

УДК 622.272

**ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ
ХЛОРИДНЫХ ШАХТНЫХ ВОД
ДЛЯ ПРИГОТОВЛЕНИЯ ТВЕРДЕЮЩИХ ЗАКЛАДОЧНЫХ СМЕСЕЙ**

Т. И. Рубашкина, М. А. Костина

*Белгородский государственный национальный исследовательский университет,
E-mail: korneychuk@bsu.edu.ru, ул. Победы, 85, 308015, г. Белгород, Россия*

Выполнены исследования возможности применения высокоминерализованной шахтной воды с повышенным содержанием хлорид-ионов для приготовления твердеющих закладочных смесей на основе цемента. Определены реологические и механические свойства твердеющей закладки экспериментальных составов с разным расходом цемента на однородном и комбинированном заполнителях, затворенных водопроводной и шахтной водой с содержанием хлорид-ионов до 0.75 % от массы цемента. Рассчитаны прочности, модули упругости и коэффициенты Пуассона образцов твердеющей закладки на шахтной и водопроводной воде в возрасте 28, 60, 90 и 360 сут нормального твердения. Установлено, что прочностные, упругие и деформационные свойства образцов твердеющей закладки экспериментальных составов на шахтной воде на протяжении всего срока наблюдений изменяются аналогично таким же составам на водопроводной воде с отклонением $\pm 10\%$ по прочности и $\pm 4\%$ по деформациям. Содержание хлорид-ионов в шахтной воде не оказывает негативного влияния на реологические свойства смеси, процессы образования цементного камня и динамику набора прочности затвердевшего материала.

Твердеющая закладка, вода затворения, высокоминерализованные шахтные воды, прочность на одноосное сжатие, статический модуль упругости, коэффициент Пуассона

DOI: 10.15372/FTPRPI20230307

Шахтные (рудничные) воды образуются при подземной добыче полезных ископаемых в результате попадания подземных и поверхностных природных вод в горные выработки, где они подвергаются загрязнению в процессе ведения различных горных работ. Загрязнение рудничных вод происходит в основном мелкодисперсными взвешенными частицами добываемого полезного ископаемого и вмещающих пород, образуемых при бурении взрывных скважин и шпуров, дроблении пород взрывным способом, работе проходческих и очистных комбайнов, погрузочных и транспортных работах. Кроме того, из-за высокого уровня механизации горных работ возможно загрязнение шахтных вод нефтепродуктами и бактериальное загрязнение в результате гниения деревянных конструкций (крепи, перемычек и др.). В зависимости от гидрологических, горно-геологических и горнотехнических факторов, а также глубины залегания

полезных ископаемых шахтные воды имеют различный химический состав. По физико-химическому составу они подразделяются на кислотные, минерализованные и загрязненные взвешенными частицами породы. Ионы железа, алюминия, кремния, кальция, магния, хлора, цинка, меди, SO_4^{-2} , HCO_3^{-} , H^+ , а также бактерии содержатся в них в разных соотношениях. Скорость течения воды по выработкам, застаивание в выработках, а также глубина горизонтов влияют на агрессивность шахтных вод, которая оценивается концентрацией водородных ионов (рН). Наиболее агрессивны кислотные воды [1].

Для выдачи на поверхность шахтных вод, их очистки перед вторичным использованием или сбросом в водные объекты на каждом горнодобывающем предприятии разрабатываются и реализуются различные сложные и затратные мероприятия. До отвода в поверхностные водотоки и водоемы шахтные воды подвергаются очистке. Воды с повышенным содержанием механических примесей отстаиваются в прудах-накопителях, кислые воды подвергаются нейтрализации, а высокоминерализованные — деминерализации. Очищенные шахтные воды используются на горных предприятиях для пылеподавления путем нагнетания воды в полезные ископаемые или для орошения, разупрочнения пород основной кровли, гидравлического транспортирования полезных ископаемых и горных пород при закладке выработанного пространства, обогащения полезных ископаемых [2, 3].

Высокоминерализованные шахтные воды применяются ограниченно из-за высоких содержаний различных катионов и анионов (Na, K, Ca, Mg, Fe, Cl, SO_4 и др.), значительно превышающих предельно допустимых концентрации даже для технической воды, и не рекомендуются для приготовления твердеющих смесей на основе цемента в силу ряда причин.

Во-первых, вода для приготовления твердеющих смесей на основе цемента (бетонов, цементных растворов и т. п.) является активным компонентом, обеспечивающим твердение цементного камня, необходимую растекаемость и удобоукладываемость смеси. Качество воды для затворения оценивается по содержанию вредных примесей, которые могут препятствовать нормальному схватыванию и твердению вяжущего вещества либо вызывать появление в структуре затвердевшего материала новообразований, снижающих его прочность и долговечность, а также коррозию стальной арматуры. Наиболее вредными примесями в воде считаются растворимые соли, содержащие сульфат-ионы SO_4^{-2} и хлор-ионы Cl^{-1} , которые легко вступают в реакцию с гидроксидом кальция $\text{Ca}(\text{OH})_2$, образующейся в процессе гидратации цемента. В результате возникают новые соединения, либо легкорастворимые в воде (например, хлористый кальций CaCl_2), либо непрочные и рыхлые, либо кристаллизующиеся со значительным изменением объема (сульфат кальция CaSO_4). Иногда это происходит одновременно. Все эти процессы приводят к химической коррозии цементного камня. Кроме того, растворимые соли при повышенной концентрации кристаллизуются в порах цементного камня и образуют на поверхности затвердевшего материалы высолы.

Во-вторых, повышенное содержание в воде сульфат-ионов и хлор-ионов (более 1 % от массы цемента) способствует развитию химической коррозии стальной арматуры в бетонах [4–6]. Согласно [7–10], коррозионные процессы отрицательно влияют на физико-механические свойства бетона и вызванное этим изменение напряженно-деформированного состояния конструкции.

Твердеющая закладка на основе цементного вяжущего, несмотря на общие с бетоном закономерности образования цементного камня и набора прочности с возрастом, имеет специфические особенности и отличия от бетона, что не позволяет однозначно принять к сведению вышеприведенные исследования. К твердеющей закладке, в отличие от бетонов, не предъявляются столь высокие требования по прочности и внешнему виду, что позволяет использовать для ее приготовления некондиционные заполнители, низкомарочные цементы, отходы производства, а также повышенное (более 1) водоцементное отношение для увеличения подвижности и удобоукладываемости закладочной смеси, обеспечивающей ее доставку в погашаемые пустоты по трубопроводному транспорту в самотечном режиме на значительные расстояния (до 3–5 км). При возведении искусственного закладочного массива не применяется армирование по всему объему и нет особых требований по наличию высолов его на поверхности, если это не приводит к коррозии твердеющей закладки.

Известен положительный опыт применения высокоминерализованных рудничных вод для приготовления закладочных смесей разного компонентного состава и в разных горно-геологических условиях [11–13]. В связи с этим возможность использования высокоминерализованных рудничных вод с повышенным содержанием ионов хлора для приготовления твердеющих закладочных смесей определенного компонентного состава можно установить при отсутствии снижения прочностных и деформационных свойств твердеющей закладки в долгосрочной перспективе (не менее года).

Цель настоящей работы — установление возможности использования высокоминерализованной воды подземного рудника с высоким содержанием ионов хлора в качестве воды затворения для приготовления твердеющих закладочных смесей.

МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЙ

Для экспериментальных исследований выбирались составы закладочной смеси с разным расходом портландцемента со шлаком ЦЕМ II/A-III 32.5 Н класса 32.5, разным расходом и составом заполнителя — однородного (некондиционный природный очень тонкий песок с повышенным содержанием глинистых частиц) и оптимизированного в сторону укрупнения отсевом доменного гранулированного шлака фракции 0–5 мм [14, 15], обеспечивающие прочность твердеющей закладки в условно принятый срок подработки (60 сут) не менее 10 МПа.

В качестве воды затворения применялась высокоминерализованная вода подземного рудника (шахтная вода) в количестве, обеспечивающем получение литых смесей с растекаемостью на вискозиметре Суттарда не менее 220 мм. Эти же составы дублировались с использованием водопроводной воды в качестве затворения. Составы на водопроводной воде приняты за базовые при исследовании влияния высокоминерализованной хлоридной воды на физико-механические свойства твердеющей закладки.

Из смеси каждого замеса изготавливались образцы закладки: образцы-кубы размером $100 \times 100 \times 100$ мм и цилиндрической формы с отношением высоты к диаметру 2 : 1 в количестве, необходимом для испытаний с целью определения прочности на одноосное сжатие и деформационных свойств (модуля упругости и коэффициента Пуассона) в статическом режиме в возрасте 28, 60, 90, 360 сут нормального твердения (при температуре 20 ± 2 °С и относительной влажности воздуха 95 ± 5 %).

Предварительно выполнялся качественный химический анализ исследуемой высокоминерализованной воды, водопроводной воды и заполнителей. В табл. 1 приведены показатели содержаний исследуемой высокоминерализованной и водопроводной воды, нормируемые ГОСТ 23732-2011 “Вода для бетонов и строительных растворов. Технические условия” для изготовления бетонных неармированных конструкций.

ТАБЛИЦА 1. Содержание растворимых солей, сульфатов, хлоридов и взвешенных частиц в шахтной и водопроводной воде

Вода	Содержание, мг/дм ³				Водородный показатель pH
	растворимых солей	ионов SO ₄ ⁻²	ионов Cl ⁻¹	взвешенных частиц	
Шахтная	10450	57 ± 17	> 5000	8 ± 1	7.4 ± 0.2
Водопроводная	454	119 ± 30	221.6 ± 19.9	7 ± 1	7.4 ± 0.2
Предельно допустимое содержание по ГОСТу при изготовлении бетонных неармированных конструкций, к которым не предъявляются требования по ограничению образования высолов	10 000	2 700	4 500	300	4.0 – 12.5

Сравнительный анализ данных табл. 1 показал, что исследуемая шахтная вода является высокоминерализованной с содержанием сульфат-ионов SO₄⁻² и хлорид-ионов Cl⁻¹, превышающим предельно допустимые по ГОСТ 23732-2011 для изготовления бетонных неармированных конструкций, примерно на 4.5 и 11.0 % соответственно. По преобладающему аниону (Cl⁻¹) исследуемую воду можно отнести к хлоридной. Содержание остальных контролируемых показателей не превышает предельно допустимых значений. Результаты исследования количественного химического состава заполнителей — природного очень тонкого песка (песок) и отсева доменного гранулированного шлака фракции 0 – 5 мм представлены в табл. 2.

ТАБЛИЦА 2. Химический состав заполнителей, масс. %

Заполнитель	Cl ⁻	S	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	Na ₂ O	MgO	K ₂ O	TiO ₂	MnO
Песок	0.02	0.03	94.30	3.20	0.92	0.18	0.00	0.10	0.85	0.63	0.01
Шлак	0.02	0.31	37.28	10.29	0.13	37.41	0.67	12.30	0.53	0.46	0.43

Химический состав песка и шлака существенно отличается по содержанию SiO₂, CaO, сульфатной и сульфидной серы S, а содержание хлор-ионов одинаково и составляет 0.02 масс. %. Содержание хлор-ионов в заполнителях учитывалось при расчете их суммарного содержания в кладочной смеси. Результаты исследования физико-технических свойств заполнителей приведены в табл. 3. Видно, что исследуемый песок имеет очень низкий модуль крупности (0.02) за счет преобладания в гранулометрическом составе пылевидных фракций (менее 0.16 мм) и повышенного содержания глинистых частиц. Отсев доменного гранулированного шлака имеет показатели крупного песка и не содержит глинистых компонентов. У шлака и песка близкие значения истинной и насыпной плотности, что упрощает задачу подбора составов нерасслаивающихся кладочных смесей при совместном их использовании.

ТАБЛИЦА 3. Физико-технические свойства песка и отсева доменного металлургического шлака

Заполнитель	Остатки, % по массе, на ситах с размером отверстий, мм						Модуль крупности	Содержание глинистых и пылевидных частиц, %	Истинная / насыпная плотность, кг/м ³
	2.50	1.25	0.63	0.315	0.16	<0.16			
Песок	Частные						0.02 Очень тонкий	7.37	2675 / 1630
	—	—	0.06	0.18	1.66	98.10			
Шлак	Полные						2.65 Крупный	0.00	2700 / 1490
	—	—	0.06	0.24	1.90	—			
Шлак	Частные						2.65 Крупный	0.00	2700 / 1490
	2.07	10.63	52.35	24.40	6.39	4.15			
Шлак	Полные						2.65 Крупный	0.00	2700 / 1490
	2.07	12.70	65.06	89.46	95.85	—			

Экспериментальные составы твердеющей закладочной смеси: три состава с использованием для затворения шахтной воды (1-0Ш-ШВ, 2-25Ш-ШВ, 3-40Ш-ШВ) и водопроводной воды (1-0Ш-ВВ, 2-25Ш-ВВ, 3-40Ш-ВВ), плотность смеси, растекаемость смеси на вискозиметре Суттарда, а также суммарное содержание в смеси хлорид-ионов в процентах от массы цемента представлены в табл. 4.

ТАБЛИЦА 4. Составы закладочной смеси для изготовления образцов

Состав	Расход материалов на 1 м ³						Плотность, кг/м ³	Растекаемость, мм	Суммарное содержание хлор-ионов, % от массы цемента
	Заполнитель				Цемент, кг	В/Ц			
	Песок, %	Шлак, %	Модуль крупности	Содержание глины, %					
1-0Ш-ВВ	100	0	0.02 Очень тонкий	7.37	490	1.1	1790	221	0.06
1-0Ш-ШВ	100	0	0.02 Очень тонкий	7.37	490	1.1	1790	223	0.69
2-25Ш-ВВ	75	25	0.68 Очень тонкий	5.53	430	1.1	1870	220	0.07
2-25Ш-ШВ	75	25	0.68 Очень тонкий	5.53	430	1.1	1870	221	0.71
3-40Ш-ВВ	60	40	1.07 Очень мелкий	4.42	380	1.2	1920	220	0.08
3-40Ш-ШВ	60	40	1.07 Очень мелкий	4.42	380	1.2	1920	224	0.75

Расход цемента на 1 м³ закладочной смеси в экспериментальных составах варьирует от 490 кг при использовании в качестве заполнителя природного очень тонкого песка до 380 кг на оптимизированном в сторону укрупнения заполнителя (табл. 4). Реологические свойства твердеющей закладки составов как на водопроводной воде (1-0Ш-ВВ, 2-25Ш-ВВ, 3-40Ш-ВВ),

так и на шахтной (1-0Ш-ШВ, 2-25Ш-ШВ, 3-40Ш-ШВ) соответствуют условиям эксперимента — растекаемость на вискозиметре Суттарда не менее 220 мм. Незначительные различия в значениях растекаемости экспериментальных и базовых составов объясняются вариацией содержания глинистых частиц в песке. Кроме того, в составе с минимальным расходом цемента выше водоцементное отношение (1.2) и выше суммарное содержание хлор-ионов в процентах от массы цемента. Суммарное содержание хлор-ионов в составах на шахтной воде в 9–11 раз превышает их содержание в базовых составах.

В сроки 28, 60, 90 и 360 сут образцы испытывались на измерительной установке АСИС-2017 с целью определения прочности на одноосное сжатие и продольных и поперечных деформаций при сжатии для получения модуля упругости и коэффициента Пуассона в статическом режиме. Образцы перед испытанием и разрушенный материал после испытаний подвергались визуальному осмотру на наличие высолов и видимых очагов химической коррозии.

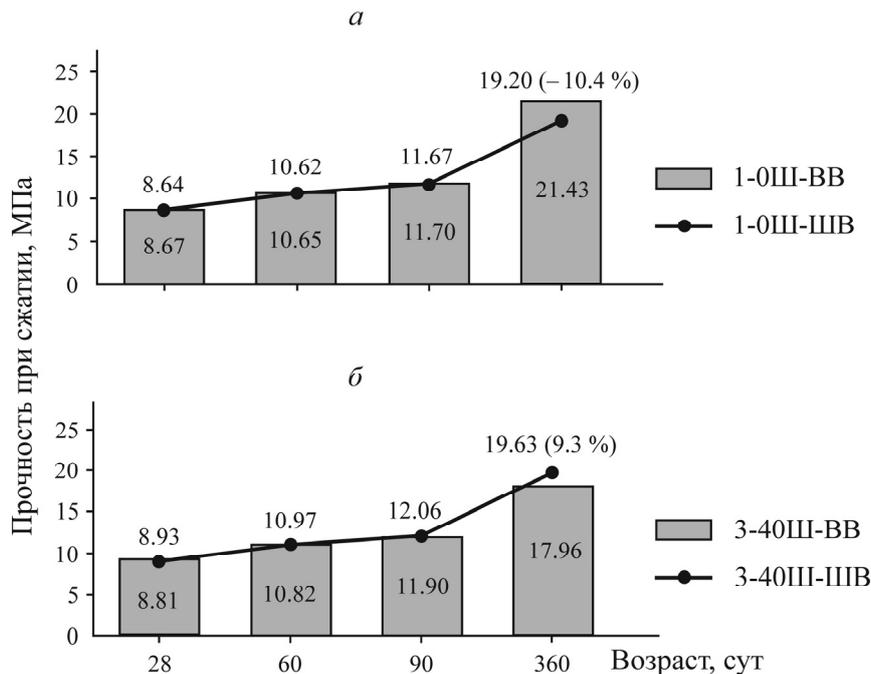
РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

При визуальном осмотре образцов перед испытанием и разрушенного материала после испытаний не обнаружено очагов видимой коррозии цементного камня, образцы на шахтной воде по внешнему виду практически не отличались от базовых по цвету и структуре. В результате обработки результатов испытаний всех образцов получены прочности на одноосное сжатие, статические модули упругости и коэффициенты Пуассона твердеющей закладки экспериментальных составов на шахтной и водопроводной воде в возрасте 28, 60, 90 и 360 сут нормального твердения (табл. 5).

ТАБЛИЦА 5. Прочность на одноосное сжатие, модуль упругости и коэффициент Пуассона образцов экспериментальных составов на шахтной и водопроводной воде

Состав	28 сут		60 сут		90 сут		360 сут	
	Значение	Отклонение, %						
Предел прочности на одноосное сжатие, МПа								
1-0Ш-ВВ	8.58	—	10.54	—	11.58	—	21.43	—
1-0Ш-ШВ	8.64	–0.28	10.62	–0.30	11.67	–0.28	19.20	–10.40
2-25Ш-ВВ	8.53	—	10.48	—	11.51	—	18.50	—
2-25Ш-ШВ	8.56	0.40	10.52	0.43	11.56	0.43	16.72	4.20
3-40Ш-ВВ	8.48	—	10.42	—	11.45	—	17.96	—
3-40Ш-ШВ	8.93	1.35	10.97	1.30	12.06	1.40	19.63	9.30
Модуль упругости, ГПа								
1-0Ш-ВВ	2.98	—	3.07	—	3.13	—	3.58	—
1-0Ш-ШВ	2.96	–0.09	3.09	0.56	3.14	0.55	3.46	–3.08
2-25Ш-ВВ	2.95	—	3.07	—	3.12	—	3.43	—
2-25Ш-ШВ	2.95	0.15	3.06	0.14	3.13	0.14	3.38	–1.26
3-40Ш-ВВ	2.98	—	3.09	—	3.15	—	3.40	—
3-40Ш-ШВ	3.00	0.45	3.17	2.53	3.17	0.43	3.49	2.63
Коэффициент Пуассона								
1-0Ш-ВВ	0.38	—	0.38	—	0.34	—	0.29	—
1-0Ш-ШВ	0.39	2.63	0.39	2.63	0.35	2.94	0.30	3.45
2-25Ш-ВВ	0.38	—	0.37	—	0.33	—	0.26	—
2-25Ш-ШВ	0.38	0.00	0.37	0.00	0.34	3.03	0.27	3.85
3-40Ш-ВВ	0.38	—	0.37	—	0.33	—	0.25	—
3-40Ш-ШВ	0.38	0.00	0.38	2.70	0.34	3.03	0.26	4.00

Анализ результатов показал, что прочность образцов твердеющей закладки на шахтной воде в возрасте до 90 сут отличается от базовой (на водопроводной воде) от -0.3 до 1.4% , в возрасте 360 сут — в среднем на $\pm 10\%$ (табл. 5). В экспериментальном составе с максимальным расходом цемента (490 кг) и однородным заполнителем (100% песок) прочность образцов на водопроводной воде (1-0Ш-ВВ) выше на 10.4% прочности образцов на шахтной (рисунок, а). В экспериментальном составе с минимальным расходом цемента (380 кг) и оптимизированным заполнителем (60% песок, 40% шлак) прочность образцов на шахтной воде (3-40Ш-ШВ) в возрасте 360 сут выше на 9.3% (рисунок, б).



Прочность твердеющей закладки экспериментального состава в разные сроки набора прочности: а — с максимальным расходом цемента (490 кг) и однородным заполнителем (100% песок) на водопроводной (1-0Ш-ВВ) и шахтной воде (1-0Ш-ШВ); б — с минимальным расходом цемента (380 кг) и оптимизированным заполнителем (60% песок, 40% шлак) на водопроводной (3-40Ш-ВВ) и шахтной воде (3-40Ш-ШВ)

Так как экспериментальные составы отличаются только качественным составом воды затворения, то причиной снижения или увеличения прочности могут служить только химические процессы, происходящие при гидратации цемента, а также при образовании и упрочнении цементного камня. Возможно, при введении в состав заполнителя шлака, имеющего в своем составе 30–40% оксида кальция CaO (табл. 2), в системе “цемент–шахтная вода” образуется некоторое количество хлорида кальция CaCl_2 , который в технологии бетона используется как добавка для интенсификации процессов твердения и набора прочности цементного камня. Однако это только предположение. В практике технологии бетона потеря прочности, не превышающая 15%, может быть допущена [16].

Анализ результатов показал, что модуль упругости образцов твердеющей закладки на шахтной воде на протяжении всего срока наблюдений увеличивается пропорционально росту прочности и отличается от базовых значений (на водопроводной воде) от -3.08 до 2.63% , в среднем на $\pm 3\%$. В возрасте 360 сут в экспериментальном составе с максимальным расходом цемента

(490 кг) и однородным заполнителем (100 % песок) модуль упругости образцов на водопроводной (1-0Ш-ВВ) выше на 3.08 % модуля упругости на шахтной воде, а в экспериментальном составе с минимальным расходом цемента (380 кг) и оптимизированным заполнителем (60 % песок, 40 % шлак) модуль упругости образцов на шахтной воде (3-40Ш-ШВ) выше на 2.63 % базовых значений. Отклонения коэффициентов Пуассона образцов на водопроводной и шахтной воде на протяжении всего срока наблюдений также незначительны и составляют не более 4 %, что находится в пределах погрешности эксперимента.

ВЫВОДЫ

Установлено, что содержание хлорид-ионов в шахтной воде, используемой для приготовления твердеющих смесей на основе цемента в количестве до 0.75 % от массы цемента, не оказывает негативного влияния на реологические свойства смеси, процессы образования цементного камня и динамику набора прочности затвердевшего материала. Прочностные, упругие и деформационные свойства образцов твердеющей закладки экспериментальных составов на шахтной воде на протяжении всего срока наблюдений 360 сут изменяются аналогично таким же составам на водопроводной воде с отклонением $\pm 10\%$ по прочности и $\pm 4\%$ по деформациям, что может быть допустимо.

Применение высокоминерализованных хлоридных шахтных вод в качестве воды затворения для приготовления цементных твердеющих смесей при возведении неармированных искусственных массивов возможно после предварительного испытания на конкретных составах.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Gavrishin A. I.** Formation patterns of the chemical composition of mine waters in Eastern Donbas, *Doklady Earth Sci.*, 2018, Vol. 481, No. 1. — P. 916–917.
2. **Горная энциклопедия:** [в 5 т.] / гл. ред. Е. А. Козловский. — М.: Сов. энцикл., 1984–1991.
3. **Куликова А. А., Сергеева Т. И., Овчинникова Е. И., Хабарова Ю. А.** Формирование шахтных вод и анализ способов их очистки // ГИАБ. — 2020. — № 7. — С. 135–145.
4. **Смоляго Г. А., Крючков А. А., Дрокин С. В., Дронов А. В.** Исследование аспектов хлоридной коррозии железобетонных конструкций // Вестн. БелГТУ им. В. Г. Шухова. — 2014. — № 2. — С. 22–24.
5. **Леонович С. Н., Степанова А. В.** Моделирование хлоридной агрессии на высококачественный бетон для обеспечения расчетного срока эксплуатации // Системные технологии. — 2016. — № 2 (19). — С. 75–85.
6. **Розенталь Н. К., Степанова В. Ф., Чехний Г. В.** О максимально допустимом содержании хлоридов в бетоне // Строит. материалы. — 2017. — № 1–2. — С. 82–85.
7. **Cullu M. and Arslan M.** The effects of chemical attacks on physical and mechanical properties of concrete produced under cold weather conditions, *Construction and Building Materials*, 2014, Vol. 57. — P. 53–66.
8. **Гарибов Р. Б., Овчинников И. И.** Моделирование проникания хлоридсодержащих сред в железобетонные конструктивные элементы // Бетон и железобетон. — 2010. — № 4. — С. 26–28.
9. **Овчинников И. И., Чэнь Т., Овчинников И. Г.** Вероятностное моделирование железобетонной сваи при совместном действии нагрузки и хлоридсодержащей среды // Региональная архитектура и строительство. — 2016. — № 4 (29). — С. 55–61.

- 10. Курилко А. С., Дроздов А. В., Алексеев К. Н., Никифорова А. Д.** Влияние хлоридных кальциевых рассолов на прочность торкрет-бетона, изготовленного на основе местных заполнителей (на примере рудника “Удачный”) // ГИАБ. — 2014. — № 2. — С. 17–21.
- 11. Пат. 2396434 РФ.** Закладочная смесь / Ю. А. Дойников, А. Н. Монтянова, А. И. Ефимов и др., 2010.
- 12. Крупник Л. А., Шапошник Ю. Н., Шапошник С. Н., Турсунбаева А. К.** Технология закладки на горнодобывающих предприятиях Казахстана // ФТПРПИ. — 2013. — № 1. — С. 95–105.
- 13. Березиков Е. П., Крупник Л. А., Шапошник Ю. Н., Шапошник С. Н.** Пути диверсификации компонентов закладочных смесей в технологическом процессе приготовления закладки // Горн. журн. Казахстана. — 2009. — № 4. — С. 16–19.
- 14. Рубашкина Т. И., Корнейчук М. А.** Твердеющие закладочные смеси на основе некондиционных природных песков // Горн. журн. — 2020. — № 10. — С. 84–90.
- 15. Rubashkina T. I. and Korneichuk M. A.** Optimization of grading of sand in backfill using metallurgical waste, J. Min. Sci., 2020, Vol. 56, No. 5. — P. 797–804.
- 16. Невилль А. М.** Свойства бетона / Сокр. пер. с англ. канд. техн. наук В. Д. Парфенова и Т. Ю. Якуб. — М.: Стройиздат, 1972. — 344 с.

Поступила в редакцию 30/IV 2023

После доработки 16/V 2023

Принята к публикации 18/V 2023