

УДК: 544.6.018.47-03: 622.245.422.4; <https://doi.org/10.37878/2708-0080/2022-3.04>  
<https://orcid.org/0000-0003-3579-9054>  
<https://orcid.org/0000-0001-5850-5261>

## О ТРЕБОВАНИЯХ К ТАМПОНАЖНЫМ МАТЕРИАЛАМ ДЛЯ КРЕПЛЕНИЯ НАГНЕТАТЕЛЬНЫХ СКВАЖИН



**А.А. КАБДУШЕВ<sup>1</sup>**,  
PhD, зав. кафедрой  
«Нефтегазовое и горное дело»,  
[arman-kz@mail.ru](mailto:arman-kz@mail.ru)



**Ф.А. АГЗАМОВ<sup>2</sup>**,  
доктор технических наук,  
профессор,  
[faritag@yandex.ru](mailto:faritag@yandex.ru)

<sup>1</sup>ТАРАЗСКИЙ РЕГИОНАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМ. М.Х. ДУЛАТИ  
Республика Казахстан, 080014, г. Тараз, ул. Толе би, 60

<sup>2</sup>УФИМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ НЕФТЯНОЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ,  
Российская Федерация, 450062, г. Уфа, ул. Космонавтов, 1

*Анализ промыслового материала показывает, что на долю нагнетательных скважин приходится основное количество капитальных ремонтов, а количество выявленных нарушений в нагнетательных скважинах более, чем на порядок превышает аналогичные показатели по эксплуатационным колоннам. Образцы цементного камня, отобранные из нагнетательных и эксплуатационных скважин, показали, что в них камень разрушается через 4-5 лет. В статье рассмотрены механизм и кинетика процесса разрушения цементного камня под действием коррозии выщелачивания, и показаны пути повышения долговечности крепи нагнетательных скважин.*

*Процессы коррозии выщелачивания в скважинных условиях усиливаются при образовании трещин в цементном камне в результате технологических операций внутри обсадных колонн, среди которых наиболее опасными являются перфорация и углубление скважины. Для получения высокого качества крепления скважин неизбежным является регулирование основных свойств цементных растворов с помощью различных химических реагентов. При этом у тампонажных растворов наиболее часто коррекции требуют фильтрационные характеристики (водоотдача и водоотделение), сроки схватывания, прокачиваемость, реологические показатели, а также свойства получаемого камня*

*Для тампонажных материалов наиболее предпочтительным направлением повышения удароустойчивости тампонажного камня динамическим нагрузкам является дисперсное ар-*

мирование, при котором могут эффективно регулироваться важнейшие характеристики тампонажных растворов и получаемого из них цементного камня.

Проведенные исследования по влиянию базальтовой фибры и полиамидной фибры на основные физико-механические свойства получаемого камня, как прочность цементного камня, деформация цементного камня при разрушении, удельная ударная вязкость разрушения портландцементного камня, а также проницаемость цементного камня. Исследования показали положительные результаты добавления базальтовой фибры при концентрациях до 2%.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** цементный камень, выщелачивание, структура и пористость камня, продукты твердения, степень гидратации, дисперсное армирование, фибра.

## СУ АЙДАУ ҰҢҒЫМАЛАРЫН БЕКІТУГЕ АРНАЛҒАН ТАМПОНАЖДЫҚ МАТЕРИАЛДАРҒА ҚОЙЫЛАТЫН ТАЛАПТАР ЖӨНІНДЕ

**А.А. КАБДУШЕВ**<sup>1</sup>, PhD, «Мұнай газ және тау-кен ісі» кафедрасының меңгерушісі, [artan-kz@mail.ru](mailto:artan-kz@mail.ru)

**Ф.А. АГЗАМОВ**<sup>2</sup>, техника ғылымдарының докторы, профессор, [faritag@yandex.ru](mailto:faritag@yandex.ru)

<sup>1</sup>М.Х. ДУЛАТИ АТЫНДАҒЫ ТАРАЗ ӨҢІРЛІК УНИВЕРСИТЕТИ,  
Қазақстан Республикасы, 080014, Тараз қ., көш. Төле би, 60

<sup>2</sup>УФА МЕМЛЕКЕТТІК МҰНАЙ ТЕХНИКАЛЫҚ УНИВЕРСИТЕТИ,  
Ресей Федерациясы, 450062, Уфа қ., Космонавтов көшесі 1

Кәсіпшілік материалдарын талдау ұңғыманы күрделі жөндеулердің көп мөлшері айдау ұңғымаларының үлесіне тиесілі екендігін, ал айдау ұңғымаларындағы анықталған ақаулардың саны пайдалану ұңғымаларындағы ұқсас көрсеткіштермен салыстырғанда екі есе артық екендігін көрсетеді. Айдау ұңғымалары мен пайдалану ұңғымаларынан алынған цемент тасының үлгілері айдау ұңғымаларындағы тастың 4-5 жылдан кейін бұзылатындығы байқалды. Мақалада сілітілену коррозиясының әсерінен цемент тасының бұзылу процессінің механизмі мен кинетикасы қарастырылып, айдау ұңғымаларының беку сапасын жоғарылатудың жолдары көрсетілген.

Ұңғыма жағдайындағы сілітілену коррозиясының процесстері шегендеу тізбегінің ішінде орын алатын, перфорация мен ұңғыманың тереңдеуі сияқты өте қауіпті технологиялық операциялардың нәтижесінде туындайтын жарықшақтардың түзілуінен күшіе түседі. Ұңғымаларды бекітудің жоғары сапасын алу үшін әртүрлі химиялық реагенттерді қолдана отырып, цемент ерітінділерінің негізгі қасиеттерін реттеу сөзсіз. Сонымен қатар, тампонаж ерітінділерінде сұзу сипаттамалары (су беру және су бөлу), орнату уақыты, сору, реологиялық көрсеткіштер, сондай-ақ алынған тастың қасиеттері жиі түзетуді қажет етеді. Динамикалық жүктемелерге қатысты тампонаждық тастың соққыорнықтылығын жоғарылатудың жөнді бағыттары болып тампонаждық материалдар үшін тампонаждық материалдармен олардан пайда болатын цемент тасының маңызды сипаттамалары тиімді реттелетін, дисперстік арматуралау әдісі саналады.

Базальт фибрасы мен полиамидті фибраның цемент тасының беріктігі, бұзылу кезінде цемент тасының деформациясы ретінде алынған тастың негізгі физика-механикалық қасиеттеріне әсері бойынша зерттеулер жүргізілді,

Портландцемент тастың бұзылуының нақты тұтқырлығы, сондай-ақ цемент тасының өткізгіштігі. Зерттеулер 2%-ға дейінгі концентрацияда базальт фибрасын қосудың оң нәтижелерін көрсетті.

**ТҮЙІН СӨЗДЕР:** цемент тасы, сілітілену, тастың құрлымы мен кеуектілігі, қатаю өнімдері, гидратация дәрежесі, дисперстік арматуралау, фибра.

## ABOUT REQUIREMENTS TO PLUGGING MATERIALS AND TO TUBING TECHNOLOGY FOR THE CASING COLUMNS WORKING IN EXTREME CONDITIONS

A.A. KABDUSHEV<sup>1</sup>, PhD, Head of the Department of Petroleum and Mining, *arman-kz@mail.ru*  
F.A. AGZAMOV<sup>2</sup>, Doctor of Engineering Sciences, professor, *faritag@yandex.ru*

<sup>1</sup>TARAZ REGIONAL UNIVERSITY NAMED AFTER M.KH. DULATI  
60 Tole bi st. Taraz, 080014, Republic of Kazakhstan

<sup>2</sup>UFA STATE PETROLEUM TECHNOLOGICAL UNIVERSITY,  
1 Kosmonavtov Street, Ufa, 450062, Russian Federation

*The most vulnerable elements of the well lining is cement paste in injection wells and the lower parts of the intermediate and surface casings, which suggests the need for the study of additional requirements to plugging materials and lining technology of the specified lining elements. Analysis shows that the main number of workover happens for the share of injection wells, and the number of detected violations in injection wells which is more than an order of magnitude exceeds the corresponding figures for the production casing. Samples of cement stone, selected from the injection and production wells showed that in injection wells, the cement stone collapses in 4-5 years. The mechanism and kinetic process of destruction of cement stone under the influence of leaching was considered and the ways of increasing the durability of linings in injection wells were shown.*

*Leaching corrosion processes in injection wells strengthens during the formation of cracks in the cement stone as a result of technological operation inside the casing string. The most dangerous technological operations are; perforation and deepening of the well. In order to obtain high-quality well anchoring, it is inevitable to regulate the basic properties of cement mortars with the help of various chemical reagents. At the same time, the filtration characteristics (water output and water separation), setting time, pumpability, rheological parameters, as well as the properties of the resulting stone require correction most often in grouting solutions. It is shown that for plugging materials, the most preferred way to increase the resistance of grouting stone to dynamic loads is dispersed reinforcement, which can be effectively regulated by the most important characteristics of cement slurries and cement stone can be obtained from them.*

*Studies have been conducted on the influence of basalt fiber and polyamide fiber on the basic physical and mechanical properties of the resulting stone, such as the strength of cement stone, deformation of cement stone during destruction, the specific impact strength of Portland cement stone, as well as the permeability of cement stone. Studies have shown positive results of the addition of basalt fiber at concentrations up to 2%.*

**KEY WORDS:** cement stone, leaching, structure and porosity of the stone, hardening products, degree of hydration, dispersed reinforcement, fiber.

**В**ведение. Рассматривая условия работы тампонажного камня, являющегося наиболее «слабым» звеном крепи скважин в скважинах различного назначения и находящегося за различными обсадными колоннами, следует отметить, что наиболее уязвимыми являются крепь нагнетательных скважин и нижние части промежуточных колонн и кондукторов. Это предполагает необходимость дополнительных требований к тампонажным материалам и технологии крепления указанных элементов крепи [1,2].

Известно, что цементный камень уязвим к действию большинства компонентов пластовых флюидов, а также легко разрушается при динамических (ударных)

воздействиях [3,4]. В то же время, именно цементный камень, за счет высокой щелочности поровой жидкости ( $pH \geq 12,5$ ), обеспечивает коррозионную стойкость обсадной колонны, образуя на ее поверхности пленку, препятствующую проникновению агрессивных ионов к металлу [4].

Загиров М.М. [5] показал, что, например, по месторождениям Татарии большинство пластовых вод агрессивно по отношению к крепи скважины, и только наличие надежного цементного кольца удлинит срок службы скважины.

Одним из наиболее агрессивных агентов по отношению к цементному камню является пресная вода, приводящая к коррозии выщелачивания [6, 7].

На долю нагнетательных скважин приходится основное количество капитальных ремонтов, а количество выявленных нарушений в нагнетательных скважинах более чем на порядок превышает аналогичные показатели по эксплуатационным колоннам.

Результаты исследования состояния цементного камня в заколонном пространстве эксплуатационных скважин на некоторых месторождениях Башкортостана показали, что в почти половине отобранных проб заколонный материал, представлял собой вязкую пастообразную массу, которая по петрографическому составу соответствовала мергелю, содержащего 51% карбоната кальция. При этом результаты исследования материала, поднятого из нагнетательной скважины, показали, что за обсадной колонной цементный камень отсутствует или претерпел существенные изменения и не может служить защитным слоем для обсадной колонны и ограничивать межпластовые перетоки.

**Материалы и методы исследований.** При оценке состояния крепи добывающих скважин методом отбора проб цементного камня, было показано, что поднятые образцы по составу идентичны камню, получаемому из портландцемента, а процессы коррозии цементного камня в зоне продуктивных пластовдобывающих скважин практически отсутствуют, и даже через 17-25 лет цементный камень находится в удовлетворительном состоянии.

Основной причиной поражения цементного камня в нагнетательных скважинах является коррозия выщелачивания, суть которой состоит в вымывании гидроксида кальция из цементного камня, последующего растворения и гидролиза твердых продуктов твердения, сопровождающегося выносом продуктов гидролиза в окружающую среду.

Фазовый состав затвердевшего цементного камня представлен группой гидросиликатов кальция различной основности, гидроалюминатами и гидроферритами кальция, кристаллическим гидроксидом кальция и непрореагировавшей частью клинкера [6-8].

Общеизвестно, что все продукты твердения цементов сохраняют свою устойчивость только в присутствии определенного количества ионов  $OH^-$  и  $Ca^{2+}$  в растворе, т.е. в условиях щелочной среды, которая обеспечивается растворенным гидроксидом кальция. По данным [6-9] для кристаллического гидроксида кальция равновесная концентрация  $Ca(OH)_2$  составляет 1,2-1,3 г/л, при этом  $pH$  раствора равна 12,5. Для других продуктов твердения портландцемента, в зависимости от их состава и основности, равновесная концентрация гидроксида кальция может составлять 0,06-1,2 г/л.

Закачиваемая в пласты жидкость имеет рН, близкий к нейтральному или даже меньше 7, поэтому при контакте с ней цементный камень неизбежно будет разрушаться. В первую очередь будет растворяться гидроксид кальция, выделившийся при гидролизе трехкальциевого силиката. Затем будет идти гидролиз гидросиликатов и гидроалюминатов кальция, так как все эти соединения устойчивы при наличии в воде определенного количества растворенного гидроксида кальция. При этом основным компонентом, выносимым из цементного камня, является щелочь  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ , приводящий к коррозии выщелачивания.

На начальной стадии процесса коррозии его скорость будет определяться скоростью растворения и гидролиза продуктов твердения, находящихся в поверхностном слое, контактирующего с жидкостью, а также скоростью отвода продуктов гидролиза от цементного камня.

Если тампонажный камень содержит в своем составе свободный гидроксид кальция, то именно он растворится в первую очередь. По мере обеднения пограничных слоев камня свободным  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ , последний диффундирует из глубины камня по порам и капиллярам. Когда исчерпается свободный гидроксид кальция, то компенсация его убыли будет осуществляться за счет гидролиза и растворения более устойчивых фаз цементного камня. Через некоторое время после полного гидролиза граничных слоев цементного камня образуется полностью прокорродированный слой, являющийся буферной зоной между неповрежденной частью цементного камня и окружающей средой. После образования буферной зоны процесс коррозии будет включать в себя диффузный отвод веществ в окружающую среду и растворение внутренних стенок пор цементного камня, поставляющего  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  в поровую жидкость.

При потере более 10% извести (в расчете на исходный цемент) состояние цементного камня характеризуется как неустойчивое, а при удалении из него 30% извести, прочность камня не превышает 40% от первоначальной [7].

Существенное влияние на скорость коррозии оказывает характер воздействия жидкости на цементный камень. При внешнем омывании цементного камня скорость его разрушения будет намного меньше, чем при фильтрации через него, потому что скорость выноса  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  будет лимитироваться диффузией ионов  $\text{Ca}^{2+}$  из глубины цементного камня, которая на несколько порядков меньше, чем скорость гидролиза продуктов твердения. По данным Москвин В.М. [7] и Полака А.Ф., Кравцова В.М. и др. [10, 11] эффективный коэффициент диффузии щелочи  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  в цементах и бетонах может изменяться в пределах  $1,10^{-6} - 1,10^{-4} \text{ см}^2/\text{с}$ .

Если вода действует на цементный камень под напором, что как раз и характерно для нагнетательных скважин, количество растворителя (воды), поступающее внутрь цементного камня, значительно превышает количество воды, которое может проникнуть в камень при тех же условиях только вследствие диффузии. Поэтому коррозионные процессы в сооружениях, находящихся под напором, резко интенсифицируются.

На скорость коррозии выщелачивания влияет солевой состав вод. Одноименные ионы  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{OH}^-$  снижают растворимость  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ , поэтому жесткие воды менее агрессивны по отношению к цементному камню, чем мягкие. Ионы  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{Na}^+$

повышают растворимость гидроксида кальция, интенсифицируя процессы выщелачивания.

Следует учитывать, что портландцементный камень содержит достаточно большое количество непрогидратированного клинкера, который, находясь в водной среде, продолжает гидратировать. Камень будет разрушаться если деструктивные процессы будут преобладать над конструктивными, т.е. скорость выщелачивания будет выше, чем скорость гидратации.

**Результаты и обсуждение.** Рассмотрение процессов выщелачивания  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  из тампонажного камня под действием пресных вод показывает, что принципиально невозможно создать абсолютно стойкий тампонажный камень.

Кинетика процесса выщелачивания определяется несколькими факторами, а именно, скоростью гидролиза и растворения твердой фазы, реакционной емкостью цементного камня и его пористостью. Суммарно эти процессы можно описать уравнением:

$$\frac{dc}{dt} = PD_{\text{эф}} \frac{d^2C}{dx^2} - KS(C_{\infty} - C) \quad (1)$$

где:  $D_{\text{эф}}$  – эффективный коэффициент диффузии;  $P$  – пористость цементного камня;  $S$  – суммарная поверхность пор;  $K$  – константа скорости растворения;  $C_{\infty}$  – растворимость продуктов твердения.

Анализ уравнения показывает, что скорость коррозионного процесса определяется не только фазовым составом продуктов твердения, выраженным через параметры  $K$  и  $C_{\infty}$ , но и структурными характеристиками камня ( $D_{\text{эф}}$ ,  $P$ ,  $S$ ).

Если первые два фактора для большинства цементов мало отличаются друг от друга, то чем больше пористость цементного камня, тем больше опасность коррозионного разрушения камня.

Применительно к креплению скважин это означает, что в нагнетательных скважинах выше и ниже интервала перфорации необходимо иметь крепь (цементный камень) с минимальной пористостью, исключающей образование фильтрационных каналов. Одним из наиболее эффективных мероприятий при этом является снижение водоцементного отношения тампонажных растворов, однако при этом необходимо учитывать потерю их подвижности [12].

В этой связи, наверное, необходимо пересмотреть подходы к креплению нагнетательных скважин, с тем, чтобы еще на стадии проектирования скважин заложить более совершенные технологии цементирования, например, установку заколонных пакеров выше и ниже интервала закачки воды и применение тампонажных материалов, образующих лучшую структуру затвердевшего камня и др.

Кроме того, необходимо полностью исключить вероятность даже малейшего перетока закачиваемой воды через сам цементный камень или его контактные зоны, поскольку каждая капля протекающей воды будет уносить из камня гидроксид кальция, и увеличивать размеры каналов.

Рассматривая структуру получаемого цементного камня [13], можно увидеть, что он имеет большое количество капиллярных пор, способных пропускать через себя пластовые флюиды.

В общем случае структура цементного камня будет определяться водоцементным отношением и степенью гидратации цемента. Поэтому воздействие на эти два фактора и лежит в основе управления структурой цементного камня [8].

Вероятность перетока воды в нагнетательных скважинах возрастает при образовании трещин в цементном камне в результате технологических операций внутри обсадных колонн [14].

Выполненный в работе [15] расчет напряжений, возникающих в цементном камне при различных операциях, показал, что во многих случаях (перфорация, ГРП, опрессовка колонн, углубление скважины и др.) они превышают предел прочности цементного камня на растяжение. В то же время, на удалении нескольких метров от зоны перфорации деформация цементного кольца может составлять 0,3 – 0,7 мм, что создает возможность сохранения целостности крепи скважины при соответствующей модификации цементов.

Для тампонажных материалов наиболее предпочтительным направлением повышения сопротивляемости тампонажного камня динамическим нагрузкам является дисперсное армирование [16,17], при котором волокна армирующей добавки (фибры), равномерно распределяясь в матрице и имея различное направление, могут воспринимать усилия в любом направлении, препятствуя образованию и развитию трещин в композиции. Кроме того, волокна фибры тормозят движение микродефектов, а после образования трещины в матрице волокна препятствуют ее развитию и росту за счет блокировки возникших трещин.

Поэтому применение фиброармированных тампонажных цементов, впервые предложенное во ВНИИКрнефть [18], можно рассматривать, как один из наиболее эффективных способов повышения герметичности крепи скважин, особенно для интервалов перфорации.

Данный технологический прием также очень важен для крепления промежуточных колонн и кондукторов, цементный камень за которыми разрушается при дальнейшем углублении скважины [19]. По данным [20], сила удара сжатой части бурильного инструмента по внутренней стенке обсадных колонн может достигать от сотен килограмм до нескольких тонн. Естественно, что цементный камень, находящийся в затрубном пространстве, разрушается, приводя к целому ряду осложнений.

Проведенные нами исследования показали, что фиброармирование положительно сказывается на многих свойствах получаемого цементного камня [21].

Представленные в *таблице 1* данные показывают, что в возрасте двух недель при всех видах нагружения, влияние фибры на прочность камня незначительно. При меньших сроках твердения роль фибры наиболее заметна при испытании прочности камня на растяжение, в меньшей степени - для прочности на изгиб и сжатие.

Увеличение длины волокон фибры повышает прочность камня, особенно значительно на растяжение и изгиб (*ы*).

Армирование цементов повышает деформацию цементного камня до его разрушения (*таблица 3*), причем с увеличением концентрации фибры деформационная способность камня возрастает, хотя с повышением сроков твердения деформация уменьшается из-за упрочнения цементной матрицы.

**Таблица 1 – Влияние фибры на прочность цементного камня**

% фибры l=6 мм	Предел прочности на сжатие, МПа в возрасте, сут.			Предел прочности на изгиб, МПа в возрасте, сут.			Предел прочности на растяжение, МПа в возрасте, сут.		
	2	7	14	2	7	14	2	7	14
0	24,5	33,8	37,5	4,04	5,67	6,68	0,65	0,91	1,27
0,1	24,6	32,9	38,4	4,32	5,83	7,00	0,82	0,93	1,35
0,5	25,7	36,9	39,6	5,31	6,17	7,43	1,06	1,24	1,42
1,0	26,7	37,7	38,9	4,94	6,31	7,71	1,20	1,35	1,44
2,0	27,4	37,7	40,8	5,65	6,41	7,89	1,29	1,48	1,52

**Таблица 2 – Влияние длины волокон фибры на предел прочности цементного камня**

Длина волокон, мм	Предел прочности, МПа в возрасте, сут.								
	на сжатие			на изгиб			на растяжение		
	2	7	14	2	7	14	2	7	14
3 мм	30,51	37,4	44,37	4,3	5,1	6,1	1,1	1,3	1,4
6 мм	31,54	38,07	45,56	5,7	7,1	8,2	1,4	1,6	1,7

**Таблица 3- Влияние фибры на деформацию цементного камня при разрушении**

Концентрация фибры	Деформация, мм при разрушении на сжатие	
	Продольная	Поперечная
Возраст 2 сут.		
0	0,81	0,24
0,5	1,15	0,38
2,0	1,39	0,49
Возраст 7 сут.		
0	0,57	0,21
0,5	0,84	0,26
2,0	1,21	0,35
Возраст 14 сут.		
0	0,49	0,17
0,5	0,60	0,25
2,0	1,03	0,30

Снижение водоцементного отношения, продолжительность твердения (до трех суток), ввод различных видов фибры положительно сказывается на удароустойчивости цементного камня. Облегчающие добавки (глина и диатомит) снижают удароустойчивость. Влияние фибры на удароустойчивость (удельную ударную вязкость разрушения) цементного камня показано в *таблице 4*.



Таблица 4 – Влияние фибры на удельную ударную вязкость разрушения портландцементного камня

Тип фибры, добавляемой в портландцемент	Удельная ударная вязкость разрушения, дж/см <sup>3</sup>								
	В/Ц = 0,4			В/Ц = 0,5			В/Ц = 0,6		
	Концентрация фибры, %								
	0,1	0,2	0,5	0,1	0,2	0,5	0,1	0,2	0,5
Время твердения 7 сут.									
Базальтовая	0,11	0,14	0,18	0,09	0,12	0,15	0,07	0,09	0,13
Полиамидная	0,12	0,17	0,20	0,09	0,11	0,13	0,08	0,10	0,12
Базальт.+полиамид.	0,12	0,14	0,16	0,09	0,12	0,15	0,07	0,10	0,13
Портландцемент	0,06			0,05			0,04		
Время твердения 28 сут.									
Базальтовая	0,14	0,16	0,18	0,12	0,15	0,17	0,09	0,12	0,14
Полиамидная	0,13	0,16	0,20	0,10	0,13	0,15	0,08	0,11	0,14
Базальт.+полиамид.	0,11	0,14	0,16	0,08	0,12	0,15	0,07	0,11	0,14
Портландцемент	0,08			0,06			0,04		

Из таблицы 4 видно, что фибра в 2-4 раза повышает рассматриваемый показатель по сравнению с таким же показателем для неармированного портландцемента.

Проницаемость цементного камня, полученного из фиброармированных цементов, снижается, начиная с самых малых концентраций, хотя при концентрациях до 0,01% влияние фибры на проницаемость цементного камня не столь заметно, как при больших концентрациях (таблица 5).

Таблица 5 – Влияние фибры на проницаемость цементного камня

Время твердения, сут.	Проницаемость, мД при содержании фибры в цементе, %				
	0	0,01	0,05	0,1	0,5
2	190,5	152,2	131,2	110,1	77,1
7	11,5	9,6	6,7	4,7	3,3
15	4,4	4,2	4,2	3,5	2,9

**Выводы.**

1. Наиболее опасным процессом для крепи нагнетательных скважин является коррозия выщелачивания, обусловленная вымыванием гидроксида кальция из цементного камня и последующего его разрушения. Промысловые эксперименты показали, что через несколько лет цементный камень в интервале нагнетания жидкости полностью разрушается.

2. Скорость коррозионного процесса определяется фазовым составом продуктов твердения, выраженным через параметры, и структурными характеристиками

получаемого камня, управление которыми существенно может повысить долговечность крепи.

3. Специфика работы крепи нагнетательных скважин предопределяет повышенные требования к составу и свойствам тампонажных цементов, растворов и получаемого камня, свидетельствующие о том, что в нагнетательных скважинах выше и ниже интервала перфорации необходимо иметь цементный камень с минимальной пористостью, исключающей образование фильтрационных каналов.

4. Применение технологической оснастки, повышающей герметичность заколонного пространства, в частности, соответствующих пакеров, является эффективным способом повышения герметичности крепи нагнетательных скважин.

5. Низкая сопротивляемость тампонажного камня растягивающим напряжениям, плохие деформационные свойства и низкая удароустойчивость, характерные для большинства традиционных тампонажных материалов, являются одной из основных причин нарушения герметичности крепи скважин при операциях, проводимых внутри зацементированных обсадных колонн, резко повышая вероятность перетока воды в нагнетательных скважинах по образовавшимся трещинам в цементном камне.

6. Важнейшие характеристики тампонажных растворов и получаемого из них цементного камня могут эффективно регулироваться применением армирующих добавок (фибры), позволяющих реализовать в цементном камне принцип композиции, когда модифицирующая добавка компенсирует недостатки цементной матрицы.

7. Фибра изменяет основные физико-механические свойства получаемого камня, в частности:

- при концентрациях до 2% базальтовой фибры прочность камня в зависимости от сроков твердения возрастает: при сжатии на 8-12%, при изгибе на 15-35%, при растяжении на 20-100%;

- в зависимости от сроков твердения на 50-70% повышается продольная и на 40-50% поперечная деформация при разрушении на сжатие;

- на 30-75% повышаются абсолютные значения удельной ударной вязкости разрушения (в зависимости от В/Ц и времени твердения);

- снижается газопроницаемость цементного камня. 

*Статья подготовлена в рамках проекта «Разработка тампонажных растворов с дифференциальными свойствами» ИРН АР09058636. Источником финансирования является Министерство образования и науки Республики Казахстан.*

## ЛИТЕРАТУРА

- 1 Агзамов Ф.А., Токунова Э.Ф., Комлева С.Ф., Кабдушев А.А. Применение электролитных реагентов для регулирования свойств тампонажных растворов // Нефтяная провинция. – 2021. – №4. – Ч. 2. – С. 468-491. DOI <https://doi.org/10.25689/NP.2021.4.468-491> [Agzamov F.A., Tokunova E.F., Komleva S.F., Kabdushev A.A. Primenenie polielektrolitnyh reagentov dlya regulirovaniya svojstv tamponazhnyh rastvorov // Neftyanaya provinciya. – 2021. – №4. – CH. 2. – S. 468-491. DOI <https://doi.org/10.25689/NP.2021.4.468-491>]

- 2 Кабдушев А.А., Агзамов Ф.А., Исмаилов А.А., Бекмуратов М.М. Применение поли-электролитов для устранения осложнений, связанных с фильтрацией цементных растворов // Нефть и газ. – 2018. – №3. – С. 74-88. [Kabdushev A.A., Agzamov F.A., Ismailov A.A., Bekmuratov M.M. Primenenie polielektrolitov dlya ustraneniya oslozhnenij, svyazannyh s fil'traciej cementnyh rastvorov // Neft' i gaz. – 2018. – №3. – S. 74-88.]
- 3 Овчинников В.П., Аксенова Н.А., Агзамов Ф.А., Нагарев О.В. Закачивание скважин. – Тюмень, 2011. 452 с. [Ovchinnikov V.P., Aksenova N.A., Agzamov F.A., Nagarev O.V. Zakachivanie skvazhin. – Tyumen', 2011. 452 s.]
- 4 Агзамов Ф.А., Измухамбетов Б.С. Долговечность тампонажного камня в коррозионно-активных средах. – С-Пб.: Недра, 2005. – С. 318. [Agzamov F.A., Izmuhambetov B.S. Dolgovechnost' tamponazhnogo kamnya v korrozionnoaktivnyh sredah. – S-Pb.: Nedra, 2005. – S. 318.]
- 5 Катодная защита обсадных колонн нефтяных скважин. – Казань: КНИТУ, 2018. – 200 с. [Katodnaya zashchita obsadnyh kolonn neftyanyh skvazhin. – Kazan': KNITU, 2018. – 200 s.]
- 6 Agzamov F. A., Kabdushev A.A., Komleva S.F., Manapbayev B. Kozhageldy B. Magnesia corrosion of grouting materials // Periodico Tcheco Quimicha. – 2020. – № 17(34). – P. 951-961.
- 7 Зварыгин В.И. Тампонажные смеси. – Красноярск: Сиб. федер. ун-т, 2014. – 216 с. [Zvarygin V.I. Tamponazhnye smesi. – Krasnoyarsk: Sib. feder. un-t, 2014. – 216 s.]
- 8 Агзамов Ф.А., Измухамбетов Б.С., Токунова Э.Ф. Химия тампонажных и промывочных растворов. – С-Пб.: ООО «Недра», 2011. – С. 268. [Agzamov F.A., Izmuhambetov B.S., Tokunova E.F. Himiya tamponazhnyh i promyvochnykh rastvorov. – S-Pb.: ООО «Nedra», 2011. – S. 268.]
- 9 Шмитько Е.И. и др. Химия цемента и вяжущих веществ. – С-Пб.: Проспект Науки, 2017. – 208 с. [SHmit'ko E.I. i dr. Himiya cementa i vyazhushchih veshchestv. – S-Pb.: Prospekt Nauki, 2017. – 208 s.]
- 10 Рахимбаев Ш.М., Толыпина Н.М. Повышение коррозионной стойкости бетонов путем рационального выбора вяжущего и заполнителей. – Белгород: БГТУ, 2015. – 321 с. [Rahimbaev SH.M., Tolykina N.M. Povyshenie korrozionnoj stojkosti betonov putem racional'nogo vybora vyazhushchego i zapolnitelej. – Belgorod: BG TU, 2015. – 321 s.]
- 11 Кравцов В.М., Кузнецов Ю.С., Мавлютов М.Р., Агзамов Ф.А. Крепление высокотемпературных скважин в коррозионноактивных средах. – М.: Недра, 1987. – С. 190. [Kravcov V.M., Kuznecov YU.S., Mavlyutov M.R., Agzamov F.A. Kreplenie vysokotemperaturnykh skvazhin v korrozionnoaktivnyh sredah. – M.: Nedra, 1987. – S. 190.]
- 12 Agzamov F., Ismailov A., Kabdushev A.A., Betzhanova A., Karabaeva A. Polyelectrolytes Efficiency in Grout Property Regulation // Key Engineering Materials. – 2018. – Vol. 771. – P. 9-23.
- 13 Умралиев Б.Т., Шайхымежденов Ж.Г., Атчибаев Н.А., Сейтов А.К. Пути улучшения качества цементирования скважин на месторождении Узень // Нефть и газ. –2016. – №5. – С. 35-44. [Umraliev B.T., SHajhymezhdenov ZH.G., Atchibaev N.A., Sejtov A.K. Puti uluchsheniya kachestva cementirovaniya skvazhin na mestorozhdenii Uzen' // Neft' i gaz. –2016. – №5. – S. 35-44.]
- 14 Сафиуллин И. Комлева С. Повышение удароустойчивости цементного камня к динамическим нагрузкам методом фиброармирования тампонажных материалов. ФГБОУ ВПО «Уфимский государственный нефтяной технический университет» // Нефтяная провинция. – 2016. – №1. – С. 73-82. [Safiullin I. Komleva S. Povyshenie udaroustojchivosti cementnogo kamnya k dinamicheskim nagruzkam metodom fibroarmirovaniya tamponazhnykh materialov. FGBOU VPO «Ufimskij gosudarstvennyj neftyanoj tekhnicheskij universitet» // Neftyanaya provinciya. – 2016. – №1. – S. 73-82.]

- 15 Агзамов Ф.А., Самсыкин А.В., Губайдуллин И.М. и др. Моделирование динамических воздействий на крепь скважины на основе метода конечных элементов // Нефтегазовое дело. – 2011. – № 5. – С 18-24. [Agzamov F.A., Samsykin A.V., Gubajdullin I.M. i dr. Modelirovanie dinamicheskikh vozdeystvij na krep' skvazhiny na osnove metoda konechnykh elementov // Neftegazovoe delo. – 2011. – № 5. – S 18-24.]
- 16 Рабинович Ф.Н. О некоторых особенностях работы композитов на основе дисперсно-армированных бетонов // Бетон и железобетон. – 1998. – № 2. – С. 19-23. [Rabinovich F.N. O nekotorykh osobennostyakh raboty kompozitov na osnove dispersno-armirovannykh betonov // Beton i zhelezobeton. – 1998. – № 2. – S. 19-23]
- 17 Ишбаев Г.Г., Дильмиев М.Р., Ишбаев Р.Р., Латыпов Т.Р. Разработка тампонажных материалов повышенной ударной прочности // Бурение и Нефть. – 2015. – № 9. – С. 38. [Ishbaev G.G., Dil'miev M.R., Ishbaev R.R., Latypov T.R. Razrabotka tamponazhnykh materialov povyshennoj udarnoj prochnosti // Burenie i Neft'. – 2015. – № 9. – S. 38.]
- 18 Бекбаев А.А., Агзамов Ф.А., Хафизов А.Р., Лягов А.В. Исследование армированных облегченных тампонажных материалов // Нанотехнологии в строительстве. – 2017. – Т. 9, №4. – С. 131-148. [Bekbaev A.A., Agzamov F.A., Hafizov A.R., Lyagov A.V. Issledovanie armirovannykh oblegchennykh tamponazhnykh materialov // Nanotekhnologii v stroitel'stve. – 2017. – T. 9, №4. – S. 131-148.]
- 19 Мелехин А.А., Крысин Н.И., Третьяков Е.О. Анализ факторов, влияющих на долговечность цементного камня за обсадной колонной // Нефтепромысловое дело. – 2013. – №9. – С. 77-82. [Melekhin A.A., Krysin N.I., Tret'yakov E.O. Analiz faktorov, vliyayushchih na dolgovechnost' cementnogo kamnya za obsadnoj kolonnoj // Neftepromyslovoe delo. – 2013. – №9. – S. 77-82.]
- 20 Мамедов А.А. Предотвращение нарушений обсадных колонн. – М.: Недра, 1990. – С. 240. [Mamedov A.A. Predotvrashchenie narushenij obsadnykh kolonn. – M.: Nedra, 1990. – S. 240.]
- 21 Агзамов Ф.А., Тихонов М.А., Каримов Н.Х. Влияние фиброармирования на свойства тампонажных материалов // Территория Нефтегаз. – 2013. – № 5. – С. 26-31. [Agzamov F.A., Tihonov M.A., Karimov N.H. Vliyanie fibroarmirovaniya na svojstva tamponazhnykh materialov // Territoriya Neftegaz. – 2013. – № 5. – S. 26-31.]