

УДК 620.172.2+622.016.22

**ИССЛЕДОВАНИЕ МАТЕРИАЛОВ КРЕПИ ШАХТНЫХ СТВОЛОВ**

*канд. техн. наук, доц. А.А. КОЛОГРИВКО; Д.А. ИГОЛКА*  
*(Белорусский национальный технический университет, Минск);*  
*Е.М. ЛУКША*  
*(ОАО «Белгорхимпром», Минск)*

*Представлены результаты исследований тюбинговой и бетонной крепей для скипового и клетчатого шахтных стволов Петриковского горно-обогатительного комплекса на основе изученного геолого-гидрогеологического строения, данных анализа геофизических исследований горного массива и рекомендованных интервалов глубин крепления шахтных стволов. Установлены расчетные значения пределов прочности чугуна на сжатие и растяжение, принята марка бетона.*

**Ключевые слова:** *тюбинговая и бетонная крепь, шахтные стволы, бетон, чугун, коррозия.*

Изучение гидрогеологического строения и гидрогеологических условий промышленной площадки (далее – промплощадка) Петриковского горно-обогатительного комплекса (далее – Петриковский ГОК) [1–6] позволяет считать, что она характеризуется по материалам бурения пяти гидрогеологических скважин (№ 1а, 1б, 1в, 1г, 1д) и двух контрольно-стволовых скважин (№ 1к, 2к), а также проведенных в 1974, 1980, 2002, 2013 годах геолого-гидрогеологических и геофизических исследований Петриковского месторождения калийных солей. Гидрогеологические скважины оборудованы на водоносные комплексы: четвертичных – неогеновых отложений (скважина № 1а); палеогеновых отложений (скважина № 1б); мергельно-меловых отложений туронского яруса верхнего мела (скважина № 1в); сеноманских – юрских отложений (скважина № 1г) и глинисто-мергелистую толщу надсолевого девона (скважина № 1д). Изучение двух геологических колонок контрольно-стволовых скважин № 1к, 2к до глубины 290 м на участке заложения шахтных стволов, принимая во внимание структурированные данные стратиграфических подразделений скважин на промплощадке до глубины 290 м и учитывая идентичные геологические и гидрогеологические условия, показало, что в стратиграфическом и литологическом отношении промплощадка представлена отложениями девонской, каменноугольной, триасовой, юрской, меловой, палеогеновой, неогеновой и четвертичной систем.

**Основная часть.** Анализ геологической и гидрогеологической характеристик участка заложения шахтных стволов позволяет сделать вывод о сложных гидрогеологических условиях рассматриваемой территории – наличие водоносных, неустойчивых пород на глубине порядка 275,0 м. В этой связи проведение стволов должно осуществляться способом замораживания горных пород. Ниже границы зоны замораживания пород проходка может осуществляться обычным способом. Глинисто-мергелистая толща является региональным водоупором, изолирующим соляные отложения от пресных подземных вод мезокайнозоя. Основным водоупором является пласт плотной массивной аргиллитоподобной глины в интервале 265,4...287,4 м, что и определяет глубину создания ледопородного ограждения (далее – ЛПО). Глубина бурения замораживающих скважин по шахтным стволам может быть принята порядка 275,0 м с учетом заглубления 10,0 м в водоупорные глины и возможностью уточнения по результатам бурения и выдачи полных окончательных отчетов по скважинам № 1к, 2к.

Исследования физико-механических свойств вмещающего массива горных пород выполнены по скважинам № 1а, 1б, 1д, 1в, частично – по контрольно-стволовым скважинам № 1к и 2к для пород четвертичной системы, палеогеновой, меловой, юрской, триасовой, каменноугольной систем и верхней части старобинского горизонта верхнего девона [3–6]. Основная часть старобинского горизонта верхнего девона, породы любанского яруса верхнего девона и породы осовецкого горизонта, включая галогенную толщу, опробованы непосредственно из контрольно-стволовых скважин № 1к и 2к.

Анализ горно-геологических условий участка строительства шахтных стволов и физико-механических свойств вмещающего массива, принимая во внимание гидрогеологическое строение и гидрогеологические условия промплощадки, позволил представить схематические решения по креплению шахтных стволов. Так, шахтные стволы крепятся до глубины –824,48 м по скиповому стволу и до глубины –720,9 м – по клетчатому стволу. В обводненных высоконапорных горизонтах следует использовать крепь из чугунных тюбингов в сочетании с бетонной крепью до –518,0 м по скиповому и до –510,0 м по клетчатому стволу. Заморозку горных пород следует осуществлять до глубины –265,0 м по скиповому и до –262,0 м по клетчатому стволу.

*Интервалы глубин крепления шахтных стволов.* Для представления интервалов глубин крепления шахтных стволов с целью исследования материалов крепи следует обратить внимание на практику эксплуатации крепей на рудниках Старобинского месторождения калийных солей и их фактическое состоя-

ние в настоящее время. Результаты обследований указывают на то, что тюбинговая крепь имеет отрывы от бетона в основном в интервалах замораживания пород. В результате отрывов в интервале 1...5 мм формируется водоток внутри крепи, создавая тем самым полную гидростатическую нагрузку на тюбинг или просачивание воды через швы, что ведет к коррозии тюбингов как внутри, так и снаружи его контура. При полном контакте с бетоном коррозия чугунных тюбингов практически отсутствует и просачивание воды через швы не наблюдается. Величина коррозии значительно снижается в зоне пониженного водообмена в связи с тем, что в таких интервалах глубин отрыв бетона от тюбингов не происходит. Некоторое снижение величины коррозии в зонах, близких к нижней части замораживания, может объясняться меньшей водопроницаемостью и более благоприятными условиями размораживания пород. Основной причиной отрыва бетона от тюбингов следует считать негативные последствия размораживания пород: локальные динамические нагрузки, неравномерное оттаивание ЛПО, разные линейные температурные расширения бетона и чугуна.

По нашему мнению, при выборе крепи должны быть выполнены расчеты тюбингов в зоне высокообводненных пород в соответствии с методикой нагружения чугунных тюбингов полным гидростатическим давлением; расчет тюбингов ниже зоны замораживания в обводненных породах следует выполнять в соответствии с методикой нагружения крепи горным и гидростатическим давлениями как многослойной единой конструкции «бетон – чугунный тюбинг».

В практике проведения стволов способом замораживания в условиях Старобинского месторождения применяется проходка с передовой временной бетонной крепью. В то же время при проведении стволов для калийных рудников в Российской Федерации применяется проходка с установкой постоянной крепи из бетона и чугунных тюбингов с установкой их сверху вниз с помощью специальных монтажных устройств. В условиях Петриковского ГОК, принимая во внимание первый опыт работ на месторождении, считаем, что выбор толщины крепи необходимо определять с учетом прочности бетона на момент его замерзания и остановки процесса гидратации с учетом дополнительных исследований по установлению параметров ЛПО. Для начального случая представляется возможным рекомендовать толщину крепи не менее 500 мм.

Обобщение геолого-гидрогеологических условий строительства шахтных стволов и анализа геофизических исследований породного массива позволяет рекомендовать следующие интервалы глубин крепления с целью исследования материалов крепи для последующего установления влияния горного давления и выбора оптимальных параметров крепи шахтных стволов Пертиковского ГОК: 0...–265,0 м (многослойная крепь из чугунных тюбингов); –265,0...–500,0 м (многослойная чугунно-бетонная крепь); –500,0...–824,48 м (бетонная крепь).

*Результаты исследований тюбинговой и бетонной крепи.* Важная особенность эксплуатации тюбинговой крепи – постоянный контакт с агрессивной средой. При расчете толщины спинки тюбингов необходимо учитывать уменьшение ее толщины за счет развивающихся коррозионных процессов на весь срок службы стволов. Тюбинги в крепи ствола будут работать в большей степени на сжатие и подвергаться временным неравномерным нагрузкам, вызывающим растягивающие усилия (например, гидроизоляционный тампонаж, оттаивание ЛПО), поэтому в данных условиях более целесообразно применять чугун с пластинчатым графитом. Скорость коррозии чугуна для стволов составляет 0,1 мм/год [7]. Коррозийное разрушение чугуна за 50 лет составит 5 мм. Учитывая агрессивность воздействия на тюбинговую крепь как с внешней, так и с внутренней стороны, величина коррозионного износа тюбингов для обоснования толщины спинки принимается равной 10 мм. При этом отметим, что чугун – коррозионно-стойкий материал и, следовательно, не требует дополнительных специальных дорогостоящих коррозионно-стойких покрытий; может применяться в низкотемпературных условиях, так как обладает высокой морозостойкостью и, следовательно, исключает угрозу хладоломкости; позволяет получить заданные толщины тюбингов для разных марок чугуна, производимого современными металлургическими способами, и механически точно обработанные тюбинги.

В настоящее время заводы с современным оборудованием гарантируют полную взаимозаменяемость тюбингов, достигаемую высокой точностью механической обработки. Прочностные характеристики чугуна изменяются при увеличении толщины отливки из-за более длительной скорости ее охлаждения, в результате чего при одинаковом химическом составе могут изменяться различные структуры.

Для обоснования в дальнейшем параметров крепи из чугунных тюбингов необходимо определить расчетный предел прочности чугуна на сжатие [8]. Отметим, что при строительстве шахтных стволов на калийных рудниках в соответствии с горно-геологическими и горнотехническими условиями толщины спинок тюбингов преимущественно изменяются в пределах 30...120 мм, в редких случаях изменение происходит в более широких пределах.

С учетом сопоставления данных расчетных пределов прочности чугуна на сжатие, временного сопротивления чугунных отливок при растяжении [8–11] с целью обоснованного выбора толщин спинок тюбингов требуется определение расчетных значений для разных толщин спинок тюбингов. По резуль-

татам исследований представлены зависимости изменения временного предела прочности чугуна на растяжение и сжатие от толщины отливок (спинки тьюбингов) и выполнена интерполяция для получения значений при толщине отливок 30...150 мм с шагом 10 мм (рис. 1).

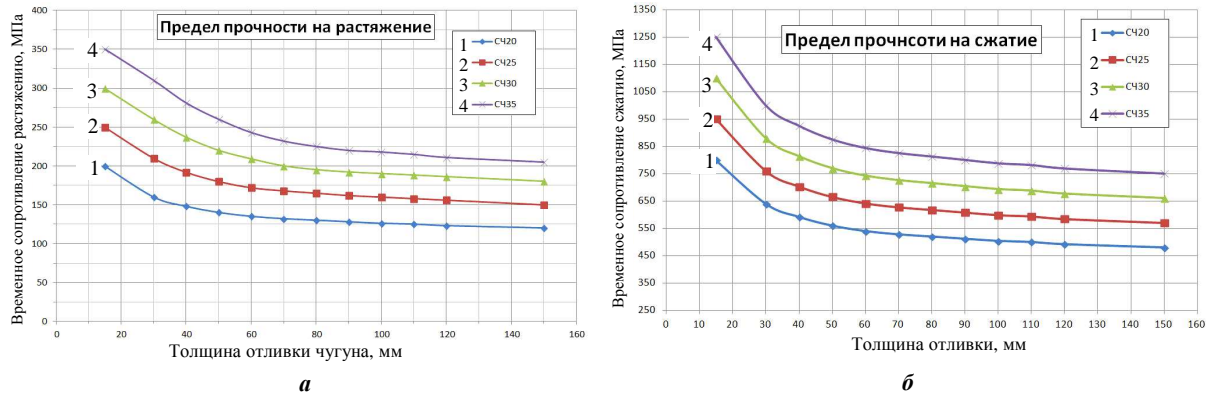


Рисунок 1. – Временный предел прочности чугуна на растяжение (а) и сжатие (б)

Анализ зависимостей позволяет установить относительное снижение прочности чугуна с увеличением толщины спинки (рис. 2). Так, при толщине спинки тьюбинга 120 мм прочность чугуна снижается порядка 38%. Значения временных пределов прочности на сжатие чугуна при различных марках и толщинах спинок нормативными документами не устанавливается. В этой связи принимаем прочность на сжатие чугуна при толщине спинки 15 мм по справочным данным. Используя данные относительного уменьшения прочности чугуна, получаем временный предел прочности чугуна на сжатие при разных толщинах отливок (рис. 2).

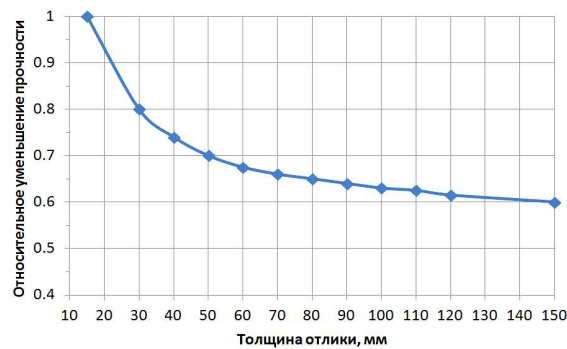


Рисунок 2. – Относительное снижение прочности чугуна с увеличением толщины спинки

Используя значения расчетных пределов прочности на сжатие и растяжение чугуна [8] и полученных результатов исследований в части относительного снижения прочности чугуна в различных отливках, получаем значения расчетных сопротивлений чугуна при сжатии и растяжении (рис. 3; табл. 1, 2).

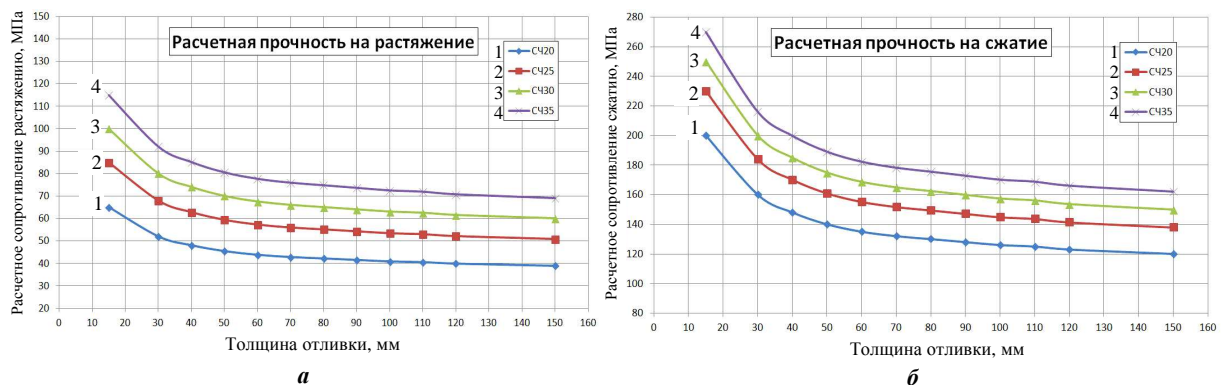


Рисунок 3. – Изменение расчетного предела прочности чугуна на растяжение (а) и сжатие (б)

Таблица 1 – Расчетные значения предела прочности чугуна на растяжение

Марка чугуна	Спинка, мм									
	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120
СЧ20	52	48	46	44	43	42	42	41	41	40
СЧ25	68	63	60	57	56	55	54	54	53	52
СЧ30	80	74	70	68	66	65	64	63	63	62
СЧ35	92	85	81	78	76	75	74	72	72	71

Таблица 2 – Расчетные значения предела прочности чугуна на сжатие

Марка чугуна	Спинка, мм									
	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120
СЧ20	160	148	140	135	132	130	128	126	125	123
СЧ25	184	170	161	155	152	150	147	145	144	141
СЧ30	200	185	175	169	165	163	160	158	156	154
СЧ35	216	200	189	182	178	176	173	170	169	166

При исследовании материалов крепи важно установление эффективного использования марок чугуна при разных толщинах отливок. При этом следует учитывать, что тюбинговое кольцо при постоянных нагрузках действует на сжатие. Также следует принимать во внимание увеличение массы тюбингов при увеличении толщин спинок и повышении стоимости производства тюбингов при более высоких марках чугуна. Для обеспечения необходимой прочности и жесткости чугуна в тюбинговом кольце, а также в целях оптимального выбора между толщинами отливок и маркой чугуна необходимо, чтобы чугун в отливках для производства тюбингов имел расчетный предел прочности на сжатие около 160 МПа в соответствии с прочностью марки СЧ20 и толщиной отливки 30 мм. Так, для обеспечения заданной прочности *рекомендуется применение следующих марок серого чугуна в зависимости от толщин спинок тюбингов:*

- СЧ20 – при толщине спинок тюбингов 30 мм;
- СЧ25 – при 40...60 мм;
- СЧ30 – при 70...100 мм;
- СЧ35 – при 110...120 мм.

Модуль упругости чугуна следует принимать 98000 МПа.

Расчетные характеристики бетона можно принимать в соответствии с [12].

Так, для расчетов следует принимать бетон марки С25/30 с расчетным пределом прочности на сжатие 25 МПа и модулем упругости 28000 МПа. Следует учитывать закономерности изменения прочностных характеристик массива горных пород в отрицательном температурном поле ЛПО и их влияние на нагружение бетонной крепи [13].

Таким образом, исследования нагрузок на крепь стволов от горных пород, характерных для каменных рудников, свойства которых приняты при средней (постоянной) температуре ЛПО, и от пород с дифференцированными свойствами в переменном температурном поле ЛПО показывают, что напряжения в конструкции крепи примерно на 10% меньше, чем при расчете крепи по средней температуре ЛПО.

Использование при расчете крепи шахтных стволов, проводимых способом замораживания, средней температуры ЛПО хорошо согласуется с результатами расчетов, учитывающих изменения деформационных свойств пород ЛПО от изменения температуры.

**Закключение.** Установленные в результате проведенных исследований расчетные значения пределов прочности чугуна на сжатие и растяжение при толщинах стенок тюбингов 30...120 мм, использование марки бетона С25/30 позволяют определить влияние горного давления как на многослойную крепь из чугунных тюбингов для интервала глубин крепления скипового и клетового шахтных стволов Петриковского ГОК 0...–265,0 м, многослойную чугунно-бетонную крепь для интервала –265,0...–500,0 м, бетонную крепь для интервала –500,0...–824,48 м, что способствует установлению оптимальных параметров крепи шахтных стволов с учетом горно-геологических характеристик пород.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Петриковский горно-обогатительный комплекс. Подготовительный период для проходки стволов. Пояснительная записка. Т. 1.1 / ОАО «Белгорхимпром». – Минск, 2013. – 273 с. (Архитектурный проект).
2. Петриковский горно-обогатительный комплекс. Подготовительный период для проходки стволов. Приложения. Т. 1.2 / ОАО «Белгорхимпром», Минск, 2013. – 53 с. (Архитектурный проект).

3. Петриковский горно-обогатительный комплекс. Разработка исходных данных для проекта проходки шахтных стволов, в том числе исходные данные по скиповому стволу [текст] : отчет о НИР : в 2 кн. и 1 папке. / ОАО «Белгорхимпром» ; рук. В.В. Савченко ; отв. исполн. В.Э. Кутырло. – Минск, 2013. – Кн. 1 : Текст отчета. – 192 с.
4. Петриковский горно-обогатительный комплекс. Разработка исходных данных для проекта проходки шахтных стволов, в том числе исходные данные по клетевому стволу [текст] : отчет о НИР : в 2 кн. и 1 папке. / ОАО «Белгорхимпром» ; рук. В.В. Савченко ; отв. исполн. : В.Э. Кутырло. – Минск, 2013. – Кн. 2 : Текстовые приложения. – 182 с.
5. Петриковский горно-обогатительный комплекс. Разработка исходных данных для проекта проходки шахтных стволов, в том числе исходные данные по клетевому стволу [текст] : отчет о НИР : в 2 кн. и 1 папке. / ОАО «Белгорхимпром» ; рук. В.В. Савченко ; отв. исполн. : В.Э. Кутырло. – Минск, 2013. – Кн. 1 : Текст отчета. – 175 с.
6. Петриковский горно-обогатительный комплекс. Разработка исходных данных для проекта проходки шахтных стволов, в том числе исходные данные по клетевому стволу [текст] : отчет о НИР : в 2 кн. и 1 папке / ОАО «Белгорхимпром» ; рук. В.В. Савченко ; отв. исполн. : В.Э. Кутырло. – Минск, 2013. – Кн. 2 : Текстовые приложения. – 213 с.
7. Общесоюзные нормы технологического проектирования стволов подземных рудников по добыче калийной и каменной соли : ВНТП 5-82. – Введ. 01.07.1982. – М. : Минудобрений, 1982. – 52 с.
8. Стальные конструкции : СП 16.13330.2011. – Актуализированная редакция СНиП II-23-81\* ; введ. : 20.05.2011. – М. : Минрегион России, 2011. – 173 с.
9. Подземные горные выработки : СНиП II-94-80 / Госстрой СССР. – М. : Стройиздат, 1982. – 31 с.
10. Руководство по проектированию подземных горных выработок и расчету крепи / ВНИМИ, ВНИИОМШС Минуглепрома СССР. – М. : Стройиздат, 1983. – 272 с.
11. Чугун с пластинчатым графитом для отливок : ГОСТ 1412-85. – Введ. 01.01.1987. – М. : Гос. Ком. СССР по стандартам, 2004. – 5 с.
12. Бетонные и железобетонные конструкции : СНБ 5.03.01-02. – Введ. 20.06.2002. – Минск : Минстрой-архитектуры Респ. Беларусь, 2003. – 177 с.
13. Влияние температуры ледопородного ограждения при расчете крепи шахтных стволов / Д.А. Иголка [и др.] // Горная механика и машиностроение. – 2014. – № 3. – С. 36–41.

Поступила 07.06.2016

## RESEARCH OF MATERIALS FIX MINE TRUNKS

*A. KOLOGRIVKO, D. IGOLKA, E. LUKSHA*

*Results of researches tubing and concrete krepь for skipovy and kletye-vy mine trunks of the Petrikovsky mining and processing complex on the basis of the studied geological and hydrogeological structure, the analysis of geophysical surveys of the pedigree massif and the recommended intervals of depths of fastening of mine trunks are presented.*

**Keywords:** *tubing and concrete lining, shafts, concrete, cast iron, corrosion.*