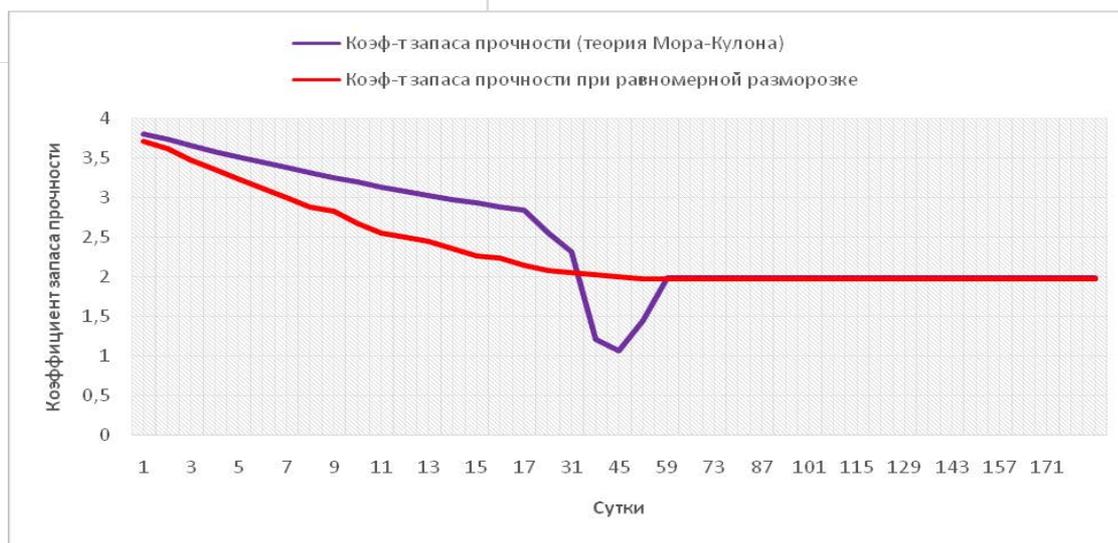
№ п.п	Название ствола	Минимальное значение коэффициента запаса прочности тубингового кольца при следующих марках чугуна тубингов		
		ВЧ40	ВЧ50	ВЧ60
1.	Скиповой ствол №1	0,754	0,903	1,062
2.	Клетьевого ствол №2	0,674	0,821	0,974

# ДИНАМИКА КОЭФФИЦИЕНТА ЗАПАСА ПРОЧНОСТИ ТЮБИНГОВОЙ КРЕПИ СКИПОВОГО СТВОЛА №1 УСТЬ-ЯЙВИНСКОГО РУДНИКА

Марка чугуна ВЧ-40



Марка чугуна ВЧ-60



# ДИНАМИКА КОЭФФИЦИЕНТА ЗАПАСА ПРОЧНОСТИ ТЮБИНГОВОЙ КРЕПИ КЛЕТЬЕВОГО СТВОЛА №2 УСТЬ-ЯЙВИНСКОГО РУДНИКА

Марка чугуна ВЧ-40



Марка чугуна ВЧ-60



## СРАВНЕНИЕ РАСЧЕТНОЙ ТЕМПЕРАТУРЫ В РАЙОНЕ СКВАЖИНЫ №46 С ФАКТИЧЕСКИ ЗАМЕРЕННЫМИ ЗНАЧЕНИЯМИ

Шаг	Дата	Температура в скважине №46 – фактическая, °С	Температура в скважине №46 – расчетная, °С
0	05.01.2016	н.д.	-25.2
1	23.01.2016	-17.2	-18.7
2	08.02.2016	-11.3	-12.2
3	12.02.2016	-10.1	-11.1
4	24.02.2016	-8.1	-7.6
5	25.02.2016	-8	-7.4
6	07.03.2016	-7.5	-7.1
7	08.03.2016	-7.4	-6.9
8	15.03.2016	-6.5	-6.3
9	18.03.2016	-6.3	-6.1
10	06.04.2016	-5.8	-5.7
11	30.04.2016	-3.5	-3.1
12	23.05.2016	-1.7	-0.6
13	01.06.2016	-0.8	0.3
14	01.07.2016	н.д.	5.3
15	01.08.2016	н.д.	9.7
16	01.09.2016	н.д.	13.4
17	14.09.2016	н.д.	14.8

## ПЕРЕЧЕНЬ ОРГАНИЗАЦИОННЫХ И ТЕХНИЧЕСКИХ МЕРОПРИЯТИЙ, НЕОБХОДИМЫХ ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ УСТОЙЧИВОСТИ КРЕПИ СТВОЛА №1 И СТВОЛА №2, И ИХ БЕЗАВАРИЙНОЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ В ТЕЧЕНИЕ ВСЕГО СРОКА СЛУЖБЫ РУДНИКА

№ п.п	Организационные и технические мероприятия
1.	Разработать, согласовать и утвердить Проект производства работ по замене поврежденных сегментов тубинговой крепи в скиповом стволе №1 и в клетьевом стволе №2 Усть-Яйвинского рудника. Замена в скиповом стволе №1 следующих 17 дефектных тубингов с заводскими номерами: 613 (тубинговое кольцо №139); 104 (тубинговое кольцо № 124); 28 (тубинговое кольцо №127); 83 (тубинговое кольцо № 124); 86 (тубинговое кольцо № 123); 27 (тубинговое кольцо №123); 205 (тубинговое кольцо №116); 220 (тубинговое кольцо №116); 153 (тубинговое кольцо №116); 88 (тубинговое кольцо № 116); 389 (тубинговое кольцо №109); 565 (тубинговое кольцо №108); 572 (тубинговое кольцо №100); 1636 (тубинговое кольцо № 93); 334 (тубинговое кольцо №96); 160 (тубинговое кольцо №120); 246 (тубинговое кольцо №120).
2.	Замена в клетьевом стволе №2 31 тубинга с заводскими номерами: 335 (тубинговое кольцо № 167); 526 (тубинговое кольцо № 166); 402 (тубинговое кольцо № 166); 503 (тубинговое кольцо № 166); 481 (тубинговое кольцо № 166); 421 (тубинговое кольцо № 166); 430 (тубинговое кольцо № 166); 297 (тубинговое кольцо № 82); 1880 (тубинговое кольцо № 84); 177 (тубинговое кольцо № 96); 73 (тубинговое кольцо № 97); 142 (тубинговое кольцо № 99); 225 (тубинговое кольцо № 105); 246 (тубинговое кольцо № 105); 961 (тубинговое кольцо № 105); 116 (тубинговое кольцо № 102); 111 (тубинговое кольцо № 110); 175 (тубинговое кольцо № 112); 274 (тубинговое кольцо № 112); 236 (тубинговое кольцо № 114); 220 (тубинговое кольцо № 114); 10 (тубинговое кольцо № 118); 1742 (тубинговое кольцо № 68); 426 (тубинговое кольцо № 62); 294 (тубинговое кольцо № 59); 143 (тубинговое кольцо № 47); 14 (тубинговое кольцо № 95); 7 (тубинговое кольцо 111); 13 (тубинговое кольцо 112); 77 (тубинговое кольцо 100); 186 (тубинговое кольцо 103).

№ п.п	Организационные и технические мероприятия
3.	На участке скипового ствола №1 с отметками от -293 до -298 м установить дополнительно 4 тубинговых кольца с тубинговыми сегментами, имеющими толщину спинки 90 мм.
4.	На участке клетьевого ствола №2 с отметками от -294,602 до - 296,116 м установить дополнительно 2 тубинговых кольца с тубинговыми сегментами, имеющими толщину спинки 90 мм.
5.	Отобрать образцы затубингового бетона при замене дефектных тубингов, исследовать их физико-механические свойства и определить класс бетона.
6.	При необходимости провести дополнительные расчеты устойчивости крепи и численное моделирование ее напряженно-деформированного состояния.
7.	В процессе снятия дефектных тубингов вести визуальное обследование поверхности слоя бетонной крепи и выявлять наличие полостей, не заполненных бетоном.
8.	В процессе замены дефектных тубингов обеспечить эффективную герметизацию бетонной крепи (в соответствии с ППР), исключющую

# ОСНОВНЫЕ НАУЧНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ

---

1 Моделирование взаимодействия двухслойной крепи, состоящей из внешнего бетонного слоя и внутреннего чугунного тубинга, с породным массивом необходимо осуществлять используя 3D модели с учетом фактора времени, а для прогнозных оценок последствий нарушения проектов строительства следует проводить вычислительные эксперименты методом конечных элементов.

2 Нарушение технологии искусственного оттаивания ледопородного массива, приводящее к возникновению ассиметричных температурных полей в породном массиве, вызывает вертикальное перемещение тубинговой колонны и, как следствие, существенные по величине напряжения растяжения, которые могут превышать пределы прочности на растяжение для марок чугуна, использованного для производства тубингов.

3 В качестве обобщенной характеристики напряженно-деформированного состояния тубингов, обусловленного взаимодействием крепи с породным массивом, целесообразно использовать коэффициент запаса прочности, численно равный отношению предела прочности на растяжение к максимальному значению напряжения растяжения, полученному по результатам вычислительного эксперимента. Коэффициент запаса прочности позволяет оценивать последствия нарушения проектов, как на стадии проектирования (перспективный прогноз), так и при расследований аварий (ретроспективный прогноз).

4 В качестве базовой теории прочности при оценке несущей способности тубинговой крепи целесообразно использовать теорию прочности Мора – Кулона, позволяющую рассчитать коэффициент запаса прочности крепи с учетом фактора времени при мониторинге напряженно-деформированного состояния тубингов по результатам математического моделирования или же по данным натурных наблюдений.