

УДК 620.1; 691.5

## ИССЛЕДОВАНИЕ ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ВОДЫ ЗАТВОРЕНИЯ ПРИ ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКОЙ АКТИВАЦИИ И ВЛИЯНИЕ НА ПРОЧНОСТНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ БЕТОНА

© 2009 Д.С. Рыжаков<sup>1,2</sup>, А.Н. Гульков<sup>1,2</sup>, В.Т. Гуляев<sup>3</sup>, А.В. Козин<sup>3</sup>, К.С. Голохваст<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Институт нефти и газа Дальневосточного государственного  
технического университета  
<sup>2</sup> ЗАО ДВНИПИ-нефтегаз  
<sup>3</sup> Строительный институт Дальневосточного государственного  
технического университета

Поступила в редакцию 17.11.2009

В данной статье рассматривается возможность применения процесса электрохимической активации для улучшения прочностных характеристик строительных материалов. Проведены исследования режима работы проточного электролизера для получения электрохимически активированных растворов с необходимыми физико-химическими характеристиками. Показано, что католиз, получаемый из раствора хлорида натрия, увеличивает прочность бетона с нагрузкой на изгиб на 12%.

Ключевые слова: *электрохимическая активация, католиз, строительные смеси, проточный электролизер диафрагменного типа*

Использование материалов на основе цементных вяжущих средств имеет огромное значение в строительной промышленности и очевидно, что для повышения их эксплуатационных характеристик необходимо внедрение прогрессивных технологий. Развитие технологии строительных растворов идёт не только по пути изучения свойств и возможностей эффективного использования цемента и заполнителей, но и исследование свойств воды затворения, поскольку вода принимает непосредственное участие в формировании структуры цементного камня. В настоящее время значительное внимание уделяется исходному состоянию жидкости затворения, которая во многом определяет технологические и эксплуатационные свойства полученного материала [13]. Существующие методы воздействия на физико-химические свойства воды затворения, способствуют улучшению физико-механических характеристик цементных систем [3, 4, 6]. На сегодняшний день очень активно ведутся разработки и внедрения в производство различных методов воздействия на

воду затворения для изменения её свойств. Такие виды воздействия можно условно разделить на несколько групп: физическое модифицирование (безреагентное), химическое модифицирование (реагентное) и их сочетание (комбинированное воздействие) [10]. Химическое и физическое модифицирование воды влияет на параметры цементных систем в момент формирования строительных растворов. При этом вода обладает высокой активностью вследствие изменения внутренней энергии, меняется величина pH, окислительно-восстановительный потенциал, удельная электропроводность и другие параметры. Это даёт возможность управлять процессами, протекающими в цементных системах [6].

Физическое модифицирование воды затворения позволяет управлять процессом формирования структуры цементных растворов, способствует улучшению их различных характеристик, не требует значительных изменений технологического процесса приготовления и обеспечивает значительное снижение расхода цемента [2, 11]. К физическому модифицированию или активации воды относят её магнитную обработку, когда поток воды движется в магнитном поле. Так, например, в работах [3, 4], посвящённых магнитной обработке воды, показано увеличение прочности, повышения удобоукладываемости строительных растворов полученных с применением омагниченной воды. При этом процессы твердения характеризуются интенсивной

*Рыжаков Денис Сергеевич, аспирант. E-mail: denis.r@mail.ru*

*Гульков Александр Нефедович, доктор технических наук, профессор, директор. E-mail: alexdvgtu@mail.ru*

*Гуляев Владимир Трофимович, кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой строительных конструкций и материалов*

*Козин Андрей Владимирович, аспирант*

*Голохваст Кирилл Сергеевич, кандидат биологических наук, заместитель директора. E-mail: drooryu@mail.ru*

гидратацией цемента и образованием мелких кристаллов вследствие этого уменьшение пористости, повышение плотности и морозостойкости строительных растворов.

Также научно обоснована и экспериментально подтверждена возможность получения строительных растворов с улучшенными характеристиками путем воздействия на воду затворения низкоэнергетического среднечастотного ультразвукового поля вблизи порога кавитации [6]. Понятие «электрохимическая активация» впервые появилось в публикации в 1974 г., данным направлением занималась группа исследователей работавших в области газовой промышленности [9, 12]. Технология электрохимической активации воды затворения является эффективным способом воздействия на физико-химические и механические свойства цементных систем. Использование электрохимически активированной воды в приготовлении строительных растворов встречается неоднократно, отмечено ускорение схватывания и повышение прочности строительных смесей [1, 8].

#### Методика и результаты исследования.

Нами был проведён ряд экспериментов с целью изучения физико-химических характеристик электрохимически активированного водного

раствора хлорида натрия – католит, при этом концентрация раствора идущего на активацию составляла 0,1, 0,2 и 0,3 г/л. В качестве проточного диафрагменного электрохимического реактора использовали установку ИЗУМРУД-КФТО (НПП Изумруд, Россия). С помощью пневматического нагнетателя обеспечивали подачу раствора на установку ИЗУМРУД-КФТО, подключённую к электросети и работающую в режиме получения «католит-анолит». Полученный раствор католита немедленно анализировался по ряду показателей: концентрация ионов водорода (рН), окислительно-восстановительный потенциал (ОВП), температура раствора, удельная электропроводность (УЭП), общая минерализация. Показатель рН и температуру определяли с помощью рН-метра/вольтметра МАРК-901 (ООО «Взор», Россия) (предел допускаемой основной абсолютной погрешности  $\pm 0,1$ ) удельную электропроводность и минерализацию кондуктометром ЭКСПЕРТ-002 (ООО «ЭКОНИКС-ЭКСПЕРТ», Россия). В результате было проведено не менее 8 экспериментов для растворов с исходными концентрациями 0,1, 0,2, 0,3 г/л, измерены физико-химические характеристики и из полученных результатов были найдены средние значения (табл. 1).

**Таблица 1.** Средние значения характеристик католита и раствора хлорида натрия при различных концентрациях (0,1, 0,2, 0,3 г/л)

| Конц. исх. раствора (г/л) | Объёмная скорость католита (мл/мин) | рН<br>вх./вых. | ОВП (мВ)<br>вх./вых. | Т (°С)<br>вх./вых. | УЭП<br>(мкСм/см)<br>вх./вых. | Мин-ция<br>(г/л) вх./вых. |
|---------------------------|-------------------------------------|----------------|----------------------|--------------------|------------------------------|---------------------------|
| 0,100                     | 485±35                              | 5,42±0,23      | 345±87               | 24,0±2,3           | 211±19                       | 0,106±0,005               |
|                           |                                     | 10,29±0,27     | -271±34              | 24,6±1,7           | 302±38                       | 0,151±0,024               |
| 0,200                     | 391±75                              | 5,85±0,16      | 326±37               | 23,8±0,1           | 399±14                       | 0,201±0,008               |
|                           |                                     | 10,62±0,11     | -306±35              | 25,2±0,6           | 581±51                       | 0,290±0,024               |
| 0,300                     | 369±56                              | 6,80±1         | 242±88               | 20,3±1,6           | 560±30                       | 0,317±0,015               |
|                           |                                     | 10,79±0,36     | -371±103             | 21,2±2             | 664±61                       | 0,373±0,036               |

Для полученных данных отмечается следующая закономерность: с пониженной объёмной скоростью выхода католита при любой концентрации исходного раствора от 0,1 до 0,3 г/л увеличивается его показатель рН, отрицательные значения ОВП, показатель УЭП и общая минерализация.

Можно отметить, что для получения католита в качестве затворной жидкости с необходимыми нам характеристиками мы предлагаем использовать исходный раствор хлорида натрия с концентрацией 0,3 г/л. ИЗУМРУД-КФТО рассчитан на слабо минерализованные

растворы и увеличение концентрации приведёт к нарушению стабильности работы установки. Объёмная скорость получения католита должна находиться в пределах 300-350 мл/мин. Далее, мы получали католит с необходимыми показателями и использовали его в приготовлении строительного раствора. Параллельно с образцом строительного раствора, приготовленного на католите, был использован контрольный образец на водопроводной воде. Для приготовления строительных растворов использовался портландцемент марки М-500-Д0 (ОАО «Спасскцемент», Россия). В

результате для каждого раствора (католиз, водопроводная вода) было приготовлено по три образца. Полученные образцы выдерживались 28 суток для того чтобы набрать прочность и затвердеть [14]. Через 28 суток затвердевшие строительные растворы были испытаны на прочность, сжатие и изгиб (табл. 2), с помощью универсальной гидравлической машины

на изгиб и сжатие («Testing», Германия). При выборе величин нагрузки на изгиб брали среднее арифметическое двух наибольших результатов каждого образца, а при выборе величин нагрузки на сжатие брали среднее арифметическое четырёх наибольших значений каждого образца (табл. 3).

**Таблица 2.** Значения нагрузок при испытании образцов строительных растворов

| Нагрузка                    | Контрольный образец |       |       | Образец на католизе |       |       |
|-----------------------------|---------------------|-------|-------|---------------------|-------|-------|
|                             | 1                   | 2     | 3     | 1                   | 2     | 3     |
| сжатие (Н/мм <sup>2</sup> ) | 29,81               | 26,18 | 29,00 | 28,65               | 29,76 | 30,72 |
|                             | 28,22               | 27,91 | 31,12 | 28,21               | 28,14 | 29,42 |
| изгиб (Н/мм <sup>2</sup> )  | 4,006               | 3,690 | 4,278 | 4,686               | 4,721 | 4,247 |

**Таблица 3.** Значения нагрузок на сжатие и изгиб

| Нагрузка                    | Контрольный образец | Образец на католизе |
|-----------------------------|---------------------|---------------------|
| сжатие (Н/мм <sup>2</sup> ) | 29,54               | 29,64               |
| изгиб (Н/мм <sup>2</sup> )  | 4,14                | 4,70                |

**Обсуждение результатов.** Результаты показали что значение устойчивости к нагрузке на изгиб в образцах, приготовленных на основе католиза, достоверно значимо превышают значение в контрольных образцах на 12%. Стоит отметить, что согласно технической документации универсальной машины на изгиб и сжатие фирмы «Testing» величина ошибки измерения составляет менее 1%. Что касается значений нагрузок на сжатие, то образцы на католизе соответствовали контрольным образцам.

Необходимо рассмотреть предполагаемое влияние католиза на механизм гидратации цемента. Во время перемешивания строительной растворной смеси происходит соударение различных частиц (песок, цемент и т. д.) друг о друга при этом протекает механическое разрушение структуры твёрдых компонентов с изменением их размеров, формы и характера микродефектов. При данном процессе возможно вытеснение из решётки твёрдых компонентов атомов и молекул за счёт механической диспергации, причём вода, находящаяся на поверхности частиц, вызывает адсорбционное диспергирование, и в результате возникают молекулярно-пористые и коллоидно-пористые тела [7]. Католиз, используемый как затворная жидкость, насыщен восстановителями

(высокое отрицательное ОВП) и обладает повышенной адсорбционно-химической активностью [9]. Эффективность образования пористых тел, при использовании католиза, увеличивается. Образованная молекулярно-пористая поверхность, имея свободные связи, захватывает различные частицы окружающей среды, например протон водорода, щелочные и щелочноземельные металлы. При рассмотрении механизма гидратации топохимическим путём по В.В. Илюхину [5], предполагается миграция протонов внутрь кристаллической решётки – протонизация. Католиз, имеющий показатель pH>7, возможно замедлит действие протонизации, но при этом ион натрия, содержащийся в растворе, будет занимать свободные связи.

**Выводы:** нами был отработан режим получения электрохимически активированного раствора с помощью проточного диафрагменного электрохимического реактора (ИЗУМРУД-КФТО), который можно использовать в качестве затворной жидкости для приготовления строительных растворов с относительно высокими прочностными характеристиками.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Патент на полезную модель №2008104443/03, 05.02.2008 «Способ приготовления бетонной смеси». С.Н. Богачёв, К.Н. Богачёв, В.Б. Стецук, Б.Г. Стахов.
2. Бут, Т.С. Современные методы исследования строительных материалов / Т.С. Бут, Б.Н. Виноградов, Т.И. Гаврилова и др. – М.: Стройиздат, 1962. – 239 с.
3. Гульков, А.Н. Повышение эффективности магнитной обработки воды с целью рационального использования природных ресурсов: Автореф... дисс. д-ра тех. наук. Владивосток, 1998. – 40 с.

4. Гульков, А.Н. Применение магнитной обработки воды на предприятиях Дальнего Востока / А.Н. Гульков, Ю.А. Заславский, П.П. Ступаченко. – Владивосток: Изд-во ДВГУ, 1990. – 134 с.
5. Илюхин, В.В. Кристаллические структуры природных и синтетических соединений с крупными и средними катионами: Автореф. дис. ...д-ра физ.-мат. наук. – М., 1971. – 26 с.
6. Карасёва, Я.А. Повышение эффективности цементных дисперсных систем водой в метастабильном состоянии: Автореф... дисс. канд. тех. наук. Пенза, 2008. – 20 с.
7. Кучеренко, А.А. Об истоках самоорганизации бетона // Весь бетон, 2009. [www.allbeton.ru/forum/download/file.php?id=2567&sid](http://www.allbeton.ru/forum/download/file.php?id=2567&sid)
8. Патент на полезную модель №93048855/33, 21.10.1993 «Способ приготовления активированной воды затворения бетонной смеси». П.П. Мироевский, С.М. Поляков.
9. Прилуцкий, В.И. Электрохимически активированная вода: аномальные свойства, механизм биологического действия / В.И. Прилуцкий, В.М. Бахир. – М.; ВНИИИМТ, 1997. – 228 с.
10. Пухаренко, Ю.В. Эффективность активации воды затворения углеродными наночастицами / Ю.В. Пухаренко, И.У. Аубакирова, В.Д. Староверов // Весь бетон, 2009. <http://www.allbeton.ru/article/378/30.html>
11. Ступаченко, П.П. Структура, свойства и долговечность материалов на основе минеральных вяжущих / П.П. Ступаченко, Ю.В. Ефименко, В.Г. Цуприк – Владивосток: Изд-во ДВГУ, 1992. – 144 с.
12. Томилов, А.П. Электрохимическая активация – новое направление прикладной электрохимии. Жизнь и безопасность. – 2002. - №3 – С. 302.
13. Физико-химические основы формирования структуры цементного камня / Под. ред. Л.Г. Шпыновой. – Львов: Вища школа. Изд-во при Львов. ун-те, 1981. – 160 с.
14. ГОСТ 5802-86. Растворы строительные. Методы испытаний.

## STUDY OF PHYSICAL AND CHEMICAL PARAMETERS OF MIXING WATER TO ELECTROCHEMICAL ACTIVATION AND EFFECTS ON STRENGTH CHARACTERISTICS OF CONCRETE

© 2009 D.S. Ryzhakov<sup>1,2</sup>, A.N. Gulkov<sup>1,2</sup>, V.T. Gulyaev<sup>3</sup>, A.V. Kozin<sup>3</sup>, K.S. Golohvast<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Institute of Oil and Gas Far Eastern State Technical University

<sup>2</sup> JSC DVNIPИ-Neftegaz

<sup>3</sup> Building Institute, Far Eastern State Technical University

This article explores the possibility of applying the process of electrochemical activation to improve the strength characteristics of building materials. The researches mode flow cell for electrochemically activated solutions with the necessary physical and chemical characteristics. It is shown that the catholyte obtained from a solution of sodium chloride, increases the durability of concrete with a bending stress by 12%.

Key words: *electrochemical activation, the catholyte, mix, continuous flow electrolyzer diaphragm type*

---

*Denis Ryzhakov, Graduate Student. E-mail: denis.r@mail.ru*  
*Alexander Gulkov, Doctor of Technical Sciences, Professor, Director. E-mail: alexdygtu@mail.ru*  
*Vladimir Gulyaev, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Head of the Department of Building Structures and Materials*  
*Andrey Kozin, Graduate Student*  
*Kirill Golohvast, Candidate of Biology, Deputy Director. E-mail: droopy@mail.ru*