

УДК 691.327:699.82

# СПЕЦИАЛЬНЫЙ БЕТОН ДЛЯ ШАХТНЫХ СТВОЛОВ В УСЛОВИЯХ ВОЗДЕЙСТВИЯ ВЫСОКОМИНЕРАЛИЗОВАННЫХ И ВЫСОКОНАПОРНЫХ ПОДЗЕМНЫХ ВОД В ЗОНЕ МНОГОЛЕТНЕМЕРЗЛЫХ ГРУНТОВ



**О. И. МАТВЕЕВА**,  
генеральный директор,  
канд. техн. наук,  
ОАО «ЯкутПНИИС»,  
Якутск, Россия



**Г. Д. ФЕДОРОВА**,  
доцент, канд. техн. наук,  
Северо-Восточный  
федеральный университет  
им. М. К. Аммосова,  
Якутск, Россия,  
fedorovagd@mail.ru



**И. В. ЗЫРЯНОВ**,  
зам. директора по науке,  
д-р техн. наук



**Д. В. ЛОБАНОВ**,  
зав. лабораторией

Институт «Якутнiproalmaz» АК «АЛРОСА» (ПАО),  
Мирный, Россия

## Введение

Известно, что большинство подземных и заглубленных сооружений имеют отказы или аварийные ситуации, связанные с проникновением воды через ограждающие конструкции. Поэтому вопросы защиты подземных сооружений должны решаться на стадии проектирования в соответствии с требованиями СП 103.13330.2012 и СП 91.13330.2012.

В результате анализа горно- и гидрогеологических условий района строительства подземного рудника «Удачный» установлено, что, начиная с отм. 607 м, бетон крепи шахтного ствола и железобетон сопряжений будут работать в условиях воздействия агрессивных напорных подземных вод и высокой битуминозности. Соленость подземных вод достигает 400 г/л. Химический состав подземных рассолов указывает на преобладание хлоридно-магниевого засоления. Содержание магниевых солей в пересчете на ион  $Mg^{2+}$  в рассоле колеблется от 4500 до 14250 мг/л. Рассол оценивается как сильноагрессивный по отношению к бетону с маркой по водонепроницаемости W8, приготовляемому на

Приведены результаты экспериментальных исследований по разработке состава специального бетона для возведения шахтных стволов подземного рудника «Удачный». Рассмотрены вероятный механизм коррозии бетона при воздействии подземных рассолов и влияние гидростатического давления на процессы коррозии бетона шахтных стволов.

Представлена разработанная методика исследования коррозионной стойкости при гидростатическом напоре. Приведены результаты исследования коррозионной стойкости специального бетона.

**Ключевые слова:** зона многолетнемерзлых пород, рассол, гидростатический напор, шахтный ствол, бетон, коррозия.

**DOI:** [dx.doi.org/10.17580/gzh.2016.09.15](https://doi.org/10.17580/gzh.2016.09.15)

портландцементе и сульфатостойком портландцементе (СП 28.13330.2012, прил. В). Учитывая, что одним из эффективных способов повышения коррозионной стойкости бетонов является повышение его плотности, было предложено изменить первоначальное проектное решение, а именно — повысить марку бетона по водонепроницаемости с W8 до W12. Это позволяет снизить степень агрессивного воздействия жидких сред.

Следует иметь в виду, что в нормативных документах степень агрессивности регламентируется на основании исследований коррозионной стойкости бетона в стандартных режимах испытания: температура среды от 5 до 20 °С, полное погружение образцов в жидкую среду, скорость потока жидких сред до 1 м/с. В случае, если скорость потока воды превышает 1 м/с, оценка агрессивности среды выполняется на основании исследований специализированных организаций. Влияние других внешних факторов (пониженной температуры среды, гидростатического напора) на процессы коррозии бетонов нормативными документами не учитывается, и, согласно п. 5.2.6 СП 28.13330.2012, требуется проведение дополнительных исследований стойкости бетона для конкретных условий эксплуатации.

Учитывая сложные горно-геологические и гидрогеологические условия района строительства подземного рудника «Удачный», был проведен комплекс исследований по разработке состава специального бетона для сооружения шахтных стволов и повышению его коррозионной стойкости в нестандартных условиях работы.

Исследованиями процессов коррозии цементных бетонов в магниевых жидких средах, в частности в морских водах, занимались А. Р. Шуляченко, А. А. Байков, В. В. Кинд [1, 2] и другие. При этом многими исследователями определено, что в морской и океанской воде содержится наибольшее количество солей



**Рис. 1. Этапы работ по разработке составов специальных бетонов для возведения шахтных стволов подземного рудника «Удачный»**

магния, в основном в виде хлоридов и сульфатов. Сравнение засоленности природных вод — подземных высокоминерализованных вод рудника «Удачный» (до 400 г/л), морской (6–18 г/л) и океанской (34–35 г/л) указывает на более высокую минерализацию подземных рассолов. Кроме того, подземные напорные рассолы в руднике воздействуют на бетонные и железобетонные элементы горных выработок при пониженной положительной температуре горных пород в подмерзлотной зоне и при отрицательной температуре пород в зоне многолетней мерзлоты. Очевидно, что механизм процессов коррозии бетона, например бетона шахтных стволов подземного рудника, будет иным по сравнению с процессами и скоростью коррозии бетонов морских гидротехнических сооружений. В результате ранее выполненных исследований были изучены процессы коррозии бетона при различных температурных условиях эксплуатации сооружений (от  $-8$  до  $5$  °C) [3]. Показано, что на стойкость спецбетонов при полном погружении образцов и длительном выдерживании в рассолах при температуре среды до  $-4$  °C оказывают влияние процессы выщелачивания  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  в присутствии хлоридов натрия и магния. Также было установлено, что пониженные положительные температуры среды тоже могут изменить интенсивность коррозионных процессов в бетоне. Какие-либо другие исследования по изучению стойкости бетонов в условиях воздействия рассолов при пониженных температурах среды авторами не обнаружены.

Воздействие рассолов при высоком гидростатическом давлении (4–8 МПа) может существенно изменить скорость коррозии бетона. Поиск исследований по изучению влияния высокого (до 4 МПа) гидростатического напора на развитие процессов кор-

розии бетона в минерализованных средах указывает на отсутствие каких-либо экспериментальных данных.

Следовательно, обеспечение безаварийной работы подземного рудника на заданный срок эксплуатации (50 лет) будет главным образом зависеть от стойкости бетона конструкций подземных выработок и шахтных стволов. В связи с этим разработка специального бетона, способного сохранить стойкость в условиях одновременного воздействия высокоминерализованных, высоконапорных подземных вод в зоне многолетнемерзлой породы, является актуальной.

Комплекс исследований по разработке составов специального бетона и внедрению мероприятий по защите от коррозии бетона шахтных стволов подземного рудника состоит из десяти этапов (рис. 1). В настоящей статье представлены результаты экспериментальных исследований по изучению проницаемости спецбетона в условиях одностороннего воздействия рассола при гидростатическом напоре.

#### **Методика экспериментальных исследований проницаемости спецбетона**

Горно-геологические и гидрогеологические условия района строительства шахтных стволов являются сложными как во время возведения сооружения, так и в процессе его эксплуатации. Поэтому работы по проектированию составов специальных бетонов было решено начинать с установления вероятного механизма коррозии бетона при воздействии подземных вод.

Основные химические реакции, протекающие между гидроксидом кальция цементного камня и солями магния, записывают-

ся в следующем виде:  $MgCl_2 + Ca(OH)_2 = CaCl_2 + Mg(OH)_2$  или  $MgSO_4 + Ca(OH)_2 = CaSO_4 + Mg(OH)_2$ .

В обоих случаях образующийся в результате реакции гидроксид магния вследствие весьма малой его растворимости выпадает в осадок.

Первые повреждения в бетоне при воздействии на него морской воды обнаружил А. Р. Шуляченко [2], который впервые описал образование цементного молока, по существу, представляющего смесь гидроксида магния и карбоната кальция. Анализами разрушений бетона со сроками службы 13–36 лет в морской воде, проведенными А. А. Байковым и В. И. Чарномским, было установлено, что образующаяся белая масса содержит до 56,9 %  $Mg(OH)_2$  [2]. Ими было установлено, что гидроксид магния образует на поверхности бетона пленку. При этом было отмечено, что чем выше концентрация раствора магниезольной соли (5 % и выше), тем более плотную структуру имеет эта пленка.

В. В. Кинд [2] показал, что выпадение в осадок  $Mg(OH)_2$ , заполняющего пустоты в бетоне, способствует в некоторых случаях уплотнению и повышению его стойкости.

Следует отметить, что большинство исследователей, занимавшихся изучением влияния морских вод на коррозию бетона, считают, что в морской воде по отношению к бетону более активен сульфат магния, чем сульфат натрия или сульфат кальция [2–10].

Поскольку в подземных рассолах трубки «Удачная» преобладает хлоридно-магниевое засоление, то дальнейший обзор исследований по магниезольной коррозии выполнен в направлении изучения воздействия на бетон растворов хлорида магния ( $MgCl_2$ ).

При воздействии на бетон растворов хлористого магния высокой концентрации реакционная емкость раствора настолько велика, что поступающее в результате диффузии количество гидроксида кальция оказывается уже недостаточным для своевременной нейтрализации  $MgCl_2$ . Хлорид магния, поступая из водной среды к поверхности бетона, диффундирует далее в глубь бетона через пленку гидроксида магния. При этом не встретивший препятствий у входа в бетон агрессивный раствор вступает в контакт с гидросиликатом кальция и другими гидратами, образующими структуру цементного камня, полностью разрушает их, превращая в рыхлую несвязную массу. Установлено, что в бетонах на пуццолановом портландцементе поступление гидроксида кальция из внутренних частей бетона и связанное с этим увеличение толщины пленки  $Mg(OH)_2$  в поверхностных слоях идет медленнее, чем в бетоне на портландцементе, и скорость разрушения первого, соответственно, больше, чем второго. Некоторый избыток оксида кальция в бетоне на портландцементе (при высокой концентрации  $MgCl_2$ ) дает преимущество портландцементу по сравнению с пуццолановым портландцементом [2], определяя выбор вида вяжущего для приготовления бетонов шахтных стволов рудника «Удачный».

Как известно, воздействие чистой воды, вызывающее выщелачивание бетона, развивается медленно. При эксплуатации конструкции в безнапорном режиме (колонны резервуаров чистой воды) за 60 лет эксплуатации глубина повреждения бетона составляет 5–10 мм [11, 12]. Однако в конструкциях, которые ра-

ботают в напорном режиме, эти процессы ускоряются, если бетон не обладает необходимой водонепроницаемостью или в бетоне имеются фильтрующие трещины. Поэтому для обеспечения работоспособности шахтных стволов на заданный срок очень важно правильно назначать марку бетона по водонепроницаемости и получить его в конструкции, что, несомненно, зависит от качества выполнения бетонных работ.

На основании анализа литературных источников было установлено, что в условиях эксплуатации подземного рудника «Удачный» возможен следующий механизм повреждения бетона крепи шахтных стволов:

- фильтрация воды с растворением и выносом гидроксида кальция; растворение  $Ca(OH)_2$  может усиливаться в результате присутствия солей в рассоле, наличия низких температур среды и высокого гидростатического напора;
- взаимодействие солей рассолов с компонентами цементного камня с образованием двойных солей и новых алюминатных фаз (оксихлориды, гидросульфалюминаты, гидрохлоралюминаты);
- взаимодействие магниезольных солей из рассолов с  $Ca(OH)_2$ , силикатами и алюминатами цементного камня с образованием несвязанного продукта  $Mg(OH)_2$ ;
- кристаллизация солей в порах при увлажнении рассолом и испарении ее с открытой поверхности бетонной крепи ствола.

Таким образом, для повышения стойкости бетона шахтного ствола необходимо исключить фильтрацию и капиллярный подсос рассолов через бетон, т. е. максимально снизить проницаемость бетона. В этом случае перенос растворенных веществ в бетоне будет осуществляться лишь по механизму диффузии, что на порядок замедлит скорость взаимодействия бетона с агрессивной средой. Получить такой бетон можно вследствие максимального снижения водоцементного отношения благодаря использованию комплексных добавок и рациональному отношению доли песка в смеси заполнителей.

Поэтому для исследования проницаемости при напоре жидких сред был подобран состав специального бетона марки ВЗ0П5W16.

Для приготовления бетона использованы следующие материалы:

- Вольский сульфатостойкий цемент ССПЦ 400-Д0, удовлетворяющий требованиям ГОСТ 22264-94 ( $C_3S = 48,8\%$ ;  $C_2S = 30\%$ ;  $C_3A = 3,8\%$ ;  $C_4AF = 14\%$ );
- местный песок с месторождения песчано-гравийной смеси Верхний, просеянный через сито 5 мм;
- долеритовый щебень, полученный на ДСУ карьера «Удачный», смесь фракции с НКЩ = 20 мм с соотношением фракций 5–10 и 10–20 мм, соответственно, 30 и 70 % по массе;
- вода водопроводная;
- добавки: модификатор бетона ПФМ-НЛК по ТУ 2493-010-04786546-2001; нитрит натрия по ТУ 38-10274-79, ГОСТ 19906-74.

Характеристика принятого для исследования бетона и бетонной смеси, а также кинетика твердения по результатам испытания представлены в **табл. 1, 2**.

Таблица 1. Характеристика исследуемого бетона и бетонной смеси

Показатель	Метод испытания	Фактическое значение
Расход цемента, кг/м <sup>3</sup>		513
Вид и расход добавки, % массы цемента		2 % НН+1 % ПФМ-НЛК
Доля песка в смеси заполнителей		0,36
Водоцементное отношение		0,39
Средняя плотность смеси, кг/м <sup>3</sup>	ГОСТ 10181	2468
Подвижность бетонной смеси, см ОК	То же	22 (П5)
Прочность на сжатие бетона, твердевшего по режиму 3 сут (+20 °С) + 25 сут (-4 °С), МПа	ГОСТ 10180	40,8
Средняя плотность бетона, кг/м <sup>3</sup>	ГОСТ 12730.1	2495
Марка бетона по водонепроницаемости	ГОСТ 12730.5	>W16

Таблица 2. Кинетика твердения бетона при различных температурах среды

Вид цемента	Режим твердения образцов	Прочность бетона на сжатие, МПа, в возрасте					
		8 ч	1 сут	3 сут	7 сут	14 сут	28 сут
ВССЦ 400-ДО	+20 °С	—	19,2	35,2	41,6	44,3	44,2
	3 сут (+20 °С), далее при -4 °С	0,9*	—	—	32,1	35,1	40,8

\* При ожидаемой температуре твердения бетона с учетом массивности конструкции (бетонной крепи) и экзотермии цемента, равной 28 °С.

Контрольные образцы твердели в камере нормально-влажностного хранения. После трех суток твердения в такой камере они были помещены в подземную камеру ОАО «Якут-ПНИИС» на глубине 17 м, где постоянно поддерживается температура воздуха —  $4 \pm 0,2$  °С.

Исследования стойкости бетонных образцов к воздействию подземных вод (рассолов), отобранных в карьере «Удачный», выполняли в следующих температурных режимах среды:

- основные испытываемые образцы выдерживали в агрессивных средах: при комнатной температуре; в условиях подземной лаборатории ( $-4 \pm 0,2$  °С); в камере нормального твердения;
- контрольные образцы выдерживали в воде при комнатной температуре.

Экспериментальные исследования коррозии бетона выполняли в соответствии с требованиями ГОСТ 27677-88. Коррозионную стойкость бетона оценивали по изменению коэффициента стойкости, определяемому отношением прочностных свойств ( $R_b$ ,  $R_{b,c}$ ) и массы бетонных образцов размером  $4 \times 4 \times 16$  см в контрольном возрасте к начальным значениям.

Результаты оценки коррозионной стойкости образцов при длительном выдерживании их в рассоле рудника «Удачный» показаны на рис. 2, из которого следует:

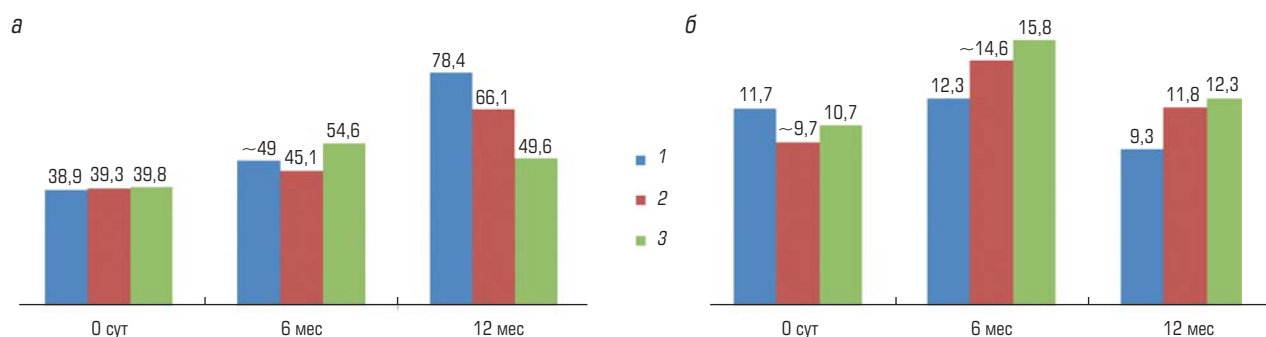
- при воздействии рассолов отмечаются начальные процессы выщелачивания, при этом существенного влияния пониженных положительных температур на скорость развития коррозии не установлено;
- признаки взаимодействия солей магния, содержащихся в рассолах, имеют проявления в виде образования гелеобразного белого налета на поверхности образцов; однако обменных реакций солей магния с гидросиликатами цементного камня не установлено;

- бетонные образцы подобранного состава на вольском сульфатостойком цементе обладают высокой стойкостью к воздействию хлоридно-магниевых рассолов.

После получения положительных результатов по испытанию коррозионной стойкости подобранного состава спецбетона на вольском сульфатостойком цементе были проведены испытания бетона при длительном выдерживании под напором воды 1,6 и 2,5 МПа и природного рассола при 1,6 МПа. Испытания выполняли на образцах-цилиндрах диаметром и высотой 15 см, серия состояла из шести образцов. До испытания на проницаемость образцы твердели по режиму 3 сут (+20 °С) + 25 сут (-4 °С). Давление жидкости повышали в соответствии с ГОСТ 12730.5-84. Длительность испытаний — 1 мес. Контрольным параметром проницаемости является величина давления, при которой наблюдается образование мокрого пятна на противоположной стороне образца.

Первую серию образцов испытывали под напором жидкости 1,6 МПа. При этом контрольные образцы испытывали под напором воды на установке УФФ-6/03, исследуемые образцы — под напором природного рассола карьера «Удачный» на специально собранной установке. По окончании испытаний образцы раскалывали вертикально для установления глубины проникновения рассола и визуальной оценки нарушения структуры бетона.

Вторая серия опытов выполнена под напором воды 2,5 МПа. Для реализации данного эксперимента была собрана специальная установка с компрессором К-33. После прекращения испытаний образцы также раскалывали для измерения глубины проникновения жидкости в бетон. На основании полученных данных рассчитывали ориентировочную глубину проникновения подземных вод в бетон или глубину повреждения бетона за проектный срок службы сооружения.



**Рис. 2.** Изменение прочности на сжатие (а) и изгиб (б) бетонных образцов размером 4×4×16 см при длительном выдерживании их в разных средах:

1 — 18±3 °C, вода; 2 — 18±3 °C, рассол; 3 — 0 ... +5 °C, рассол

### Результаты и их обсуждение

Для исследования все образцы после трех суток выдерживания в камере нормально-влажностного хранения были помещены в подземную камеру. Прочность бетона в 28-суточном возрасте составила 43,5 МПа, плотность бетона — 2505 кг/м<sup>3</sup>. В 28-суточном возрасте бетонные образцы установлены на испытание: основные образцы — на одностороннее воздействие рассола при гидростатическом напоре 1,6 МПа, контрольные образцы — на одностороннее воздействие воды при гидростатическом напоре 1,6 МПа.

Экспериментально доказано, что при одностороннем воздействии воды при гидростатическом давлении в течение 1 мес бетон образцов не промок. При раскалывании образцов отмечено, что глубина проникновения влаги в бетон составляла не более 8 мм. Образцы, подвергнутые воздействию напора воды 2,5 МПа, также все выдержали испытания. При этом средняя глубина проникновения влаги составила не более 15 мм.

К сожалению, полученные результаты не удается сравнить с данными других исследователей ввиду их отсутствия.

Как показали экспериментальные исследования коррозионной стойкости образцов спецбетона из смеси марки В30П5W16 в течение 12 мес выдерживания их в рассоле рудника «Удачный», повреждений бетона образцов не обнаружено. Наиболее близки для условий рудника «Удачный» результаты исследований по изучению воздействий на бетон хлоридно-натриевых и магниезально-хлоридных сред, проведенных в НИИЖБ [13–15]. В связи с этим расчет глубины перерождения спецбетона был выполнен Н. К. Розенталем с использованием экспериментальных данных, полученных им ранее, и с учетом возможности развития коррозии по диффузионному механизму. Прогнозное значение глубины коррозии составило 1 см, что ниже максимальной глубины перерождения бетона, допустимой из условий безаварийности сооружения (5 см). Однако следует отметить, что данный прогноз сделан на основании воздействия безнапорных подземных вод и отсутствия протечки воды через бетон. Например, не учитывается

наличие фильтрующих швов бетонирования, которое часто встречается на практике.

Лабораторией коррозии НИИЖБ (Н. К. Розенталь [1]) также было выполнено определение диффузионной проницаемости подобранного состава спецбетона марки В30W16, результаты которого указывают, что для обеспечения долговечности бетона шахтных стволов марка бетона по водонепроницаемости должна быть не менее W16.

На основании проведенных исследований были разработаны рекомендации по защите от коррозии бетона шахтных стволов подземного рудника «Удачный». При этом большое внимание уделено организации мероприятий по обеспечению заданных свойств бетона в конструкции и дополнительной гидроизоляции рабочих стыков бетонирования.

### Заключение

Спецбетон подобранного состава марки В30W16 с маркой бетонной смеси по удобоукладываемости П5 может обеспечить стойкость бетона стволов на весь срок эксплуатации, однако не исключаются диффузионный перенос агрессивных жидких сред через тело ствола, а также недостаточная плотность бетона в стыках смежных заходок бетонирования.

Данный состав бетона был предложен для возведения постоянной крепи в следующих зонах:

- верхнекембрийского водоносного горизонта (отм. –177 ... –609 м) с устройством гидроизоляции путем нанесения мастики на минеральном или органическом вяжущем на поверхности ступенчатого стыка перед бетонированием последующей заходки;
- среднекембрийского водоносного горизонта (отм. –609 ... –1070 м) с обязательной гидроизоляцией швов (стыков) путем нанесения мастики на полимерной основе на поверхность ступенчатого стыка затвердевшего бетона перед бетонированием последующей заходки или устройством шва с использованием гидроизоляционных шпонок разбухающих шнуров.

Данный состав спецбетона реализован при возведении шахтных стволов подземного рудника «Удачный».

## Библиографический список

1. Москвин В. М., Иванов Ф. М., Алексеев С. Н. и др. Коррозия бетона и железобетона. Методы их защиты. — М.: Стройиздат, 1980. — 536 с.
2. Кинд В. В. Коррозия цемента и бетонов в гидротехнических сооружениях. — М.—Л.: Госэнергоиздат, 1955. — 320 с.
3. Матвеева О. И., Федорова Г. Д., Винокуров А. Т., Крамсков Н. П. Модифицированные бетоны для подземного строительства // Строительные материалы. 2006. № 10. С. 18–19.
4. Розенталь Н. К., Тягунова О. А. Коррозия бетона в магниевых средах // Мат-лы 25 междунар. конф. по бетону и железобетону «Кавказ-92», 19–26 апреля 1992. — М.: Научно-техническое бюро «БЕТКОМ», 1999. С. 160–161.
5. Mokhtar M. A., Swamy R. N. Influence of Salt Weathering on the Properties of Concrete // Arabian Journal for Science and Engineering. 2008. Vol. 33. No. 1b. P. 501.
6. Al-Amoudi O. S. B. Attack on Plain and Blended Cements Exposed to Aggressive Sulfate Environments // Cement & Concrete Composites. Sulfate Attack and Thaumassite Formation. 2002. Vol. 24. No. 3-4. P. 305–316.
7. Tang S. W., Yao Y., Andrade C. Recent durability studies on concrete structure // Cement and Concrete Research. 2015. Vol. 78. P. 143–154.
8. Farnama Y., Dickb S., Wiese A., Davisc J., Bentzd D., Weisse J. The influence of calcium chloride deicing salt on phase changes and damage development in cementitious materials // Cement and Concrete. 2015. Vol. 64. P. 1–15.
9. Cullu M., 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.
10. Elouzo S. N. Mathematical modeling and simulation to predict the deformation rate from magnesium in concrete pavements // International Journal of Materials, Methods and Technologies. 2013. Vol. 1. No. 11. P. 196–206. Available at: <http://ijmmt.com>
11. Розенталь Н. К. Принципы раннего коррозионного повреждения конструкций // Проблемы долговечности зданий и сооружений в современном строительстве: сб. докл. междунар. конф. — СПб.: РИФ «Роза мира», 2007. С. 105–109.
12. Анваров Б. Р., Латыпова Т. В., Латыпов В. М., Крамар Л. Я. К вопросу о механизме повреждения железобетона при коррозии выщелачиванием // Изв. вузов. Строительство. 2015. № 2(674). С. 12–26
13. Алексеев С. Н., Иванов Ф. М. и др. Долговечность железобетона в агрессивных средах. — М.: Стройиздат, 1990. — 320 с.
14. Розенталь Н. К., Усачёв И. Н., Галашов А. В. Долговечность железобетонных конструкций Кислогубской ПЭС в Арктике // Технологии бетонов. 2014. № 1. С. 22–26
15. Розенталь Н. К. Коррозия и защита бетонных и железобетонных конструкций сооружений очистки сточных вод // Бетон и железобетон. Оборудование, материалы, технология. 2011. № 1. С. 96–103. **ИЖ**

«GORNYI ZHURNAL»/«MINING JOURNAL», 2016, № 9, pp. 75–80

DOI: [dx.doi.org/10.17580/gzh.2016.09.15](https://doi.org/10.17580/gzh.2016.09.15)

## Special-type concrete for mine shafts under impact of highly mineralized and high-head groundwater in the zone of permafrost

## Information about authors

O. I. Matveeva<sup>1</sup>, General Director, Candidate of Engineering SciencesG. D. Fedorova<sup>2</sup>, Associate Professor, Candidate of Engineering Sciences, [fedorovagd@mail.ru](mailto:fedorovagd@mail.ru)I. V. Zyryanov<sup>3</sup>, Deputy Director of Scientific Work, Doctor of Engineering SciencesD. V. Lobanov<sup>3</sup>, Head of Laboratory<sup>1</sup> YakutPNIIS, Yakutsk, Russia<sup>2</sup> Ammosov North-Eastern Federal University, Yakutsk, Russia<sup>3</sup> Yakutniproalmaz Institute, ALROSA, Mirny, Russia

## Abstract

The authors describe features of mine shaft construction and operation in Udachny Mine. It is found that the mine shaft lining concrete and the reinforced concrete of couplings will operate under aggressive attack of high-head groundwater and heavy impregnation. Salinity of groundwater reaches 400 g/l. Chemical composition of underground brines shows prevalence of chloride-magnesium salinization. Magnesium salt content in terms of ion Mg<sup>2+</sup> in the brines varies from 4500 to 14250 mg/l. It is assumed that the brine is strongly aggressive relative to concrete with the water repellence grade W8 made of Portland cement and sulfate-resistant Portland cement. It is required to develop a special-type concrete with the pre-set performance B30W16.

A probable mechanism of concrete corrosion under impact of underground brines and the effect of hydrostatic pressure on corrosion of concrete in mine shafts are studied. It is concluded that diffusion mechanism of corrosion of mine shaft lining is possible with the use of dense concrete (not lower than W16).

The corrosion stability test procedure and results are presented for special-type concrete tested under hydrostatic head of 1.6 and 2.5 MPa. It is shown that the special-type concrete grade B30W17 with the placeability rank P5 can ensure stability of lining in mine shafts for their entire life, although there is a chance for diffusion transfer of aggressive liquid flows across the shafts and insufficient density of concrete joints of adjacent concreted couplings.

Based on the research, recommendations are elaborated for corrosion proof of concrete in the shafts of Udachny Mine. Of the highest concern are the efforts toward ensuring the pre-set properties of concrete and additional waterproofing of concreting joints.

The tested mix of the special-type concrete has been used in shafting in Udachny Mine.

**Keywords:** permafrost zone, brine, hydrostatic head, mine shaft, concrete, corrosion.

## References

1. Moskvina V. M., Ivanov F. M., Alekseev S. N. et al. Corrosion of concrete and reinforced concrete. Methods of their protection. Moscow: Stroyizdat, 1980. 536 p.
2. Kind V. V. Corrosion of cements and concretes in hydrotechnical facilities. Moscow – Leningrad: Gosenergoizdat, 1955. 320 p.
3. Matveeva O. I., Fedorova G. D., Vinokurov A. T., Kramskov N. P. The modified concrete for underground construction. *Stroitelnye materialy*. 2006. No. 10. pp. 18–19.
4. Rozental N. K., Tyagunova O. A. Corrosion of concrete in magnesia environment. *Caucasus-92: materials of the 25-th international concrete and reinforced concrete conference, April 19–26, 1992*. Moscow: Scientific-technical bureau «BETEKOM», 1999. pp. 160–161.
5. Mokhtar M. A., Swamy R. N. Influence of Salt Weathering on the Properties of Concrete. *Arabian Journal for Science and Engineering*. 2008. Vol. 33, No. 1b. p. 501.
6. Al-Amoudi, O. S. B. Attack on Plain and Blended Cements Exposed to Aggressive Sulfate Environments. *Cement & Concrete Composites. Sulfate Attack and Thaumassite Formation*. 2002. Vol. 24, No. 3-4. pp. 305–316.
7. Tang S. W., Yao Y., Andrade C. Recent durability studies on concrete structure. *Cement and Concrete Research*. 2015. Vol. 78. pp. 143–154.
8. Farnama Y., Dickb S., Wiese A., Davisc J., Bentzd D., Weisse J. The influence of calcium chloride deicing salt on phase changes and damage development in cementitious materials. *Cement and Concrete*. 2015. Vol. 64. pp. 1–15.
9. Cullu M., 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. pp. 53–66.
10. Elouzo S. N. Mathematical modeling and simulation to predict the deformation rate from magnesium in concrete pavements. *International Journal of Materials, Methods and Technologies*. 2013. Vol. 1, No. 11. pp. 196–206.
11. Rozental N. K. Principles of early corrosion damage of the constructions. *Problems of longevity of buildings and constructions in modern construction: collection of reports of international conference*. Saint Petersburg: «Rozamira», 2007. pp. 105–109.
12. Anvarov B. R., Latiyova T. V., Latiyov V. M., Kramar L. Ya. To the question about the mechanism of damage of reinforced concrete with corrosion of the first kind. *Izvestiya vuzov. Stroitelstvo*. 2015. No. 2(674). pp. 12–26
13. Alekseev S. N., Ivanov F. M. et al. Reinforced concrete longevity in aggressive environment Moscow: Stroyizdat, 1990. 320 p.
14. Rozental N. K., Usachev I. N., Galashov A. V. Longevity of reinforced concrete constructions of Kislaya Guba Tidal Power Station in Arctic. *Tekhnologii betonov*. 2014. No. 1. pp. 22–26
15. Rozental N. K. Corrosion and protection of concrete and reinforced concrete constructions of waste water purification constructions. *Beton i zhelezobeton. Oborudovanie, materialy, tekhnologiya*. 2011. No. 1. pp. 96–103.