



УДК 539.3/.6

А. П. ФЕДОРЦОВ, канд. техн. наук, доц., доц. кафедры строительных материалов и технологий

ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКОЕ СОПРОТИВЛЕНИЕ СТРОИТЕЛЬНЫХ КОМПОЗИТОВ (СИСТЕМ), ЗАКОНОМЕРНОСТЬ ЕГО ИЗМЕНЕНИЯ И ВЫБОР СПОСОБОВ ПОВЫШЕНИЯ

ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Мордовский государственный университет им. Н. П. Огарева».

Россия, 430000, г. Саранск, ул. Советская, д. 24.

Эл. почта: fedorcovap@mail.ru

Ключевые слова: системы, сопротивление, материал, деструкция, адаптация, обратные процессы, способы повышения, композит, тепловые эффекты.

В статье приводится определение физико-химического сопротивления строительных композитов (систем). Отмечается, что так называемое «химическое сопротивление материалов» характеризуется только по отношению к агрессивным средам и только в период эксплуатации. В работе приводятся результаты исследований, согласно которым сопротивление возникает как при получении материала, так и в случаях его перехода в другие условия. Установлено, что материал не стремится потерять свое состояние, которое он приобрел или имеет в любой момент времени перехода к новому состоянию равновесия. Признаками сопротивления являются тепловые эффекты при воздействиях, факты адаптации материалов, обратные процессы при взаимодействии материалов с окружающей средой. Делается вывод, что для материалов при взаимодействиях предпочтительны процессы, которые способствуют сохранению их основных структурообразующих элементов и связей между ними. Приводятся основные виды таких процессов при действии агрессивных сред и разработанные на их основе способы повышения прочности и физико-химического сопротивления композитов.

Введение

Под физико-химическим сопротивлением строительных композитов (систем) в общем случае понимается их способность сопротивляться изменениям под влиянием окружающей среды во время получения (образования) или эксплуатации. Если при эксплуатации материала действуют агрессивные среды, то его физико-химическое сопротивление определяется способностью сопротивляться их воздействию с сохранением в установленных пределах основных показателей качества, размеров и формы [1].

Определение является более общим, чем изложенные в других источниках научной литературы [2–5], где так называемое химическое сопротивление материалов характеризуется только по отношению к агрессивным средам и только в процессе эксплуатации. При этом сопротивление отождествляется с коррозией. Однако, как будет показано в работе, сопротивление материалов возникает не только при действии воды, растворов кислот, щелочей, солей и других агрессивных сред. Оно, к примеру, возникает всегда при получении цементных и других композитов и их эксплуатации. Кроме того, сопротивление композитов воздействиям определенной интенсивности и длительности, как будет



показано в работе, может не только сдерживать разрушение, но и приводить к упрочнению, уплотнению и т.д., т.е. улучшать их свойства.

Несмотря на значительный интерес к проблеме повышения физико-химического сопротивления материалов, его внутренняя сущность изучена недостаточно полно. Не приводится основная причина, которая вызывает сопротивление материалов при воздействиях окружающей среды, в том числе агрессивной. Часто не исследуются физико-химические процессы сопротивления, вызванные самим материалом, не приводятся его признаки, не находится закономерность изменения при воздействиях. Без таких исследований возникают трудности в разработке малозатратных способов повышения сопротивления материалов воздействию агрессивных сред. Предлагаемая работа направлена на разрешение поставленных вопросов и ее актуальность очевидна.

Методология

В предлагаемой статье приводятся результаты исследований, проведенные с целью обоснования причины, направленности процессов сопротивления, протекающих в материале при воздействиях, закономерности его изменения, выбора способов повышения активными взаимодействиями. Представленные выводы обоснованы теоретически и подтверждены экспериментально. При этом для решения поставлены следующие задачи:

- систематизировать исследования по выявлению причины, направленности, закономерности изменения сопротивления при фазовых и химических превращениях, при воздействиях на строительные композиты агрессивных сред;
- обосновать и определить процессы, которые являются предпочтительными (приоритетными) для материалов (систем) при взаимодействии с агрессивными средами, т.е. способствующими их сохранению;
- для композитов, на основании приоритетности процессов взаимодействия с агрессивными средами, систематизировать способы повышения их физико-химического сопротивления;
- показать, что обратные процессы, протекающие в материалах или в их компонентах, являются процессами сопротивления их изменениям под воздействием окружающей среды и направлены на возвращение прежнего состояния;
- систематизировать исследования о влиянии на улучшение свойств строительных композитов их активного сопротивления воздействиям окружающей среды установленной интенсивности и длительности.

Для изготовления цементного камня и мелкозернистого бетона применяли портландцемент М500 Д0 Алексеевского цементного завода Мордовии. Прочность цементного камня оценивалась испытанием образцов размером $20 \times 20 \times 20$ мм, твердевших в нормальных условиях ($t = 20 \pm 2$ °C, $W = 95-100$ %), в воде ($t = 20 \pm 2$ °C), в пропарочной камере при длительных режимах до равновесного состояния. Были приняты следующие режимы пропарки цементного камня:

- с температурой изотермического прогрева 40 ± 5 °C ($2 + 240 + 3 = 245$ ч);
- с температурой изотермического прогрева 65 ± 5 °C ($2 + 144 + 3 = 149$ ч);
- с температурой изотермического прогрева 90 ± 5 °C ($2 + 72 + 3 = 77$ ч).

Предварительная выдержка цементного камня до пропарки при всех режимах и перед погружением в воду была равна 24 ч в нормальных условиях.



Согласно [1] равновесным (по прочности) считается такое состояние цементного камня, когда прекращается поступательное наращивание прочности и соответствует среднему значению ее последующих колебаний.

Предел прочности при сжатии мелкозернистого бетона оценивался путем испытания половинок образцов размером 40×40×160 мм по ГОСТ 310.4-81.

Соотношение составляющих цементного камня и мелкозернистого бетона приводятся в работе по мере рассмотрения. Следует отметить, что работа носит обобщающий характер и ее рамки не позволяют поместить все методики испытаний и составы исследованных материалов. Кроме цементных композитов, частично указанных в работе, исследования проводились также с применением полимербетонов и стеклощелочных композитов, составы которых и методы испытаний даются в соответствующих ссылках.

Результаты и обсуждение

В данной работе результаты исследования последовательно приводятся в виде отдельных установленных положений, которые свидетельствуют о причине сопротивления систем (материалов) при воздействиях окружающей среды, его направленности, закономерности изменения и выборе способов повышения. Положения формулируются следующим образом:

1. В результате анализа физических, химических и физико-химических воздействий и превращений было установлено [6, 7], что при воздействиях на систему (материал) возникают процессы сопротивления, направленные на сохранение ее (его) состояния (природы в случаях химических превращений), а соответственно, и внутренней энергии.

Воздействия на материалы (системы) сопровождаются тепловыми эффектами, которые согласно принципу Ле-Шателье направлены на ослабление воздействия, т.е. являются элементами сопротивления изменениям. Наиболее выраженные тепловые эффекты сопротивления имеются в случаях превращения и перерождения систем, т.е. когда разрушаются структурообразующие элементы и связи [6–8]. К процессам такого рода относятся фазовые превращения (табл. 1) и химические взаимодействия [6]. При этом тепловой эффект всегда направлен на сохранение начальной (предыдущей) фазы [7, 8].

Таблица 1

Направленность тепловых эффектов при фазовых превращениях (по данным [1, 8])

Процесс фазового превращения	Направленность превращения	Выделение (+) или поглощение (–) тепловой энергии	Изменение внутренней энергии системы	Направленность теплового эффекта
Испарение	Ж → Г	–	Увеличение	Сохранение Ж
Конденсация	Г → Ж	+	Уменьшение	Сохранение Г
Сублимация	Т → Г	–	Увеличение	Сохранение Т
Осаждение	Г → Т	+	Уменьшение	Сохранение Г
Плавление	Т → Ж	–	Увеличение	Сохранение Т
Затвердевание	Ж → Т	+	Уменьшение	Сохранение Ж

Примечание: Ж – жидкость, Г – газ или пар, Т – твердое состояние вещества.



2. Частые факты адаптации цементных систем (материалов) к внешней среде с сохранением или с незначительным изменением структурообразующих элементов [9–11].

При адаптации материала (системы) происходит выбор процессов, способствующих повышению его (ее) сопротивляемости к конкретному воздействию, и веществ, которые обеспечивают данные процессы. При этом они могут содержаться как внутри материала, так и во внешней среде, что является предпосылкой повышения его коррозионной стойкости путем введения в агрессивную среду ингибиторов взаимодействия. Очевидно, что отсутствие адаптации таких систем привело бы к их полному разрушению.

3. Деструкция цементных композитов при пропарке бывает необратимой и обратимой.

Обратимая деструкция проявляется из-за обратных взаимодействий, она возрастает, как и необратимая деструкция, с повышением температуры, но, в отличие от последней, приводит к обратимым потерям прочности [1, 12]. Независимо от времени пропарки цементного материала он всегда доотвердевает в нормальных условиях ($t = 20 \pm 2$ °C, $W = 95\text{--}100$ %). В этих условиях, в отличие от условий пропарки, уменьшаются обратные взаимодействия, в результате уменьшается сопротивление гидратации, а соответственно, структурообразованию цементного камня (рис. 1).

Очевидно, при отвердевании цементных систем пропаркой применение высоких температур нецелесообразно из-за увеличения необратимой деструкции и скорости обратных реакций (см. рис. 1).

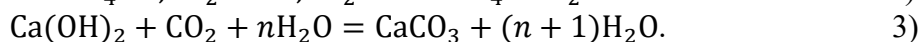
Для количества связей в единице объема материала $N_n(t)$ за время твердения t , которое определяет его прочность, применимо уравнение баланса [12]:

$$N_n(t) = N(t) - N_d(t) - N_o(t), \quad (1)$$

где $N(t)$ – количество связей, которые могли бы образоваться в единице объема бетона за время t при наиболее благоприятных условиях твердения; $N_d(t)$ – количество разорванных связей в единице объема бетона из-за образования необратимых дефектов за время t ; $N_o(t)$ – количество разорванных обратимых связей в единице объема за время t .

4. Материалы, полученные путем обжига, возвращаются к начальному состоянию не мгновенно, а с течением времени, которое зависит от сопротивления изменениям.

Известно, что материалы, полученные из природного сырья термическим способом (неорганические вяжущие, керамический кирпич, сталь обыкновенного качества и т.д.), стремятся со временем к исходному состоянию как наиболее стабильному, т.е. к начальным сырьевым составляющим. Процесс взаимодействия материала с окружающей средой, в результате которого образуются исходные сырьевые компоненты, назван нами физико-химическим возвратом [13]. Наиболее быстро и очевидно происходит физико-химический возврат в композитах на строительном гипсе и гашеной извести под воздействием окружающей среды, содержащей влагу и углекислый газ:





В результате взаимодействий получаются продукты, которые по химическому составу являются исходными сырьевыми ресурсами для получения этих вяжущих. Возврат в различной степени завершенности является причиной проявления связующих свойств затворенных водой неорганических вяжущих веществ. Он же является движущей силой карбонизации бетона и, как следствия, ржавления арматуры, материал которой также возвращается к исходному сырью.

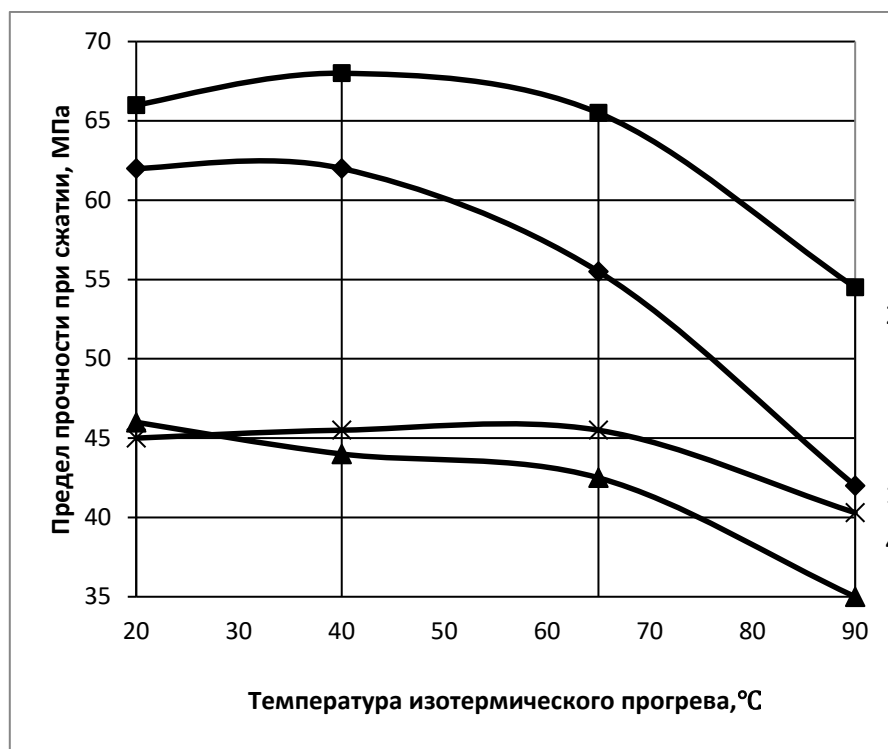


Рис. 1. Зависимость предела прочности при сжатии цементного камня от температуры длительного изотермического прогрева и выдержки в нормальных условиях [1]:

- 1 – камень с В/Ц = 0,3, пропаренный до равновесного состояния;
- 2 – то же и выдержанный 14 сут. в нормальных условиях;
- 3 – камень с В/Ц = 0,35, пропаренный до равновесного состояния;
- 4 – то же и выдержанный 14 сут. в нормальных условиях

5. Физико-химическое сопротивление композитов оценивается показателем сопротивления, который зависит от внутренних ресурсов материала (состава, строения) и от того, как быстро они расходуются (выходят из строя) во время его эксплуатации.

Определяющим критерием, как показали исследования [1, 14–19], является показатель прочности, выражающий непосредственную связь механических и физико-химических свойств материала.

Средства, источники, которые обеспечивают сохранение свойства материала до допустимого предела, характеризуются как его потенциал, количественно определяющий соответствующую характеристику свойства (показатель прочности в данном случае) и косвенно выражаемый через ее значение. **Исследованиями установлено [19], что воздействие на материал в любой момент времени будет оказывать тем большее влияние на потенциал свойства (показатель**



сопротивления), чем больше возможность изменения потенциала и меньше сопротивляемость ему (изменению) в это время. С учетом сказанного закономерность выражается как:

$$\Delta B = \frac{\Delta U}{R}, \quad 4)$$

где ΔB – изменение потенциала (характеристики) свойства материала за любой малый промежуток времени Δt , ΔU – возможное изменение потенциала (характеристики) свойства материала; R – сопротивление изменению потенциала (характеристики) свойства материала в это время.

Закономерность свидетельствует о том, что высокопрочные композиты при равном сопротивлении с менее прочными, будут характеризоваться при воздействиях большими потерями прочности.

В отличие от известного закона Ома для электрической цепи приведенное выражение характеризует изменения во времени. Для определения изменения при длительном воздействии необходимо просуммировать изменения (4) за бесконечно малые промежутки времени в зависимости от факторов, которыми определяются ΔU и R .

Зависимость явилась основой при разработке функций физико-химического сопротивления строительных композитов при их эксплуатации в воде, растворах кислот, щелочей, солей, биологически активных веществ, которые учитывают скорости массопереноса и химических реакций, осложненных сопротивлением; размеры изделий и время воздействия среды [1, 14–18].

6. Поскольку противодействие направлено на сохранение системы, то для него при равных возможностях приоритетны процессы, которые ослабляют воздействие с меньшим изменением ее внутренней энергии, природы. Для систем (материалов) при взаимодействиях с агрессивными средами при равных возможностях предпочтительны процессы, которые способствуют сохранению их основных структурообразующих элементов и связей между ними [8].

К таким процессам можно отнести:

- уплотнение и упрочнение структуры материала, в том числе в результате продолжения или ускорения его отвердевания;
- противодействие веществами, которые не являются структурообразующими составляющими материала, т.е. не оказывают определяющего влияния на его внутреннюю энергию (энергию связей);
- процессы модификации связующих веществ в бетонах компонентами агрессивных сред с сохранением или с незначительным изменением энергии химических связей;
- процессы образования плотных инертных пленок на поверхности материалов, при наличии соответствующих веществ в составе и окружающей среде;
- процессы защиты материала структурообразующими веществами, находящимися в нем в избытке.

7. На основании приведенной предпосылки повышение сопротивления строительных композитов агрессивным воздействиям можно достичь путем введения в их составы свободных или частично связанных веществ, т.е. веществ, не являющихся структурообразующими, способных активно взаимодействовать с агрессивными средами или (и) формировать на



поверхности изделий защитные уплотненные слои.

Данное положение явилось теоретической базой при разработке способов повышения композитов путем введения активных к агрессивным средам добавок, которые не содержат структурообразующих веществ.

Предложены способы повышения физико-химического сопротивления строительных композитов воздействию агрессивных сред, основанные на введении добавок. К числу таких способов можно отнести: введение в составы материалов буферных смесей, ионообменных веществ, восстановителей, мелкодисперсных металлов различной активности, добавок, образующих нерастворимые соединения при взаимодействии с агрессивной средой [20–23].

8. Процессы сопротивления материала при воздействии агрессивных сред могут привести к временному упрочнению, уплотнению, повышению однородности его структуры, т.е. к временному эффекту улучшения свойства или свойств [20]. Выраженные позитивные эффекты физико-химического сопротивления композитов являются предпосылкой улучшения свойств материалов агрессивными воздействиями.

Предпосылка состоит в том, что если жидкие агрессивные среды могут вызывать эффекты уплотнения, упрочнения, повышения физико-химической стойкости, то при действии других разрушающих факторов среды (нагрузок, замораживания и оттаивания и т.д.) также возможны соответствующие позитивные изменения (см. рис. 2). Исследования по выработке адаптации материала к агрессивным воздействиям, проведенные нами, также подтверждают это положение [1, 24–26].



Рис. 2. Влияние попеременного замораживания и оттаивания мелкозернистого бетона в период его твердения в воде (через 14 сут.) на прочность при сжатии:
1 – состав 1:3 и В/Ц = 0,45; 2 – то же с В/Ц = 0,5

Из рис. 2 видно, бетоны, подвергнутые после двух недель водного хранения замораживанию и оттаиванию (от 1 до 3 циклов) с последующей выдержкой до 28 сут. в воде, упрочнялись примерно на 9–17 %. Следует отметить, что бетоны до



замораживания имели не менее 75 % марочной прочности, то есть было неполное отвердевание.

9. Приспособление цементного композита к агрессивным средам во избежание нарушения равновесия его структуры в период эксплуатации целесообразно осуществлять заранее, т.е. на стадии отвердевания, и не только к жидким, но и к другим агрессивным факторам (замораживанию и оттаиванию [25], нагрузкам [26] и т.д.).

Всегда имеется такая степень отвердевания материала, когда в условиях эксплуатации он доотвердевает с образованием более стойких связей, чем твердевшего в начальной среде (табл. 2).

Таблица 2

Влияние степени отверждения цементного камня в воде на его прочность и кислотостойкость [1]

Условия твердения цементного камня из теста с В/Ц=0,5	Время тверде- ния, сут.	Б ₀ , МПа	Б _{пч} , МПа и К _{ст} , отн. ч., в зависимости от времени выдержки в 2%-ной Н ₂ SO ₄ , сут.				Степень отвердения по отношению к отверждению 28 сут. в воде, %
			42		56		
			Б _{пч}	К _{ст}	Б _{пч}	К _{ст}	
Вода, <i>t</i> = 20 ± 2 °С	7	55,8	39,8	0,71	41,6	0,75	74,2
	14	57,8	57,5	0,99	36,0	0,62	76,9
	28	75,2	39,4	0,52	28,4	0,38	100

Условие сохранения материала в окружающей среде запишется в виде:

$$V_0(t) \geq V_n(t), \quad (5)$$

где $V_0(t)$ – скорость уничтожения дефектов и образования адаптированных связей в результате позитивных взаимодействий в интервале времени Δt , $V_n(t)$ – скорость распада связей в интервале времени Δt .

10. Повысить физико-химическое сопротивление строительных композитов можно также путем целенаправленной их адаптации в окружающей среде с применением ингибиторов коррозии.

Они вводятся непосредственно в агрессивные среды. Для цементного бетона возможны следующие физико-химические механизмы взаимодействия ингибиторов с поверхностью материала, способствующие его сохранению в агрессивной среде [27]:

– адсорбция веществ в активных центрах бетонной поверхности или покрытие ее ингибитором и уменьшение тем самым скорости взаимодействия составляющих материала с агрессивной средой;

– перевод поверхности бетона в пассивное состояние в результате образования малорастворимого слоя при взаимодействии с ним ингибитора.

Было установлено, что щавелевая кислота, введенная в 2 % серную кислоту в количестве 0,05 % по массе, эффективно защищает цементный камень от действия агрессивной среды.

Таким образом, при воздействии на систему (материал) возникают процессы сопротивления, направленные на сохранение ее (его) состояния, а соответственно,



и внутренней энергии. Зная процессы сопротивления, можно целенаправленно улучшать свойства композитов как при получении, так и в ходе эксплуатации: повышать прочность, коррозионную стойкость, ускорять и замедлять физико-химический возврат, создать для бетона условия дооттвердевания после пропарки и т.д.

Выводы

1. Установлено, что причина сопротивления систем (материалов) воздействиям окружающей среды в том, что любая система (материал) не стремится потерять свое состояние, которое она приобрела или имеет в любой момент времени перехода к новому состоянию равновесия, а стремится защитить себя от внешнего воздействия с минимальными потерями внутренней энергии.

2. Обратные процессы, протекающие при взаимодействиях материалов с окружающей средой, являются свидетельством их сопротивления изменениям под влиянием воздействий. Независимо от времени пропарки цементного материала, из-за роста обратных взаимодействий с увеличением температуры, т.е. противодействия, он всегда дооттвердевает в нормальных условиях ($t = 20 \pm 2$ °С, $W = 95\text{--}100$ %). Материалы, полученные из природного сырья термическим способом, стремятся со временем к исходному состоянию как наиболее стабильному, то есть к начальным сырьевым составляющим.

3. Воздействие на материал в любой момент времени будет оказывать тем большее влияние на потенциал свойства (характеристику сопротивления), чем больше возможность изменения потенциала и меньше сопротивляемость ему (изменению) в это время. Приведенная зависимость явилась основой при разработке функций физико-химического сопротивления строительных композитов при их эксплуатации в агрессивных средах, которые учитывают скорости массопереноса и химических реакций, осложненных сопротивлением; размеры изделий и время воздействия среды.

4. Для систем (материалов) при взаимодействиях с агрессивными средами при равных возможностях предпочтительны процессы, которые способствуют сохранению их основных структурообразующих элементов и связей между ними. На основании этой предпосылки предложены способы повышения сопротивления строительных композитов воздействию агрессивных сред, основанные на введении активных к агрессивным средам добавок, не влияющих на структурообразование. К числу таких способов можно отнести: введение в составы материалов буферных смесей, ионообменных веществ, восстановителей, мелкодисперсных металлов различной активности, добавок, образующих нерастворимые соединения при взаимодействии с агрессивной средой [20–23].

5. Выраженные позитивные эффекты сопротивления материалов являются предпосылкой улучшения их свойств агрессивными воздействиями. Предпосылка состоит в том, что если жидкие агрессивные среды могут вызывать эффекты уплотнения, упрочнения, повышения физико-химической стойкости, то при действии других разрушающих факторов среды (нагрузок, замораживания и оттаивания и т.д.) также возможны соответствующие позитивные изменения.

6. Повышение физико-химического сопротивления цементных материалов путем адаптации их к агрессивным воздействиям, во избежание нарушения равновесия в его структуре, лучше добиваться в период отвердевания. Повысить сопротивляемость цементного камня можно также введением ингибиторов коррозии в агрессивную среду.



БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Федорцов, А. П. Физико-химическое сопротивление строительных композитов и способы его повышения : монография / А. П. Федорцов. – Саранск : Изд-во Мордовского университета, 2015. – 464 с. – ISBN 978-5-7103-3193-4.
2. Гуревич, Э. А. Химическое сопротивление строительных материалов : учебное пособие / Э. А. Гуревич. – Саратов : Изд-во Саратовского государственного технического университета, 2003. – 52 с. – ISBN 5-7433-1141-2.
3. Лазуткина, О. Р. Химическое сопротивление: учебное пособие / О. Р. Лазуткина. – Екатеринбург : Уральский федеральный университет, 2014. – 140 с. – ISBN 978-5-7996-1157-6.
4. Химическое сопротивление и модели деградации железобетона : учебное пособие / В. П. Селяев, А. К. Осипов, П. В. Селяев, Е. Л. Кечуткина. – Москва, Вологда : Инфра-Инженерия, 2022 – 220 с. – ISBN 978-5-9729-0877-6.
5. Мальцева, А. В. Химическое сопротивление материалов : лабораторный практикум / А. В. Мальцева. – Самара : Самарский государственный технический университет, 2015. – 54 с.
6. Глинка, Н. Л. Общая химия : учебное пособие для вузов / Н. Л. Глинка. – Ленинград : Химия, 1979. – 720 с.
7. Федорцов, А. П. Сопротивление материалов (систем) при воздействиях и его направленность / А. П. Федорцов, В. А. Федорцов, В. Т. Ерофеев // Разработка эффективных авиационных, промышленных, электротехнических и строительных материалов и исследование их долговечности в условиях воздействия различных эксплуатационных факторов : материалы Международной научно-технической конференции. – Саранск : Изд-во Мордовского университета, 2013. – С. 309–313.
8. Федорцов, А. П. О сохранении материалом (системой) структурообразующих элементов и связей при воздействиях / А. П. Федорцов // Актуальные вопросы архитектуры и строительства : материалы Двадцать первой Международной научно-технической конференции. – Саранск : Изд-во Мордовского университета, 2022. – С. 166–175.
9. Самоуплотнение цементного бетона как решающий фактор его водостойкости / А. П. Федорцов, П. И. Новичков, А. Ф. Андронов, В. И. Соломатов // Современные проблемы строительного материаловедения : материалы VI Акад. чтений РААСН. – Иваново : Изд-во ИГАСА, 2000. – С. 532–534.
10. Чернявский, В. Л. Роль адаптации в формировании коррозионной стойкости бетона / В. Л. Чернявский // Известия вузов. Сер. Строительство. – 1995. – № 4. – С. 34–39.
11. Коррозия бетона и железобетона, методы их защиты / В. М. Москвин, Ф. М. Иванов, С. Н. Алексеев, Е. А. Гузеев. – Москва : Стройиздат, 1980. – 536 с.
12. Федорцов, А. П. Влияние длительности тепловлажностной обработки на свойства цементного камня / А. П. Федорцов, Д. А. Клечин, В. Т. Ерофеев // Вестник Волжского регионального отделения РААСН. – Нижний Новгород, 2007. – Выпуск 10. – С. 123–129.
13. Федорцов, А. П. Физико-химический возврат в материалах / А. П. Федорцов // Актуальные вопросы строительства : материалы Всероссийской научно-технической конференции. – Саранск : Изд-во Мордовского университета, 2002. – С. 370–373.
14. Соломатов, В. И. Сопротивление полимербетонов воздействию агрессивных сред / В. И. Соломатов, Ю. Б. Потапов, А. П. Федорцов // Известия вузов. Сер. Строительство и архитектура. – Новосибирск, 1981. – № 2. – С. 78–80.
15. Федорцов, А. П. Позитивная коррозия бетонов как предпосылка улучшения их свойств агрессивными воздействиями / А. П. Федорцов // Вестник Мордовского университета. – 2002. – № 1-2. – С. 152–156.



16. Основы математического моделирования биокоррозии полимербетонов / В. Т. Ерофеев, А. П. Федорцов, А. Д. Богатов, В. А. Федорцов // *Фундаментальные исследования*. – 2014. – № 12-4. – С. 701–707.
17. Ерофеев, В. Т. Биокоррозия цементных бетонов, особенности ее развития, оценки и прогнозирования / В. Т. Ерофеев, А. П. Федорцов, А. Д. Богатов, В. А. Федорцов // *Фундаментальные исследования*. – 2014. – № 12-4. – С. 708–716.
18. Ерофеев, В. Т. Оценка и прогнозирование физико-химического сопротивления стеклощелочных композитов и методы его повышения / В. Т. Ерофеев, А. П. Федорцов, А. Д. Богатов, В. А. Федорцов // *Известия вузов. Сер. Строительство*. – Новосибирск, 2017. – № 6 (702). – С. 5–14.
19. Федорцов, А. П. О потенциале свойства материала и его изменении / А. П. Федорцов, В. А. Федорцов // *Региональная архитектура и строительство*. – Пенза, 2013. – № 3 (17). – С. 39–45.
20. Соломатов, В. И. Позитивный эффект коррозии полимербетонов / В. И. Соломатов, А. П. Федорцов // *Бетон и железобетон*. – 1981. – № 2. – С. 20–21.
21. Федорцов, А. П. Улучшение свойств цементного камня путем введения добавок, образующих буферные системы / А. П. Федорцов, Л. М. Ошкина, Л. А. Мартынова [и др.] // *Вестник Мордовского университета*. – 1998. – № 3-4. – С. 101–105.
22. Ерофеев, В. Т. Повышение коррозионной стойкости цементных композитов активными добавками / В. Т. Ерофеев, А. П. Федорцов, В. А. Федорцов // *Строительство и реконструкция*. – 2020. – № 2 (88). – С. 51–60.
23. Улучшение эксплуатационных свойств цементных композитов комплексными добавками / В. А. Федорцов, С. С. Гладкин, А. П. Федорцов, В. Т. Ерофеев // *Строительные материалы*. – 2023. – № 8. – С. 72–79.
24. Федорцов, А. П. Позитивная коррозия бетонов как предпосылка улучшения их свойств агрессивными воздействиями / А. П. Федорцов // *Вестник Мордовского университета*. – 2002. – № 1-2. – С. 152–156.
25. Федорцов, А. П. Улучшение свойств бетонов агрессивными воздействиями / А. П. Федорцов // *Вестник Мордовского университета*. – 2003. – № 1-2. – С. 135–138.
26. Федорцов, А. П. Улучшение свойств мелкозернистого бетона путем его нагружения при отвердевании изгибающей нагрузкой / А. П. Федорцов, А. Ф. Андронов, В. Т. Ерофеев // *Актуальные вопросы строительства : материалы Международной научно-технической конференции*. – Саранск : Изд-во Мордовского университета, 2008. – С. 214–216.
27. Федорцов, А. П. Защита цементных бетонов от коррозии путем применения ингибиторов и их определение / А. П. Федорцов, В. Т. Ерофеев, А. Ф. Андронов // *Актуальные вопросы строительства : материалы Международной научно-технической конференции*. – Саранск : Изд-во Мордовского университета, 2004. – С. 230–232.

FEDORTSOV Anatoliy Petrovich, candidate of technical sciences, associate professor of the chair of building materials and technologies

**PHYSICO-CHEMICAL RESISTANCE OF BUILDING
COMPOSITES (SYSTEMS), THE PATTERN OF ITS CHANGE
AND THE CHOICE OF WAYS TO INCREASE**

National Research Ogarev Mordovia State University.
24, Sovetskaya St., Saransk, 430000, Russia.
E-mail: fedorcovap@mail.ru

Key words: systems, resistance, material, destruction, adaptation, reverse processes, enhancement methods, composite, thermal effects.



The article provides a definition of the physico-chemical resistance of building composites (systems). It is noted that the so-called "chemical resistance of materials" is characterized only in relation to aggressive media and only during operation. The paper presents the results of studies according to which resistance occurs both during the production of the material and in cases of its transition to other conditions. It has been established that the material does not tend to lose its state, which it acquired or has at any time during the transition to a new state of equilibrium. Indicators of resistance include thermal effects during exposure, the facts of adaptation of materials, and reverse processes in the interaction of materials with the environment. It is concluded that for materials, during interactions, processes are preferred that contribute to the preservation of their main structure-forming elements and the connections between them. The main types of such processes under the action of aggressive media and the methods developed on their basis to increase the strength and physico-chemical resistance of composites are given.

REFERENCES

1. Fedortsov A. P. Fiziko-khimicheskoye soprotivleniye stroitelnykh kompozitov i sposoby yego povysheniya [Physicochemical Resistance of Building Composites and Methods for Its Improvement]: monografiya. Saransk, Izd-vo Mordovskogo universiteta, 2015, 464 p. ISBN 978-5-7103-3193-4.
2. Gurevich E. A. Khimicheskoye soprotivleniye stroitelnykh materialov [Chemical Resistance of Building Materials]: uchebnoye posobiye. Saratov, Izd-vo Saratovskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta, 2003, 52 p. ISBN 5-7433-1141-2.
3. Lazutkina O. R. Khimicheskoye soprotivleniye [Chemical Resistance]: uchebnoye posobiye. Yekaterinburg, Uralskiy federalny universitet, 2014, 140 p. ISBN 978-5-7996-1157-6.
4. Selyaev V. P., Osipov A. K., Selyaev P. V., Kechutkina Ye. L. Khimicheskoye soprotivleniye i modeli degradatsii zhelezobetona [Chemical Resistance and Degradation Models of Reinforced Concrete]: uchebnoye posobiye. Moscow, Vologda, Infra-Inzheneriya, 2022, 220 p. ISBN 978-5-9729-0877-6.
5. Maltseva A. V. Khimicheskoye soprotivleniye materialov [Chemical Resistance of Materials]: laboratorny praktikum. Samara, Samarskiy gosudarstvenny tekhnicheskii universitet, 2015, 54 p.
6. Glinka N. L. Obshchaya khimiya [General Chemistry]: uchebnoye posobiye dlya vuzov. Leningrad, Khimiya, 1979, 720 p.
7. Fedortsov A. P., Fedortsov V. A., Yerofeyev V. T. Soprotivleniye materialov (sistem) pri vozdeystviyakh i yego napravlennost [Resistance of Materials (Systems) Under Impacts and Its Directionality]. Razrabotka effektivnykh aviatsionnykh promyshlennykh elektrotekhnicheskikh i stroitelnykh materialov i issledovaniye ikh dolgovechnosti v usloviyakh vozdeystviya razlichnykh ekspluatatsionnykh faktorov [Development of Effective Aviation Industrial Electrical and Building Materials and Study of Their Durability Under the Influence of Various Operational Factors]: materialy Mezhdunarodnoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii. Saransk, Izd-vo Mordovskogo universiteta, 2013, P. 309–313.
8. Fedortsov A. P. O sokhranении materialom (sistemoy) struktur-obrazuyushchikh elementov i svyazey pri vozdeystviyakh [On the Preservation of Structure-Forming Elements and Bonds in a Material (System) Under Impacts]. Aktualnyye voprosy arkhitektury i stroitelstva [Topical Issues of Architecture and Construction]: materialy Dvadsat pervoy Mezhdunarodnoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii, Saransk, Izd-vo Mordovskogo universiteta, 2022, P. 166–175.
9. Fedortsov A. P., Novichkov P. I., Andronov A. F., Solomatov V. I. Samouplotneniye tsementnogo betona kak reshayushchiy faktor yego vodostoykosti [Self-Compaction of Cement Concrete as a Decisive Factor of Its Water Resistance]. Sovremennyye problemy stroitelnogo



materialovedeniya [Modern Problems of Building Materials Science]: materialy VI Akad. chteniy RAASN. Ivanovo, Izd-vo IGASA, 2000, P. 532–534.

10. Chernyavskiy V. L. Rol adaptatsii v formirovanii korrozionnoy stoykosti betona [The Role of Adaptation in the Formation of Corrosion Resistance of Concrete]. Izvestiya vuzov. Ser. Stroitelstvo [News of Higher Educational Institutions. Construction Series]. 1995, № 4, P. 34–39.

11. Moskvina V. M., Ivanov F. M., Alekseyev S. N., Guzeyev Ye. A. Korroziya betona i zhelezobetona metody ikh zashchity [Corrosion of Concrete and Reinforced Concrete Methods of Their Protection]. Moscow, Stroyizdat, 1980, 536 p.

12. Fedortsov A. P., Klechin D. A., Yerofeyev V. T. Vliyaniye dlitelnosti teplovlazhnostnoy obrabotki na svoystva tsementnogo kamnya [Influence of Duration of Heat-Moisture Treatment on the Properties of Cement Stone]. Vestnik Volzhskogo regionalnogo otdeleniya RAASN [Bulletin of the Volga Regional Branch of RAACS]. Nizhny Novgorod, 2007, Vol.10, P. 123–129.

13. Fedortsov A. P. Fiziko-khimicheskiy vozvrat v materialakh [Physicochemical Return in Materials]. Aktualnyye voprosy stroitelstva [Topical Issues of Construction]: materialy Vserossiyskoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii. Saransk, Izd-vo Mordovskogo universiteta, 2002, P. 370–373.

14. Solomatov V. I., Potapov Yu. B., Fedortsov A. P. Soprotivleniye polimerbetonov vozdeystviyu agressivnykh sred [Resistance of Polymer Concretes to Aggressive Media]. Izvestiya vuzov. Ser. Stroitelstvo i arkhitektura [News of Higher Educational Institutions. Construction and Architecture Series]. Novosibirsk, 1981, № 2, P. 78–80.

15. Fedortsov A. P. Pozitivnaya korroziya betonov kak predposylka uluchsheniya ikh svoystv agressivnymi vozdeystviyami [Positive Corrosion of Concretes as a Prerequisite for Improving Their Properties by Aggressive Impacts]. Vestnik Mordovskogo universiteta [Bulletin of Mordovia University]. 2002, № 1-2, P. 152–156.

16. Yerofeyev V. T., Fedortsov A. P., Bogatov A. D., Fedortsov V. A. Osnovy matematicheskogo modelirovaniya biokorrozii polimerbetonov [Fundamentals of Mathematical Modeling of Biocorrosion of Polymer Concretes]. Fundamentalnyye issledovaniya [Fundamental Research]. 2014, № 12-4, P. 701–707.

17. Yerofeyev V. T., Fedortsov A. P., Bogatov A. D., Fedortsov V. A. Biokorroziya tsementnykh betonov osobennosti yego razvitiya otsenki i prognozirovaniya [Biocorrosion of Cement Concretes Features of Its Development Assessment and Forecasting]. Fundamentalnyye issledovaniya [Fundamental Research]. 2014, № 12-4, P. 708–716.

18. Yerofeyev V. T., Fedortsov A. P., Bogatov A. D., Fedortsov V. A. Otsenka i prognozirovaniye fiziko-khimicheskogo soprotivleniya stekloshchelochnykh kompozitov i metody yego povysheniya [Assessment and Forecasting of Physicochemical Resistance of Alkali-Activated Glass Composites and Methods for Its Improvement]. Izvestiya vuzov. Ser. Stroitelstvo [News of Higher Educational Institutions. Construction Series]. Novosibirsk, 2017, № 6 (702), P. 5–14.

19. Fedortsov A. P., Fedortsov V. A. O potentsiale svoystva materiala i yego izmenenii [On the Potential of a Material Property and Its Change]. Regionalnaya arkhitektura i stroitelstvo [Regional Architecture and Construction]. Penza, 2013, № 3 (17), P. 39–45.

20. Solomatov V. I., Fedortsov A. P. Pozitivnyy effekt korrozii polimerbetonov [Positive Effect of Corrosion of Polymer Concretes]. Beton i zhelezobeton [Concrete and Reinforced Concrete]. 1981, № 2, P. 20–21.

21. Fedortsov A. P., Oshkina L. M., Martynova L. A. [et al.] Uluchsheniye svoystv tsementnogo kamnya putem vvedeniya dobavok obrazuyushchikh bufernyye sistemy [Improvement of Cement Stone Properties by Introducing Additives Forming Buffer Systems]. Vestnik Mordovskogo universiteta [Bulletin of Mordovia University]. 1998, № 3-4, P. 101–105.

22. Yerofeyev V. T., Fedortsov A. P., Fedortsov V. A. Povysheniye korrozionnoy stoykosti tsementnykh kompozitov aktivnymi dobavkami [Increasing Corrosion Resistance of



Cement Composites with Active Additives]. *Stroitelstvo i rekonstruktsiya* [Construction and Reconstruction]. 2020, № 2 (88), P. 51–60.

23. Fedortsov V. A., Gladkin S. S., Fedortsov A. P., Yerofeyev V. T. Uluchsheniye ekspluatatsionnykh svoystv tsementnykh kompozitov kompleksnymi dobavkami [Improvement of Operational Properties of Cement Composites with Complex Additives]. *Stroitelnyye materialy* [Construction Materials]. 2023, № 8, P. 72–79.

24. Fedortsov A. P. Pozitivnaya korroziya betonov kak predposylka uluchsheniya ikh svoystv agressivnymi vozdeystviyami [Positive Corrosion of Concretes as a Prerequisite for Improving Their Properties by Aggressive Impacts]. *Vestnik Mordovskogo universiteta* [Bulletin of Mordovia University]. 2002, № 1-2, P. 152–156.

25. Fedortsov A. P. Uluchsheniye svoystv betonov agressivnymi vozdeystviyami [Improvement of Concrete Properties by Aggressive Impacts]. *Vestnik Mordovskogo universiteta* [Bulletin of Mordovia University]. 2003, № 1-2, P. 135–138.

26. Fedortsov A. P., Andronov A. F., Yerofeyev V. T. Uluchsheniye svoystv melkozernistogo betona putem yego nagruzheniya pri otverdevanii izgibayushchey nagruzkoy [Improvement of Fine-Grained Concrete Properties by Loading It with Bending Load During Hardening]. *Aktualnyye voprosy stroitelstva* [Topical Issues of Construction]: materialy Mezhdunarodnoy nauchno-tehnicheskoy konferentsii. Saransk, Izd-vo Mordovskogo universiteta, 2008, P. 214–216.

27. Fedortsov A. P., Yerofeyev V. T., Andronov A. F. Zashchita tsementnykh betonov ot korrozii putem primeneniya ingibitorov i ikh opredeleniye [Protection of Cement Concretes from Corrosion by Using Inhibitors and Their Determination]. *Aktualnyye voprosy stroitelstva* [Topical Issues of Construction]: materialy Mezhdunarodnoy nauchno-tehnicheskoy konferentsii. Saransk, Izd-vo Mordovskogo universiteta, 2004, P. 230–232.

© А. П. Федорцов, 2025

Получено: 11.11.2025 г.