

ОЦЕНКА НЕСУЩЕЙ СПОСОБНОСТИ СТВОЛА № 2 РУДНИКА 1 РУ РУП «ПО « БЕЛАРУСЬКАЛИЙ» НА ОСНОВЕ КОМПЬЮТЕРНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

Диулин Денис Александрович

генеральный директор, ОАО «Трест Шахтоспецстрой» Республика Беларусь, г. Солигорск

Гегедеш Марина Григорьевна

кандидат технических наук, доцент, Белорусский государственный университет транспорта, Республика Беларусь, г. Гомель

LOADING CAPACITY ESTIMATION FOR VERTICAL MINE SHAFT No 2 OF THE 1ST EM BASED ON COMPUTER MODELING

Diulin Denis

General manager, JSC "Trest Shahtospetsstroy", Belarus, Soligorsk

Gegedesh Maryna

PhD, assoc. prof. in Mechanics Belarusian State University of Transport, Belarus, Gomel

Аннотация. В работе приведены исследования по оценке несущей способности вертикального ствола № 2 рудника 1 РУ Солигорского месторождения калийной соли. С использованием инженерного программного комплекса ANSYS выполнено компьютерное моделирование напряженно-деформированного состояния ствола на основе рассчитанных аналитическим способом значений давлений от горных пород, окружающих выработку, с учетом истончения в процессе эксплуатации шахты чугунного тюбинга.

Abstract. The paper presents investigations on the estimation of the loading capacity of vertical mine shaft No 2 of the 1st EM of the Soligorsk potash salt mines. Using the ANSYS engineering software package, a computer simulation of the stress-strain state of shaft was performed on the basis of analytically calculated pressures from rocks surrounding the mine taking into account the cast iron tubing thinning during the mine operation.

Ключевые слова: вертикальный ствол шахты; компьютерное моделирование; напряженно-деформированное состояние; прочность ствола шахты.

Keywords: vertical mine shaft; computer simulation; stress-straine condition; mine shaft strength.

Подземные вертикальные выработки всегда имеют замкнутый контур поперечного сечения и используются, как правило, при больших глубинах залегания полезных ископаемых [1], как, например, на Старобинском месторождении в районе г. Солигорска (Республика Беларусь).

Стабильность стволов шахт является ключевой проблемой их эксплуатации и зависит от механических свойств породного массива, надежности и прочности бетонной крепи и чугунных тубингов ствола. Вертикальные стволы шахт относят к выработкам 1-го класса в соответствии с классификацией свода правил СП 91.13330.2012 Подземные горные выработки [2]. При нарушениях нормальной эксплуатации таких подземных сооружений работа предприятия вынуждена останавливаться. Одна из основных задач анализа стабильности ствола шахты заключается в оценке несущей способности крепи ствола, выполненной на основе анализа напряженно-деформированного состояния (далее НДС) ствола шахты.

Различными авторами проводились аналитические, например, в [3-5], и численные [6, 7] расчеты прочности и устойчивости различных подземных сооружений. При этом большинство авторов отмечают тот факт, что не существует какого-то общего решения для конструкций всех видов и для каждого подземного сооружения нужно учитывать как горно-геологический состав пород в конкретной местности, так и особенности проходки стволов.

Поэтому цель представленной работы заключается в оценке НДС вертикального ствола № 2 рудника 1 РУ Солигорского месторождения калийной соли на основе компьютерного моделирования.

В соответствии с [8] ствол №2 рудника 1РУ РУП «ПО «Беларуськалий» пройден Белорусским СШУ треста «Шахтспецстрой» до проектной отметки - 503,0 м, диаметром в свету - 7 м и принят в эксплуатацию в 1963 году.

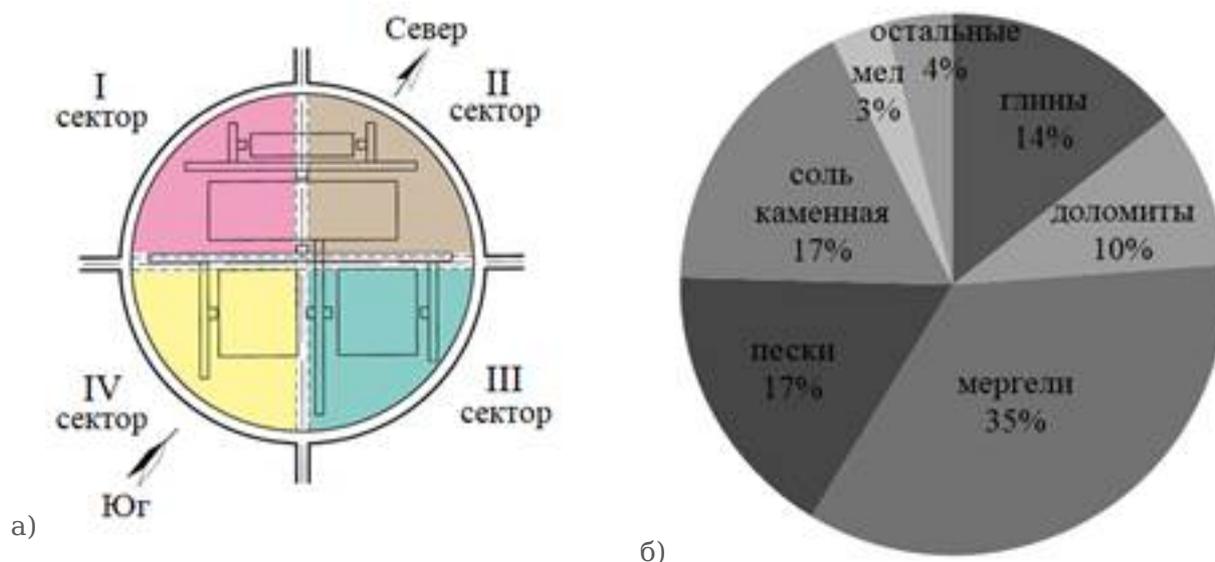


Рисунок 1. Разбивка сечения вертикального ствола № 2 рудника 1РУ РУП «ПО «Беларуськалий» на сектора для осмотра крепи [8] (а) и геологический состав горных пород на руднике 1РУ (б)

Крепление верхней части ствола выполнено с отметки 3,385м до отметки 415,0 м усиленными чугунными тубингами шахтного типа с толщиной стенки от 40 до 70 мм с заполнением затубингового пространства бетоном. Тип тубингов (их толщина) и толщина затубингового бетонного крепления приведены в таблице 1. Нижняя часть ствола с отметки 422,05м до отметки 494,7м закреплена монолитной бетонной (М150), местами железобетонной крепью толщиной 560мм с последующей облицовкой его специальным строительным кирпичом марки 150 и 300 толщиной в один кирпич. Ниже тубинговой колонны крепление осуществлено бетоном марки 150 толщиной около 560мм с последующей облицовкой его специальным строительным кирпичом марки 150 и 300 толщиной в один кирпич. Зумпфовая часть между

отметками 494,7м и 503,0м закреплена чугунными тубингами серии Ш-50 с заполнением затубингового пространства бетоном марки 150.

Таблица 1.

Характеристика крепи ствола №2 рудника 1РУ на участке между отметками 3,385-415,0 м [8]

Тубинговая крепь				Бетонная крепь (затубинговая)		
Участок крепи ствола		Характеристики тубингов		Участок крепи ствола		Характеристики бетона
глубина, м	№№ ярусов армировки	тип	толщина спинки, мм	глубина, м	№№ ярусов армировки	марка бетона
1	2	3	4	5	6	7
3,385-75,0	2-27	Ш-40	40	0,0-47,46	1-17	150
75,0-166,0	27-58	Ш-50	50	47,46-162,7	17-56	150
166,0-269,0	58-93	Ш-60	60	162,7-167,7	56-58	150
296,0-414,0	93-142	Ш-70	70	167,7-172,7	58-60	150
				172,7-268,0	60-93	150
				268,0-413,5	93-142	150-200

При обследовании [8] выявлено, что степень коррозии тубинговой крепи ствола уменьшается в направлении от устья в сторону зумпфа. Наиболее интенсивная коррозия наблюдается в верхней части тубинговой колонны на участке между 2-30 ярусами армировки, что выражается в разрушении на 30-40% от первоначального размера ребер жесткости, стенок тубингов, а также болтов, скрепляющих тубинги между собой. Поэтому моделирование НДС выполнялось для этого участка ствола.

Расчет параметров нагружения ($q_{ни}$) участков ствола № 2 рудника 1РУ сведены в таблицу 2. Давление в нижней точке участка определено по формуле бокового давления на шахтный ствол при пересечении вертикальной выработкой различных по своим физико-механическим свойствам пород [9]:

$$q_n = \gamma_{ср} \cdot H \cdot \operatorname{tg}^2 \left(\frac{90^\circ - \varphi_{ср}}{2} \right), \quad (1)$$

где H - глубина шахты, м;

$\gamma_{ср}$ - средневзвешенное значение объемного веса пород, Н/м³;

$\varphi_{ср}$ - средневзвешенное значение угла внутреннего трения, градус.

Таблица 2.

Расчет давлений от горных пород на ствол №2 рудника 1РУ на 1-30 ярусах

$H, \text{ м}$	Наименование породы	$g_i, \text{ кг/м}^3$	$j_i, \text{ рад}$	$\Sigma g_i \cdot (H_i - H_{i-1}), \text{ кг/м}^2$	$\Sigma j_i \cdot (H_i - H_{i-1}), \text{ рад} \cdot \text{м}$	$g_{\text{ср}}, \text{ кг/м}^3$	$j_{\text{ср}}, \text{ рад}$	$Q_{n(i-1)}, \text{ кН/м}^2$	$Q_{ni}, \text{ кН/м}^2$
0,30	растительный слой	1024	18	307,2	5,40	1024	18	0,000	1,535
2,50	песок слабоглинистый	1710	32	4069,2	75,80	1627,680	30,320	1,535	13,140
4,40	супесь	957	29	5887,5	130,90	1338,068	29,750	13,140	19,453
7,00	песок разномерный с гравием и галькой	1820	35	10619,5	221,90	1517,071	31,700	19,453	32,416
41,90	песок мелкозернистый, кварцевый с примесями	2016	29	80977,9	1234,00	1932,647	29,451	32,416	270,791
42,60	супесь	900	28	81607,9	1253,60	1915,678	29,427	270,791	273,158
44,20	суглинок темносерый средней плотности	850	24	82967,9	1292,00	1877,102	29,231	273,158	279,904
45,15	песок серый мелкозернистый	1710	32	84592,4	1322,40	1873,586	29,289	279,904	284,720
46,00	суглинок	850	24	85314,9	1342,80	1854,672	29,191	284,720	288,276
50,50	глина ленточная с прослоями алевролита	1200	30	90714,9	1477,80	1796,335	29,263	288,276	305,640
51,10	супесь	960	29	91290,9	1495,20	1786,515	29,260	305,640	307,619
56,55	песок среднезернистый	1540	38	99683,9	1702,30	1762,757	30,103	307,619	324,723
56,70	супесь темносерая	960	29	99827,9	1706,65	1760,633	30,100	324,723	325,230
67,70	песок мелко- и среднезернистый	1600	34	117427,9	2080,65	1734,533	30,733	325,230	372,880
89,45	песок кварцевый тонкозернистый	2020	29	161362,9	2711,40	1803,945	30,312	372,880	521,217

На рисунке 3 приведен схематический отчет о состоянии крепи ствола № 2 рудника 1РУ РУП «ПО «Беларуськалий», обследованных в рамках выполнения работ, описанных в [8].

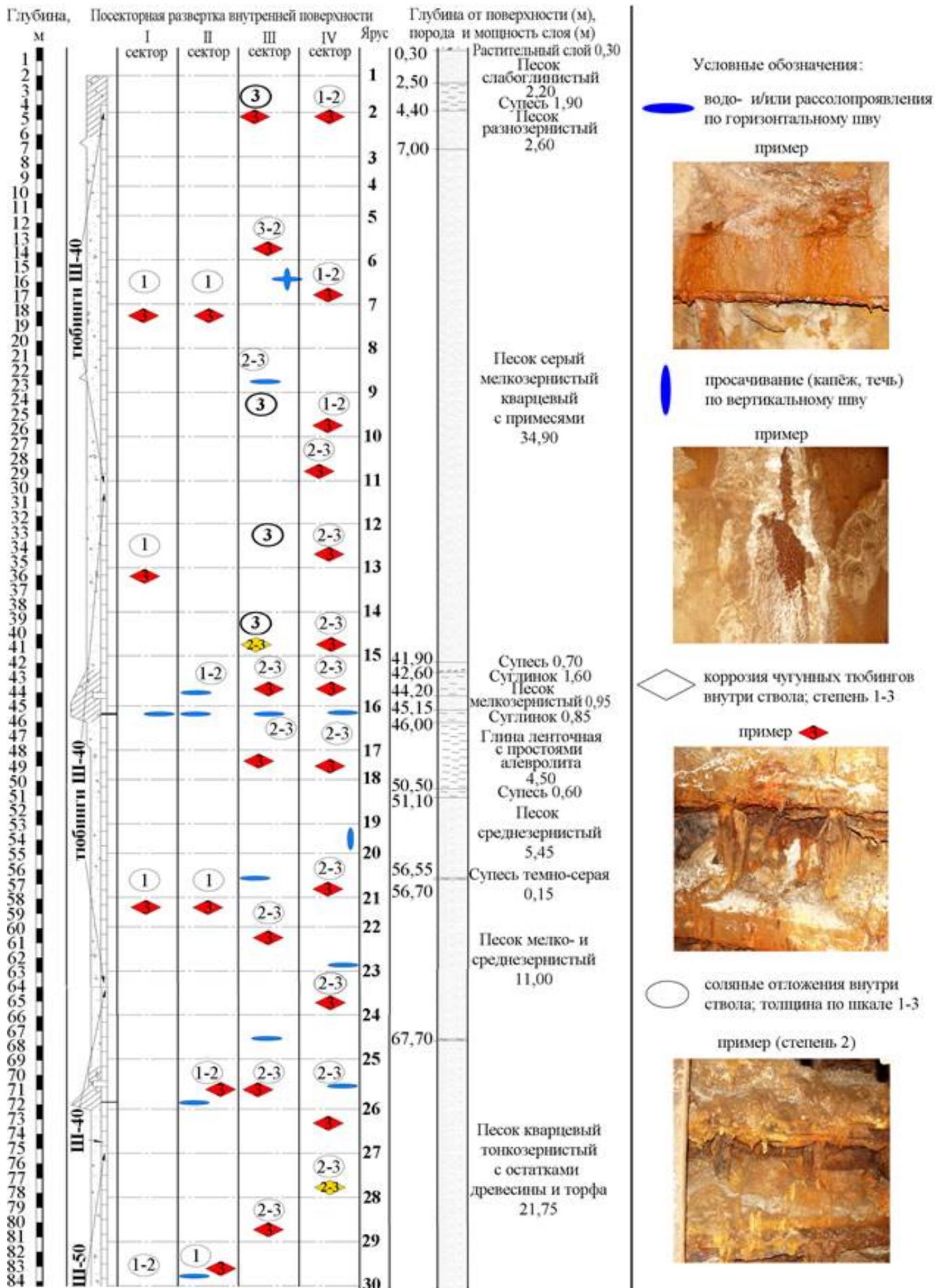


Рисунок 2. Горно-геологические и горно-технические условия и техническое состояние крепи ствола № 2 рудника 1РУ на ярусах 1-30

Анализ НДС крепи шахт выполнен с использованием ANSYS Workbench. При моделировании статического нагружения ствола № 2 рудника 1 РУ до 30 яруса использованы следующие характеристики материалов крепи [10, 11]: плотности материалов: $\rho_{\text{бетонМ150}} = 2000 \text{ кг/м}^3$; $\rho_{\text{чугун}} = 7000 \text{ кг/м}^3$; модули упругости материалов: $E_{\text{бетонМ150}} = 19 \text{ МПа}$; $E_{\text{чугун}} = 11,6 \cdot 10^4 \text{ МПа}$; коэффициенты Пуассона для материалов: $\mu_{\text{бетон150}} = 0,2$; $\mu_{\text{чугун}} = 0,22$. Расчеты выполнялись для проектных значений толщин тюбингов и значений, составляющих 60 % от исходной толщины в соответствии с результатами обследования ствола шахты, приведенными в [8]. Результаты расчета приведены на рисунках 4 и 5.

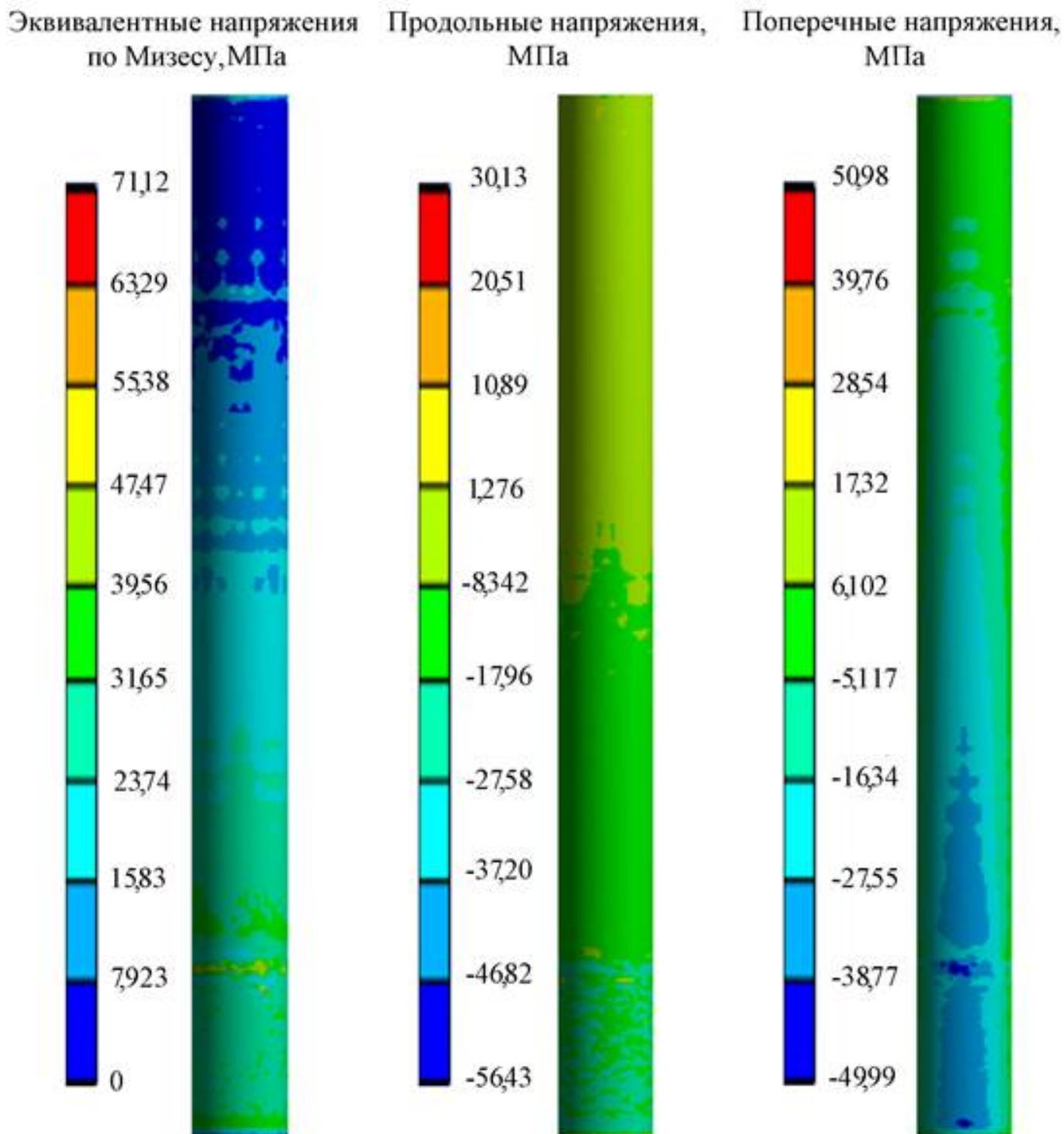


Рисунок 4. Результаты расчета НДС тюбинга ствола № 2 рудника 1 РУ для

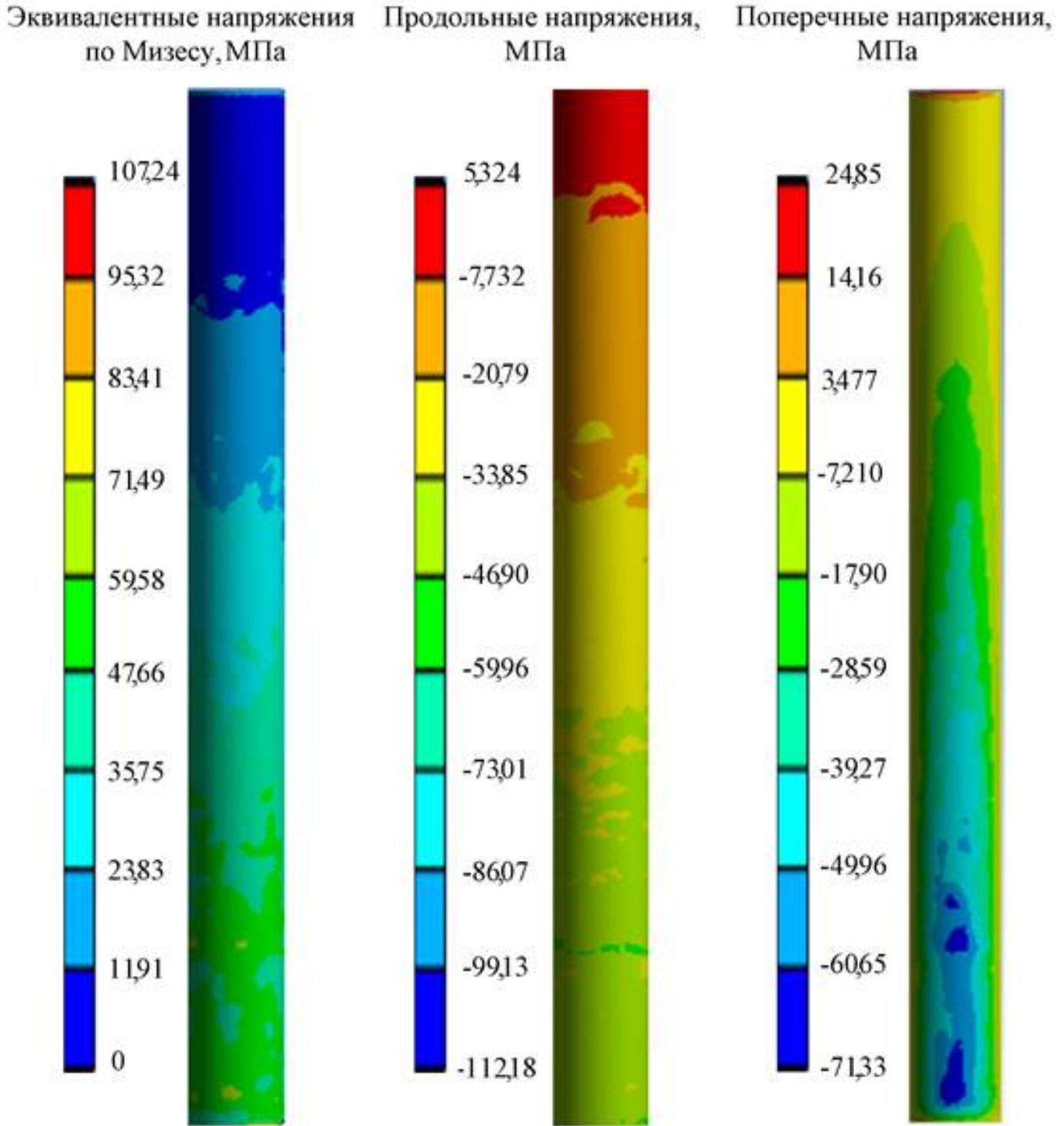


Рисунок 5. Результаты расчета НДС тубинга ствола № 2 рудника 1 РУ для реальных значений толщин материалов на 1-30 ярусах армировки

Как показывают результаты расчета НДС ствола шахты, при уменьшении толщины тубинга на 40 % максимальные эквивалентные напряжения по Мизесу возросли более, чем на 50 %. Сжимающие напряжения в продольном направлении ствола увеличились на 98,8 %, а в поперечном направлении - на 42,7 %, при этом они не превышают допустимых для чугуна значений. Однако рекомендуется проводить мероприятия по укреплению чугунного тубинга,

а также по выявлению остаточной толщины бетонной крепи в местах истонченного тубинга для снижения вероятности возникновения аварийной ситуации на шахте.

Список литературы:

1. Долгий, И. Е. Основы горного производства: учеб. пособие / И. Е. Долгий, А. А. Силантьев. – СПб: СПбГГУ, 2003. – 96 с.
2. Булычев, Н.С. Механика подземных сооружений: учеб. для вузов/ Н. С. Булычев. – М.: Недра, 1994. – 382 с.
3. Лисковец, А. С. Анализ способов крепления, тампонажа закрепного пространства горных выработок и методов расчета взаимодействия крепи с массивом горных пород / А. С. Лисковец, В. П. Тащиенко // Техника. – 2021. – №. 1. – С. 27-52.
4. A case study on large deformation failure mechanism of deep soft rock roadway in Xin'An coal mine, China / S. Q. Yang et al. // Eng. Geol. 2017. – Vol. 217. – P. 89-101.
5. The Unified Strength Theory for Plastic Limit Load Analysis of Vertical Shaft Lining / G. Zhao et al. // Advances in Civil Engineering. – 2018. – Vol. 2018. – 6 p.
6. Пашкова, О. В. Обоснование технических и технологических решений по сооружению приствольных выработок в пройденных вертикальных стволах: дис. ... канд. техн. наук / О. Г. Быкова: Новочеркасск, 2015. – 145 с.
7. Investigation of deep mine shaft stability in alternating hard and soft rock strata using three-dimensional numerical modeling / X. Sun et al. // Processes. – 2019. – Vol. 7. – №. 2. – paper 7010002 – 17 p.
8. Выполнить анализ результатов проведенных обследований крепи стволов, оценить необходимость и объемы геофизических работ на деформированных участках : отчёт о НИР (промежут. по дог. № 899.С.2009, этап 1.4) / ОАО «Белгорхимпром»; рук. А. М. Ефимов; исполн.: Кафанова Т. П. [и др.]. – Минск, 2009. – 42 с. – № ГР 20092386.
9. Кологривко, А. А. Проведение и крепление подземных горных выработок / А. А. Кологривко. – Мн.: БГПА, 2001. – 38 с.
10. Байер, В. Е. Строительные материалы: Учебник / В. Е. Байер. – М.: Архитектура-С, 2004. – 240 с.
11. Строительные материалы и изделия: учеб. пособие / В. С. Руднов [и др.]. – Екатеринбург: Изд-во Урал. ун-та, 2018. – 203 с.