

Активация воды затворения цемента с учетом релаксационных процессов

УДК 691.328

Павлов А.Н.

Д-р физ.-мат. наук, доцент, профессор, ФГБОУ ВО «Донской государственный технический университет» (г. Ростов-на-Дону); e-mail: and2562@yandex.ru

Гольцов Ю.И.

ФГБОУ ВО «Донской государственный технический университет» (г. Ростов-на-Дону); e-mail: vollmann@mail.ru

Маилян Л.Р.

Д-р техн. наук, член-корреспондент Российской академия архитектуры и строительных наук (РААСН), профессор, профессор кафедры автомобильных дорог, ФГБОУ ВО «Донской государственный технический университет» (г. Ростов-на-Дону); e-mail: mailyan@sroufo.ru

Щербань Е.М.

Канд. техн. наук, доцент кафедры инженерной геологии, оснований и фундаментов, ФГБОУ ВО «Донской государственный технический университет» (г. Ростов-на-Дону); e-mail: au-geen@mail.ru

Стельмах С.А.

Канд. техн. наук, доцент кафедры инженерной геологии, оснований и фундаментов, ФГБОУ ВО «Донской государственный технический университет» (г. Ростов-на-Дону); e-mail: sergej.stelmakh@mail.ru

Самофалова М.С.

Магистрант, технологический инжиниринг и экспертиза в стройиндустрии, ФГБОУ ВО «Донской государственный технический университет» (г. Ростов-на-Дону)

Статья получена: 24.10.2020. Рассмотрена: 27.10.2020. Одобрена: 29.11.2020. Опубликовано онлайн: 30.12.2020. ©РИОР

Аннотация. Проведен анализ релаксационных процессов в воде, активированной термически или ультрафиолетовым облучением. Активация

воды затворения приводит к более раннему затвердеванию цемента. При этом активированная вода теряет свои свойства со временем

ACTIVATION OF CEMENT MIXING WATER TAKING INTO ACCOUNT RELAXATION PROCESSES

Pavlov A.N.

Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Professor, Don State Technical University, Rostov-on-Don; e-mail: and2562@yandex.ru

Goltsov Yu.I.

Don State Technical University, Rostov-on-Don; e-mail: vollmann@mail.ru

Mailyan L.R.

Doctor of Technical Sciences, Corresponding Member of Russian Academy of Architecture and Construction Sciences, Professor, Department of Highways, Don State Technical University, Rostov-on-Don; e-mail: mailyan@sroufo.ru

Scherban E.M.

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Department of Engineering Geology, Foundations and Foundations, Don State Technical University, Rostov-on-Don; e-mail: au-geen@mail.ru

Stelmakh S.A.

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Department of Engineering Geology, Foundations and Foundations, Don State Technical University, Rostov-on-Don; e-mail: sergej.stelmakh@mail.ru

Samofalova M.S.

Master's Degree Student, Technological Engineering and Expertise in the Construction Industry, Don State Technical University, Rostov-on-Don

Manuscript received: 24.10.2020. **Revised:** 27.10.2020. **Accepted:** 29.11.2020. **Published online:** 30.12.2020. ©RIOR

Abstract. An analysis of relaxation processes in water activated by thermal or ultraviolet radiation has been carried out. The activation of the mixing water leads to earlier hardening of the cement. At the same time, activated water loses its properties with a relaxation time, which is equal to the activity time of melt water, which is explained by the common reasons for the origin of the increased reaction properties of activated water and melt water. These properties are due to the fact that activation increases the content of free water molecules. In the normal state, some of the water molecules enter the voids of fractal-clathrate structures. During thermal or radiation activation processes, characterized by certain relaxation times, these structures are destroyed, and free water molecules are released. But after the termination of activation, relaxation processes take place to restore thermodynamically equilibrium fractal-clathrate structures, and part of the free water is again captured by these structures. Therefore, the reactivity of water after the termination of activation decreases.

Keywords: ultraviolet irradiation, fractal-clathrate structure, free water, concrete strength.

релаксации, которое равно времени активности талой воды, что объясняется общими причинами происхождения повышенных реакционных свойств активированной воды и талой воды. Эти свойства обусловлены тем, что при активации увеличивается содержание свободных молекул воды. В обычном состоянии часть молекул воды входит в пустоты фрактально-клатратных структур. При термических или радиационных активационных процессах, характеризующихся определенными временами релаксации, эти структуры разрушаются, и свободные молекулы воды высвобождаются. Но после прекращения активации идут релаксационные процессы по восстановлению термодинамически равновесных фрактально-клатратных структур, и часть свободной воды снова захватывается этими структурами. Поэтому реакционная способность воды после прекращения активации уменьшается.

Ключевые слова: ультрафиолетовое облучение, фрактально-клатратная структура, свободная вода, прочность бетона.

Введение. Для упрочнения бетона и улучшения технологий его получения используются различные активирующие физические факторы [1–7].

В статье рассматриваются свойства воды, активированной многочастотными ультразвуковыми волнами, и цементного камня, приготовленного на ее основе. Выявлено оптимальное время активации воды затворения — 30 мин. Ультразвуковая обработка воды затворения позволяет уменьшить нормальную плотность цементного теста на 10–12% и повысить прочность в 7-суточном возрасте до 45%, а в 28-суточном — до 20%. [8]

Авторами рассматривались результаты теоретических и экспериментальных исследований влияния механической обработки воды затворения и водно-цементной суспензии в мешалке, представляющей собой гидродинамическую установку, на интенсификацию процесса структурообразования цементного камня и бетона. Установлено, что механическая обработка воды вызывает ускорение схватывания и увеличение прочности готовых изделий [9; 10].

Проведенные авторами исследования физико-механических характеристик цементного

камня выявили тенденцию к увеличению прочностных характеристик цементного камня в пределах 15–20% в зависимости от вида цемента, водоцементного отношения и других факторов в том же интервале концентраций наномодификатора.

В работе [11] установлено, что ультрафиолетовое (УФ) облучение воды затворения цемента в 1,5 раза увеличивает раннюю прочность, достигаемую после выдержки цементного камня в течение 7 суток (рис. 1, знаки +).

Авторами проводится рассмотрение влияния ультрафиолетового облучения воды затворения на прочность цементного камня в рамках клатратно-фрактальной теории строения жидкой воды. В соответствии с этой теорией молекулы жидкой воды образуют фрактальную структуру, в полостях которой содержится часть свободных молекул воды.

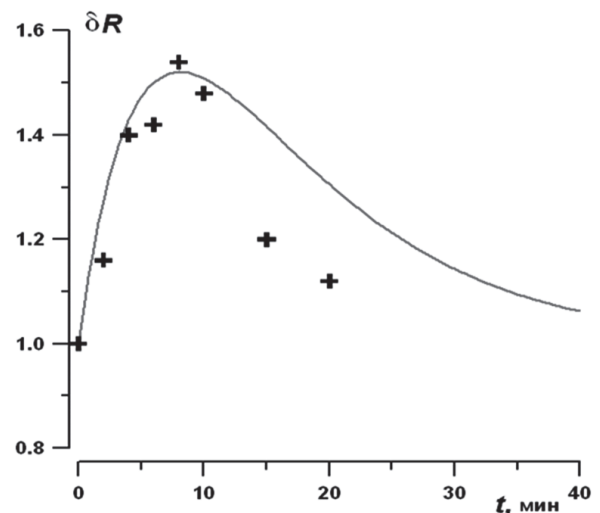


Рис. 1. Зависимость δR — относительной прочности цементного камня семидневной выдержки от времени ультрафиолетового облучения: экспериментальная [11] (знаки +) и теоретическая [12] (сплошная кривая)

В процессах гидратации цемента, обуславливающих формирование прочного цементного камня, участвуют свободные молекулы воды, не попавшие в пустоты фрактальной структуры. При ультрафиолетовом облучении фрактальная структура частично разрушается, свободных молекул воды вне фрактальной структуры становится больше, вследствие этого гидратация ускоряется, и прочность цементного камня увеличивается. Теоретические релаксационные временные зависимости позволяют правильно

описать экспериментальные данные по поведению относительной прочности цементного камня. При расчетах немонотонная временная зависимость прочности цементного камня воспроизведена за счет учета влияния двух конкурирующих факторов: увеличения содержания свободной воды вследствие разрушения фрактально-клатратной структуры и уменьшение содержания свободной воды из-за инициированного продуктами фотолиза воссоздания фрактально-клатратной структуры.

Немонотонная зависимость прочности цементного камня от времени облучения [11] в работе [12] объясняется наличием двух релаксационных процессов, которые определяют изменение содержания свободной воды в бетонной смеси. Дело в том, что в соответствии с клатратно-фрактальной моделью жидкой воды часть молекул воды входит в пустоты фрактальной структуры [13–15] и не участвует в процессах гидратации. Механизм воздействия УФ-излучения на прочность бетона заключается в том, фрактальные структуры под действием УФ-излучения разрушаются, молекулы воды высвобождаются из пустот и участвуют в формировании цементного камня. Однако УФ-излучение, использованное в работе [11], прямого фотолиза воды, вследствие которого разрушаются водородные связи, скрепляющие фрактальную структуру, не дает. Это применяемое излучение лампы РК-120 имеет длину волны вне полосы поглощения молекулы H₂O [16]. Поэтому происходит постепенный релаксационный процесс термоактивационного разложения фрактальной структуры жидкой воды вследствие повышения локальной температуры при поглощении молекулами воды квантов УФ-излучения. Описание параметров этого процесса является задачей данной работы.

Описание модели. Относительная прочность цементного камня описывается соотношением (1).

$$\delta R = \frac{R(t)}{R(0)}. \quad (1)$$

Здесь $R(t)$ — зависимость прочности цементного камня от времени активации воды затвердения, $R(0)$ — прочность цементного камня, приготовленного на неактивированной воде.

Прочность цементного камня пропорциональна числу свободных молекул воды, не вошедших в пустоты фрактальной структуры.

$$R(t) = A_1 N_{f1}(t). \quad (2)$$

Здесь A_1 — коэффициент пропорциональности, $N_{f1}(t)$ — число свободных молекул воды, не вошедших в пустоты фрактальных структур и поэтому легко доступных для гидратации.

$$N_{f1}(t) = N_{f2} + N_{f3}(t) - N_{f4}(t). \quad (3)$$

Здесь N_{f2} — число свободных молекул воды, изначально не вошедших в пустоты фрактальных структур;

$N_{f3}(t)$ — число свободных молекул воды, вышедших из пустот фрактальных структур при релаксационном разложении этих структур под действием облучения со временем релаксации τ_1 .

$$N_{f3}(t) = A_2 \left[1 - \exp\left(-\frac{t}{\tau_1}\right) \right]. \quad (4)$$

$N_{f4}(t)$ — число свободных молекул воды, вошедших в пустоты фрактальных структур, возникших со временем релаксации τ_2 благодаря возникновению под действием облучения центров фракталообразования (ионов H⁺), образовавшихся вследствие инициированной облучением диссоциации молекул воды [17].

$$N_{f4}(t) = A_3 \left[1 - \exp\left(-\frac{t}{\tau_2}\right) \right]. \quad (5)$$

Здесь A_2, A_3 — коэффициенты пропорциональности.

Результаты расчетов. На рис. 1 (сплошная линия) приведены результаты расчетов с использованием выражений (2–5), которые согласуются с экспериментальными данными [9] при $\frac{A_2}{N_{f2}} = 2,4$, $\frac{A_3}{A_2} = 1$, $\tau_1 = \tau_{1y} = 6,1$ мин, $\tau_2 = \tau_{2y} = 11,1$ мин. Время релаксации τ_{1y} , определяющее долговечность фрактальной структуры, зависит (6) от T_{loc} — температуры, повышенной вследствие поглощения кванта УФ-излучения. Это повышение температуры происходит в локальной области ближайшего окружения молекулы, поглотившей квант.

$$\tau_{1y} = \tau_0 \exp\left(\frac{\varepsilon}{kT_{loc}}\right). \quad (6)$$

Здесь ε — энергия разрыва водородной связи молекул воды во фрактальной структуре, т.е. энергия активации релаксационного разрушения фрактальной структуры.

Подобные релаксационные процессы происходят при термической активации воды, что приводит к повышению содержания свободной воды и увеличению текучести [18] (рис. 2).

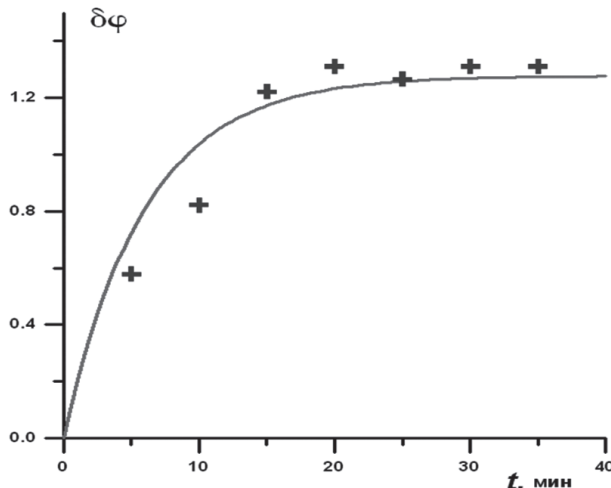


Рис. 2. Зависимость $\delta\varphi$ — относительного изменения текучести воды от времени термической активации при $T_{ac} = 368$ К: экспериментальная [18] (знаки +) и теоретическая (сплошная кривая)

Относительное изменение текучести воды описывается соотношением (7).

$$\delta\varphi = \frac{\varphi - \varphi_0}{\varphi_0}. \quad (7)$$

Здесь $\varphi(t)$ — зависимость текучести воды от времени активации воды, φ_0 — начальная величина текучести воды.

Текучесть воды пропорциональна N_{fl} — числу свободных молекул воды, не вошедших в пустоты фрактальной структуры.

$$\varphi = A_4 N_{fl}. \quad (8)$$

Здесь A_4 — коэффициент пропорциональности.

Результаты расчетов с использованием выражений (3–5, 7, 8) согласуются с экспериментальными данными [16] при $\frac{A_2}{N_{f_2}} = 1,28$, $A_3 = 0$,

$\tau_1 = \tau_{1a} = 6$ мин и приведены на рис. 2 (сплошная линия). Время релаксации τ_{1a} , в данном случае определяемое температурой термической активации воды $T_{ac} = 368$ К (9), оказалось таким же, как и при описании активационного увеличения прочности бетона.

$$\tau_{1a} = \tau_0 \exp\left(\frac{\varepsilon}{kT_{ac}}\right). \quad (9)$$

Равенство времен релаксации τ_{1a} и τ_{1y} подтверждает идентичность механизмов активации при термическом и УФ-воздействии на воду и дает основание полагать, что $T_{ac} = T_{loc}$.

Возникшее при активации состояние становится метастабильным при охлаждении или после прекращения УФ-облучения. Фрактальная структура релаксационным образом возвращается в исходное состояние. Это будет отражаться на содержании свободной воды и в соответствии с этим — на текучести воды [19–21] (рис. 3).

Результаты расчетов с использованием выражений (3–5, 7, 8) согласуются с экспериментальными данными [18] при $A_2 = 0$, $\frac{A_3}{N_{f_2}} = 1$, $\tau_2 = \tau_{2k} = 450$ мин и приведены на рис. 3 (сплошная линия). Время релаксации $\tau_2 = \tau_{2k}$ в данном случае определяется температурой $T_k = 293$ К (10) выдержки воды после термической активации.

$$\tau_{2k} = \tau_0 \exp\left(\frac{\varepsilon}{kT_k}\right). \quad (10)$$

Используя соотношения (9) и (10) и считая, что τ_0 мало изменится при изменении температуры, с учетом величин $\tau_{1a} = 6$ мин и $\tau_{2k} = 450$ мин получаем величину $\varepsilon = 0,5$ эВ. Это соответствует энергии одной водородной связи и согласуется с фрактальной моделью жидкой воды [12].

Соотношение (9) позволяет найти при $\tau_{1a} = 6$ мин, $\varepsilon = 0,5$ эВ, $T_{ac} = 368$ К величину $\tau_0 = \tau_{0экс} = 15 \cdot 10^{-6}$ с. Величину τ_0 можно также оценить теоретически, рассматривая фракталы как броуновские частицы. Для того чтобы из-за разрушения водородной связи начался распад фрактала, размеры которого $R = 3 \cdot 10^{-6}$ м [13], нужно, чтобы отделенная от фрактала наименьшая составная часть размером $R_{min} = 10^{-9}$ м и остальная часть фрактала разошлись, а рас-

стояние порядка R_{\min} . Воспользуемся формулой Эйнштейна — Смолуховского для $\langle x^2 \rangle$ — средней величины квадрата расстояния, пройденного броуновской частицей размера R в среде с вязкостью η за время Δt .

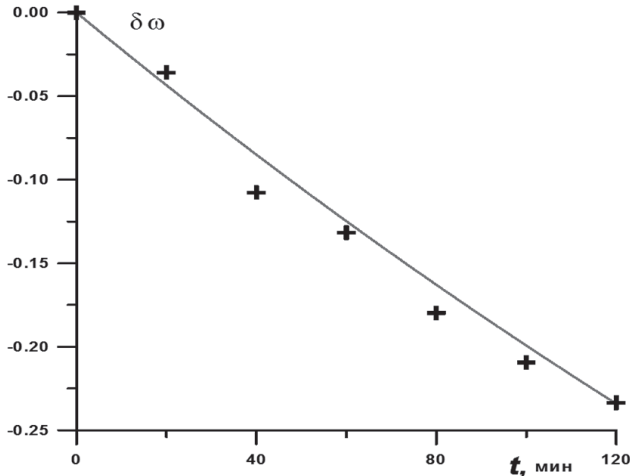


Рис. 3. Зависимость $\delta\phi$ — относительного изменения текучести воды при $T_k = 368$ К от времени выдержки после термической активации: экспериментальная [18] (знаки +) и теоретическая (сплошная кривая)

$$\langle x^2 \rangle = \frac{kT}{3\pi R\eta}. \quad (11)$$

Считая $\langle x^2 \rangle = R_{\min}^2$, $\Delta t = \tau_0$, для водной среды с $\eta \sim 10^{-3}$ Па·с, получаем $\tau_{0\text{теор}} = 6 \cdot 10^{-6}$ с, что согласуется с экспериментальной величиной $\tau_{0\text{экс}}$.

Выводы. При активации воды идет перестройка фрактально-клатратной структуры жидкой воды по релаксационному механизму, поэтому эффекты влияния УФ-облучения и термической обработки воды затворения имеют одинаковую природу. При этом воздействие УФ-облучения можно описать введением локальной температуры. Время активации определяется энергией разрыва водородных связей между молекулами воды. После прекращения активации возникшее состояние является метастабильным, и фрактальные структуры термоактивационным образом при той же энергии активации, что и при переходе в возбужденное состояние, возвращаются к исходному состоянию.

Литература

1. Зарембо В.И. Использование слабых импульсов электрического тока в технологии изготовления бетонных и железобетонных изделий и сооружений. — Ч. 1 [Текст] / В.И. Зарембо, О.Л. Киселёва, А.А. Колесников, К.А. Суворов // Строительные материалы, оборудование, технологии XXI века. — 2004. — № 10. — С. 58–59.
2. Павлов А.Н. Прочность пенобетона при воздействии переменного электрического поля [Текст] / А.Н. Павлов, Ю.И. Гольцов, С.А. Стельмах, Е.М. Щербань // Научное обозрение. — 2015. — № 10. — С. 147–150.
3. Евтушенко Е.И. Активационные процессы в технологии строительных материалов. Некоторые элементы структурной динамики [Текст] / Е.И. Евтушенко. — Белгород: Изд-во БелГТУ, 2003. — 195 с.
4. Прокопец В.С. Влияние механоактивационного воздействия на активность вяжущих веществ [Текст] / В.С. Прокопец // Строительные материалы. — 2003. — № 9. — С. 28–29.
5. Ядыкина В.В. Управление процессами формирования и качеством строительных композитов с учетом состояния поверхности дисперсного сырья [Текст] / В.В. Ядыкина. — М.: АСВ, 2009. — 374 с.
6. Павлов А.Н. Прочность пенобетона, активированного малоэнергетичным переменным электрическим полем [Текст] / А.Н. Павлов, Ю.И. Гольцов, С.А. Стельмах, Е.М. Щербань // Строительство — 2015: Современные проблемы строительства. Мат-лы междунар. науч.-практ. конф. ФГБОУ ВПО «РГСУ». — Ростов н/Д, 2015. — С. 402–404.
7. Щербань Е.М. Эффективность электрофизической активации пенобетонных смесей [Электронный ресурс] / Е.М. Щербань, С.А. Стельмах, Ю.И. Гольцов, Х.С. Явруян // Инженерный вестник Дона. — 2013. — № 4. — URL: <http://www.ivdon.ru/gu/magazine/archive/n4y2013/2193>
8. Кудяков А.И. Улучшение качества цементного камня путем многочастотной ультразвуковой активации воды затворения [Текст] / А.И. Кудяков, А.Г. Петров, Г.Г. Петров, К.В. Иконникова // Вестник ТГАСУ. — 2012. — № 3. — С. 143–152.
9. Гююмджян П.П. Улучшение свойств бетона путем механической обработки воды затворения [Текст] / П.П. Гююмджян, Т.Г. Ветренко, Е.А. Расцветова // Вестник ТГАСУ. — 2010. — № 2. — С. 154–161.
10. Аубакирова И.У. Эффективность активации воды затворения углеродными наночастицами [Текст] / И.У. Аубакирова, В.Д. Староверов, Ю.В. Пухаренко // Инженерно-строительный журнал. — 2009. — № 1. — С. 40–45.
11. Слабожанин Г.Д. О влиянии УФ-облучения воды затворения на прирост прочности цементного камня [Текст] / Г.Д. Слабожанин, А.А. Алексеев, Н.А. Калинин // Вестник ТГАСУ. — 2009. — № 2. — С. 102–105.
12. Павлов А.Н. Фрактальные аспекты влияния ультрафиолетового облучения воды затворения на прочность цементного камня [Текст] / А.Н. Павлов, Ю.И. Гольцов // Вестник Евразийской науки. — 2018. — Т. 10. — № 3. — URL: <https://esj.today/PDF/27SAVN318.pdf>
13. Смирнов А.Н. Структура воды: гигантские гетерофазные кластеры воды [Текст] / А.Н. Смирнов, В.Б. Лапшин, И.М. Лебедев, В.В. Гончарук, А.В. Сыроежкин // Химия и технология воды. — 2005. — № 2. — С. 11–37.
14. Смирнов А.Н. Надмолекулярные комплексы воды: «эмульонь» [Текст] / А.Н. Смирнов // Физика живого. — 2010. — № 18 (2). — С. 23–33.

15. Павлов А.Н. Влияние температуры на фрактальные структуры воды [Текст] / А.Н. Павлов, Ю.И. Гольцов // Наука и мир. — 2018. — № 6. — Т. 2. — С. 17–21.
16. Гарибов А.А. Фотолит H_2O и CO_2 на поверхности графитоподобного нитрида бора [Текст] / А.А. Гарибов, Н.Г. Гасанов, М.А. Мехрабова // Fizika-riyaziyyat və texnika elmləri seriyası. — 2005. — № 5. — С. 149–151.
17. Лобышев В.И. Вода как сенсор слабых воздействий физической и химической природы [Текст] / В.И. Лобышев // Рос. хим. ж. — 2007. — Т. 51. — № 1. — С. 107–114.
18. Логанина В.И. Повышение активности воды затворения цементных систем акустическим полем [Текст] / В.И. Логанина, Г.А. Фокин, Н.Г. Вилкова, Я.А. Карасева // Строительные материалы. — 2008. — № 10. — С. 14–16.
19. Ветренко Т.Г. Влияние механической активации на свойства воды [Текст] / Т.Г. Ветренко, Е.А. Расцветова, П.П. Гуюмджян // Ученые записки инж.-строит. факультета ИГАСУ. — 2008. — Вып. 4. — С. 68–71.
20. Уэйн Р. Основы и применения фотохимии [Текст]. — М.: Мир, 1991. — 304 с.
21. Игнатъев В.К. Исследование условной вязкости термически активированной воды [Текст] / В.К. Игнатъев, Ф.М. Шамаков // Биофизика. — 2012. — Т. 13. — С. 819–831.

References

1. Zarembo V.I. Ispol'zovanie slabyyh impul'sov elektricheskogo toka v tehnologii izgotovleniya betonnyh i zhelezobetonnyh izdeliy i sooruzheniy [The use of weak pulses of electric current in the technology of manufacturing concrete and reinforced concrete products and structures]. *Stroitel'nye materialy, oborudovanie, tehnologii XXI veka* [Building materials, equipment, technologies of the XXI century]. 2004, I. 10, pp. 58–59.
2. Pavlov A.N. Prochnost' penobetona pri vozdeystvii peremennogo elektricheskogo polya [Strength of foam concrete when exposed to an alternating electric field]. *Nauchnoe obozrenie* [Scientific Review]. 2015, I. 10, pp. 147–150.
3. Evtushenko E.I. *Aktivacionnye processy v tehnologii stroitel'nyh materialov. Nekotorye elementy strukturnoy dinamiki* [Activation processes in building materials technology. Some elements of structural dynamics]. Belgorod: BelGTU Publ., 2003. 195 p.
4. Prokopec V.S. Vliyanie mehanoaktivacionnogo vozdeystviya na aktivnost' vyazhuschih veschestv [Influence of mechanoactivation effect on the activity of binders]. *Stroitel'nye materialy* [Building materials]. 2003, I. 9, pp. 28–29.
5. Yadykina V.V. *Upravlenie processami formirovaniya i kachestvom stroitel'nyh kompozitov s uchetom sostoyaniya poverhnosti dispersnogo syr'ya* [Management of the formation processes and the quality of building composites taking into account the state of the surface of dispersed raw materials]. Moscow: ASV Publ. 2009. 374 p.
6. Pavlov A.N. Prochnost' penobetona, aktivirovannogo malo-energoemkim peremennym elektricheskim polem [Strength of foam concrete activated by low-energy-consuming alternating electric field]. *Stroitel'stvo — 2015: Sovremennye problemy stroitel'stva. Mat. mezhdunar. nauch.-prakt. konf. FGBOU VPO «RGSU»* [Construction — 2015: Modern problems of construction. Mat. int. scientific-practical conf. FSBEI HPE “RSCEU”]. Rostov-on-Don, 2015, pp. 402–404.
7. Shcherban' E.M. Effektivnost' elektrofizicheskoy aktivatsii penobetonnnyh smesey [Efficiency of electrophysical activation of foam concrete mixtures]. *Inzhenernyy vestnik Dona* [Engineering journal of Don]. 2013, I. 4 Available at: <http://www.ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2013/2193>
8. Kudyakov A.I. Uluchshenie kachestva cementnogo kamnya putem mnogochastotnoy ul'trazvukovoy aktivatsii vody zatvoreniya [Improving the quality of cement stone by multifrequency ultrasonic activation of mixing water]. *Vestnik TGASU* [Bulletin of TUACE]. 2012, I. 3, pp. 143–152.
9. Guyumdzhyan P.P. Uluchshenie svoystv betona putem mehanicheskoy obrabotki vody zatvoreniya [Improving concrete properties by mechanical treatment of mixing water]. *Vestnik TGASU* [Bulletin of TUACE]. 2010, I. 2, pp. 154–161.
10. Aubakirova I.U. Effektivnost' aktivatsii vody zatvoreniya uglerodnymi nanochasticami [Efficiency of activation of mixing water by carbon nanoparticles]. *Inzhenerno-stroitel'nyy zhurnal* [Magazine of Civil Engineering]. 2009, I. 1, pp. 40–45.
11. Slabozhanin G.D. O vliyaniy UF-oblucheniya vody zatvoreniya na prirost prochnosti cementnogo kamnya [On the influence of UV irradiation of mixing water on the strength gain of cement stone]. *Vestnik TGASU* [Bulletin of TUACE]. 2009, I. 2, pp. 102–105.
12. Pavlov A.N. Fraktal'nye aspekty vliyaniya ul'traioletovogo oblucheniya vody zatvoreniya na prochnost' cementnogo kamnya [Fractal aspects of the effect of ultraviolet irradiation of mixing water on the strength of cement stone]. *Vestnik Evraziyskoy nauki* [The Eurasian Scientific Journal]. 2018, I. 3, V. 10. URL: <https://esj.today/PDF/27SAVN318.pdf>
13. Smirnov A.N. Struktura vody: gigantskie geterofaznye klastery vody [Water structure: giant heterophase water clusters]. *Himiya i tehnologiya vody* [Chemistry and Water Technology]. 2005, I. 2, pp. 11–37.
14. Smirnov A.N. Nadmolekulyarnye komplekсы vody: «emulony» [Supramolecular complexes of water: “emulons”]. *Fizika zhi-vogo* [Physics of the living]. 2010, I. 18 (2), pp. 23–33.
15. Pavlov A.N. Vliyanie temperatury na fraktal'nye struktury vody [Influence of temperature on fractal structures of water]. *Nauka i mir* [Science and the World]. 2018, I. 6, V. 2, pp. 17–21.
16. Garibov A.A. *Fotoliz N_2O i CO_2 na poverhnosti grafitopodobnogo nitrída bora* [Photolysis of H_2O and CO_2 on the surface of graphite-like boron nitride]. *Fizika-riyaziyyat və texnika elmləri seriyası*. 2005, I. 5, pp. 149–151.
17. Lobyshev V.I. Voda kak sensor slabyyh vozdeystviy fizicheskoy i himicheskoy prirody [Water as a sensor of weak physical and chemical influences]. *Ros. him. zh.* [Russian chemical journal]. 2007, V. 51, I. 1, pp. 107–114.
18. Loganiina V.I. Povyshenie aktivnosti vody zatvoreniya cementnyh sistem akusticheskim polem [Increasing the activity of mixing water for cement systems by an acoustic field]. *Stroitel'nye materialy* [Building materials]. 2008, I. 10, pp. 14–16.
19. Vetenko T.G. Vliyanie mehanicheskoy aktivatsii na svoystva vody [Effect of mechanical activation on water properties]. *Uchenye zapiski inzh.-stroit. fakul'teta. IGASU* [Scientific notes engineer-building faculty. ISUACE]. 2008, I. 4, pp. 68–71.
20. Wayne R. *Osnovy i primeneniya fotohimii* [Fundamentals and Applications of Photochemistry]. Moscow: Mir Publ. 1991. 304 p.
21. Ignat'ev V.K. Issledovanie uslovnoy vyazkosti termicheskii aktivirovannoy vody [Study of the conditional viscosity of thermally activated water]. *Biofizika* [Biophysics]. 2012, V. 13, pp. 819–831.