

6. Kolmogorov A.G. Plevkov V.S. *Raschet zhelezobetonnyh konstrukcij po rossijskim i zarubezhnym normam* [Calculation of reinforced concrete structures on the Russian and international standards]. Tomsk: Izd-vo «Pechatnaja manufaktura», 2009. 496 p.

7. Bajkov V.N., Sigalov Je.E. *Zhelezobetonnye konstrukcii. Obshhij kurs* [Reinforced concrete structures. General Course]. Moscow, Strojizdat, 1976. 783 p.

8. Karpenko N.I. K postroeniju obshhix krite-riev deformirovanija i razrushenija zhelezobetonnyh jelementov [Construction of the general criteria of deformation and fracture of concrete elements]. *Beton i zhelezobeton*, 2012, no 5. pp. 19-24.

*Краснощевков Юрий Васильевич (Россия, г. Омск) – доктор технических наук, доцент, профессор кафедры «Строительные конструкции»,*

*ФГБОУ ВПО «СибАДИ» (644080, г. Омск, пр. Мира, 5, e-mail: uv1942@mail.ru).*

*Галузина Роксана Александровна (Россия, г. Омск) – магистрант, ФГБОУ ВПО «СибАДИ» (644080, г. Омск, пр. Мира, 5, e-mail: galuzinaroksana@mail.ru).*

*Krasnoshchekov Yury Vasilyevich (Russian Federation, Omsk) – doctor of technical sciences, the associate professor, professor of Construction Designs chair, The Siberian automobile and highway academy (SIBADI) (644080, Omsk, Mira Ave., 5, e-mail: uv1942@mail.ru).*

*Galuzina Roxana Aleksandrovna (Russian Federation, Omsk) – the undergraduate, The Siberian automobile and highway academy (SIBADI) (644080, Omsk, Mira Ave., 5, e-mail: galuzinaroksana@mail.ru).*

УДК 691.33

### ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ПРЕДПОСЫЛКИ СОЗДАНИЯ ЦЕМЕНТНЫХ КОМПОЗИТОВ ПОВЫШЕННОЙ НЕПРОНИЦАЕМОСТИ

В.С. Лесовик<sup>1</sup>, Р.С. Федюк<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, Россия, г. Белгород;

<sup>2</sup>Дальневосточный федеральный университет, Россия, г. Владивосток.

**Аннотация.** В работе рассматриваются вопросы разработки композиционных вяжущих для получения бетона с повышенными характеристиками газо-, водо- и паропроницаемости. Исследованы процессы формирования композиционных материалов в порядке уменьшения масштабных уровней от макро- до наноструктурного. Предложены критерии для оптимизации количества дисперсной добавки в бетон. Теоретически изучены технологические особенности формирования гидратной структуры цементного камня. Спрогнозировано положительное влияние нанодисперсных добавок на структуру и физико-механические характеристики цементных композиционных материалов.

**Ключевые слова:** цементный камень, композиционное вяжущее, нанодисперсная добавка, непроницаемость, пористость.

#### Введение

Важнейшей задачей современности являются снижение энергоемкости получения эффективных строительных композитов, улучшение экологической обстановки, оптимизация системы «человек-материал-среда обитания». Эти проблемы характерны и для Дальневосточного региона Российской Федерации, приоритетное развитие которого является важнейшей государственной задачей.

Промышленность строительных материалов широко использует в качестве конструкционного материала бетон на цементном вяжущем и природных заполнителях; в то же время в Дальневосточном регионе в результате деятельности предприятий горнодобывающей промышленности и топливно-

энергетического комплекса образуются крупнотоннажные отходы золы и отсевов дробления на щебень горных пород различного состава.

Представляется необходимым оптимизация процессов структурообразования бетонных смесей за счет использования промышленных отходов, что позволит повысить прочностные характеристики и значительно снизить проницаемость композитов, применяемых в зданиях и сооружениях, где предъявляются повышенные требования к прочности (например в несущих железобетонных конструкциях зданий повышенной этажности) или при защите от сильно агрессивных сред (например, в инженерных подземных сооружениях, где необходима пониженная газо-, и

водопроницаемость. Это будет способствовать улучшению экологической обстановки в регионе за счет использования промышленных отходов.

Главной составной частью бетона, оказывающей решающее влияние на его свойства и эксплуатационные характеристики, является цементный камень. Основным его компонент – гидросиликаты кальция, образующие пространственную структуру, которая включает в себя непрореагировавшую часть цементных зерен, покрытых оболочкой из гидратных новообразований, а также межзерновое пространство, которое частично заполнено гидратными новообразованиями. Гидросиликаты кальция могут иметь разное строение. В частности, различают кристаллическое, полукристаллическое или аморфное строение. Кристаллическое строение имеют в основном гидросиликаты, образовавшиеся при тепловой и автоклавной обработке, а также при кристаллизации новообразований в порах и в межзерновом пространстве [1].

### Формирования композиционных материалов повышенной непроницаемости

Свойства композитов во многом зависят от структуры дисперсных систем, из которых они составлены [2]. Структурная прочность данной дисперсной системы, ее устойчивость, скорость разрушения и восстановления структуры практически всегда связаны между собой. Конгломератный строительный материал – бетон относится к классу композитов. Матричной субстанцией бетона, последовательно по масштабным уровням структуры выступают цементно-песчаный камень, цементный камень (так называемый микробетон), цементирующее вещество, новообразования этого цементирующего вещества, твердая фаза новообразований, суб-

станция единичного структурного элемента новообразования, что соответствует масштабному порядку от макро- до наноуровня структуры [3]. Упорядоченность структуры композитов обусловлена соразмерностью масштабных уровней структуры – соответствием свойств композита на каждом масштабном уровне [4]. Достижение высокой прочности бетона обеспечивает сочетание ряда факторов: повышение плотности систем в результате оптимизации зернового состава; снижение количества пор цементного камня за счет снижения В/Ц; заполнение пор между частицами цемента и улучшение реологии в результате эффекта смазки; образование вторичных продуктов гидратации в процессе пуццолановой реакции с  $\text{Ca(OH)}_2$  при введении в бетон добавок-микронаполнителей [5].

Рассмотрим процессы формирования композиционных материалов в порядке уменьшения масштабных уровней от макро- до наноструктурного. Макроструктура бетона представлена плотно упакованными зернами заполнителя, раздвинутого и склеенного цементным тестом [6]. В ходе формирования макроструктуры цементное тесто первоначально обмазывает зерна заполнителя, а затем заполняет его межзерновые пустоты с равномерной раздвижкой зерен. При увеличении объема клеящего вещества каркас заполнителя становится более решетчатым – упаковка зерен уменьшает свою плотность [7]. На макроуровне сырьевую смесь можно смоделировать как полидисперсную систему «заполнитель–вяжущая часть», в которой пространственный скелет образуют крупные зерна заполнителя, промежутки между которыми заполнены дисперсными частицами вяжущей части (рис. 1).

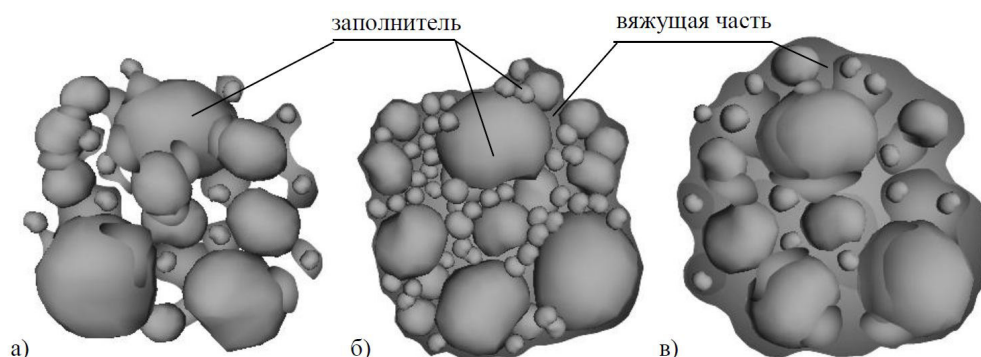


Рис. 1. а – недостаток вяжущей части, б – плотная упаковка заполнителя, в – избыток вяжущей части

В работах [8-10] изложены физико-химические представления о процессах взаимодействия микро- и наночастиц в дисперсных минеральных системах. С уменьшением размера частиц возрастает электростатический заряд на их поверхности, в связи с этим повышаются силы взаимодействия частиц [10]. Главная причина образования устойчивых коллоидных и высокомолекулярных структур – это присутствие дальнедействующих сил притяжения между отдельными частицами. Такие силы обратно пропорциональны кубу расстояния между частицами. Притяжение между коллоидными частицами явно проявляется на расстоянии до нескольких сотен нанометров. Условием слипания (коагулирования) частиц является преобладание сил притяжения между ними над короткодействующими силами отталкивания [8]. Кроме того, не стоит забывать, что первоначальный период гидратации цементного теста сопровождается седиментационными процессами – зерна заполнителей и цемента под действием сил тяжести осаждаются. Время седиментации увеличивается за счет удерживания мелкодисперсной фракции во взвешенном состоянии, т.е. за счет снижения действия гравитационных сил [11].

При переходе к наноразмерам происходят значительные изменения в электронной проводимости, оптическом поглощении, химико-реакционной способности, а также в механических свойствах, в значениях поверхностной энергии и морфологии поверхности композитов [12]. Наноразмерная кальций-кремний-гидратная фаза (гель C-S-H) гидратированного цементного теста, обладающая сложной морфологией [13], в основном представлена сетью пластин наночастиц, размерность которых составляет  $60 \times 30 \text{ нм}^2$ , а толщина – 5 нм. Применение в бетоне наносиликатов позволяет не только заметно улучшить пространственную упаковку его составляющих (цемента, наполнителей, заполнителей), снизить пористость и значительно повысить прочность, но и контролировать реакции образования и превращений гидросиликатов кальция C-S-H, ответственных за обеспечение долговечности цементного камня, а также определяющих ряд строительно-технических характеристик бетона – усадку и ползучесть [12]. Глобулы геля C-S-H, содержащие внутренние нанопоры, заполненные структурной водой, представляют собой твердую фазу с характеристическими размерами в несколько нм, ответственную за все пороупругие свойства цементного теста. Введение в бетонную смесь наноразмерных частиц (диаметром до

100 нм) оказывает существенное влияние на долговечность. Например, коллоидный кремнезем – микрочастицы диоксида кремния ( $\text{SiO}_2$ ), диспергированные в воде и стабилизированные диспергирующей добавкой из частиц еще меньшего размера, взаимодействуют с гидроксидом кальция быстрее, чем микрокремнезем [14].

Для оптимального насыщения структуры цементного камня цементом и наполнителем необходимо произвести оптимизацию количества дисперсной добавки в бетон, главными критериями которой являются:

- достижение максимально плотной упаковки частиц в цементном тесте;
- максимальное насыщение цемента микронаполнителем при отсутствии контактов частиц между собой, если размеры частиц наполнителя соизмеримы с частицами цемента. В этой связи актуальным является введение шлакового микронаполнителя с оптимальной дисперсностью (даже возможно незначительной активностью) в состав мелкозернистого бетона (МЗБ), что позволяет экономить в среднем от 30-40 % цемента без снижения физико-механических характеристик изделий с одновременным увеличением эксплуатационных качеств композиционного материала.

Несмотря на вышеизложенные положения, до настоящего времени в строительном материаловедении отсутствуют адекватные математические модели прогнозирования проницаемости цементных композиционных материалов, что сковывает разработку общих методов подбора состава вяжущих с заданными свойствами непроницаемости в различные сроки твердения [15].

Поэтому, возьмем за основу модель С.А. Королева [15], в которой система макрокапилляров цементных композитов непрерывна и является межкристаллитным образованием в структуре цементного камня. Фактическое строение макрокапилляров является четочным цилиндрическим, расчетное строение – цилиндрическое с приведенным гидравлическим радиусом (рис. 2).

Образование макропор и макрокапилляров обусловлено технологическими особенностями формирования гидратной структуры цементного камня:

- кристаллизацией гидратных новообразований вблизи поверхности цементного камня с образованием микроскопических кластерных образований с упорядоченной структурой и неплотной упаковкой;
- наличием свободной влаги, заземленной между кристаллитными образованиями,

которая не участвует в гидратации цемента и снижающей плотность упаковки макроскопических гидратных образований;

- низкой плотностью гидратных микроскопических кластерных образований, которые

являются субкристаллической фазой, содержащей макрокапиллярную и гелевую пористость, способную адсорбировать или физико-химически связывать свободную влагу.

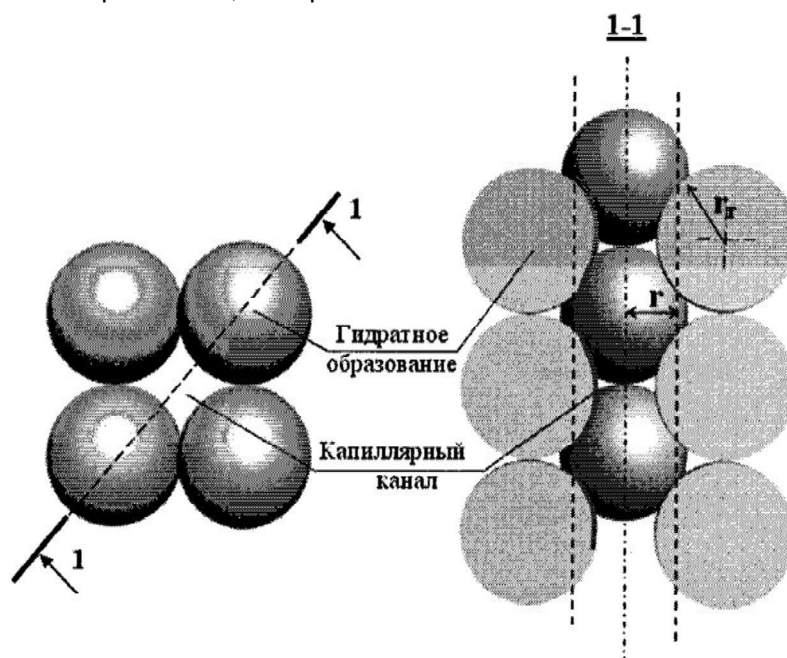


Рис. 2. Модель цементного композита

Согласно [16], поры с размером более 10 мкм не являются капиллярными, и их необходимо рассматривать как дефекты структуры. Поэтому макропоры (макрокапилляры) обладают одним размерным порядком с кластерными гидратными образованиями цементного камня. Структурообразование цементного камня в виде кластерных образований связано с накоплением продуктов гидратации в виде значительных субмикроструктурных образований размером более 10 мкм. Кристаллизация таких скоплений происходит на протяжении времени с поверхности вглубь с длительным сохранением определенного количества незакристаллизованной фазы. С этой точки зрения макропоры являются внутрикластерным образованием. Фактическое и расчетное строение субкристаллических кластерных образований можно представить в виде сферолитов с приведенным радиусом. На этой базе можно принять сферолито-решеточную расчетную модель структуры цементного камня (см. рис. 2).

Критериями плотности структуры цементного камня являются такие его параметры как радиус макрокапилляров и геометрическая плотность. Причем радиус макрокапилляров включает в себе несколько параметров структуры: объем макрокапиллярных пор, удель-

ную поверхность и плотность кристаллитных кластерных образований. Геометрическая или структурная плотность характеризуется отношением радиуса макроскопических кластерных гидратных образований к порядку структурной решетки.

Согласно [17], снижения пористости и повышения прочности (плотности) матрицы можно добиться применением тонкомолотых добавок и пластификаторов (супер- и гиперпластификаторов), при этом водоцементное отношение не должно превышать 0,4.

Тонкомолотые добавки положительно влияют на структурообразование бетона («эффект микронаполнителя») [18]. Этот эффект прослеживается в том, что высокодисперсные частицы имеют более тонкий гранулометрический состав, чем портландцемент. При повышении объемной концентрации добавок уменьшается пористость цементного камня в бетоне. Однако при достижении максимума наполнения высокодисперсной добавкой происходит уменьшение прочности бетона вследствие снижения сцепления цементного камня с заполнителем. В смешанной системе цемента с высокодисперсными добавками необходимо, чтобы тонкомолотые частицы не обволакивали поверхность образующихся фаз и, соответственно, не препят-

ствовали срастанию между кристаллогидратами. Это условие может быть соблюдено при оптимизации объемной концентрации добавки в композите с учетом гидравлической активности.

Для микродобавки оптимальной дозировкой должен быть объем, сопоставимый с объемом капиллярных пор и необходимый для заполнения соответствующих пустот, а также повышения плотности упаковки структуры [19]. Эффект заполнения пустот является физическим фактором и наблюдается независимо от гидравлической активности высокодисперсной добавки.

Повышение прочности вяжущих при введении в их состав тонкомолотых добавок, помимо гидравлической активности, также может быть объяснено образованием мельчайшими зернами добавок центров кристаллизации в контактной зоне цемента. «Эффект микронаполнителя» нельзя обосновать лишь образованием дополнительных центров кристаллизации, в связи с тем, что их непосредственное действие проявляется в повышении скорости начальной стадии химического твердения. В основе «эффекта микронаполнителя» лежат как химические процессы взаимодействия цемента с продуктами гидратации, так и физико-химические явления, например влияние поверхностной энергии частиц тонкомолотых добавок. В присутствии нанодисперсной добавки в бетонах происходит упрочнение контактной зоны между цементным камнем и заполнителем. В бетонах на основе портландцемента без нанодобавок зона контакта обычно разуплотнена по сравнению с цементным тестом, и включает большое количество пластинчатых кристаллов гидроксида кальция, у которых продольная ось перпендикулярна поверхности заполнителя. Следовательно, она более подвержена образованию микротрещин при растягивающих усилиях, возникающих при изменениях обычных условий температуры и влажности. Таким образом, контактная зона из-за своей структуры является наиболее слабой в бетоне и поэтому оказывает большое влияние на его прочность. Введение нанодисперсных добавок в значительной степени снижает капиллярную пористость контактной зоны за счет резкого уменьшения общего содержания  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ .

Положительное влияние на микроструктуру контактной зоны можно достичь введением сравнительно небольшого количества нанодисперсной активной минеральной добавки, такой как зола уноса ТЭС. В цементных системах, содержащих гидравлически активные

минеральные добавки, происходит образование при твердении дополнительного количества  $\text{CSH}$  за счет взаимодействия  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  с активным кремнеземом или алюмосиликатом наполнителя. Вследствие этих процессов образуются дополнительные фазовые контакты (контакты срастания между кристаллогидратами) и увеличение плотности цементного камня, что и определяет высокую прочность цементной системы.

Кроме того, не следует забывать, что помимо введения в цемент тонкомолотых активных добавок, увеличение удельной поверхности самого цемента также позволяет регулировать активность вяжущего. Известно, что, измельчая один и тот же портландцементный клинкер и соответственно изменяя долю частиц размером 5–20 мкм в общей массе цементного порошка, можно получать портландцемент марок 600, 700 и 800, а также особо быстро твердеющий цемент.

Кроме характеристик удельной поверхности, гранулометрического состава цементного порошка форма зерен портландцемента также оказывает значительное влияние на его вяжущие свойства.

Доподлинно известно, что частицы цемента, имеющие «щебеночную» (осколочную) форму с острыми углами и сильно развитой конфигурацией, в отличие от «галькообразных» (округлых) частиц гидратируют в воде значительно интенсивнее. Имея одинаковые характеристики удельной поверхности, равное содержанию частиц цемента размерами 0–20 мкм, одинаковый химический состав, прочность цементного камня, который состоит из частиц осколочной формы, будет больше, чем прочность цементного камня, который состоит из частиц округлой формы. Как следствие из этого, скорость твердения портландцемента с осколочной формой частиц больше, нежели с округленной формой. Исходя из этих позиций, лишь только изменение формы частиц цементного зерна с округленной на осколочную при других одинаковых условиях обеспечит увеличение активности портландцемента в среднем на 10 МПа [16].

### Выводы

Изучив теоретические аспекты создания особо прочных бетонов с повышенной непроницаемостью, делаем выводы:

- прогнозируется положительное влияние нанодисперсных добавок на структуру и физико-механические характеристики цементных композиционных материалов, таких как: уменьшение общей пористости цементного камня в бетоне при повышении объемной концентрации и удельной поверхности на-

полнителя; связывание гидроксида кальция аморфизированным кремнеземом, увеличение активности минеральных добавок при их тонком измельчении; увеличение скорости начальной стадии химического твердения цементных систем с тонкомолотыми частицами добавок, которые служат центрами кристаллизации; образование кластеров «вяжущее – добавка» за счет высокой поверхностной энергии частиц нанодисперсных добавок; увеличение прочности контактной зоны между цементным камнем и заполнителями в бетоне;

- модифицированные таким образом бетоны гораздо быстрее набирают прочность, чем традиционные. Причиной этому служат малое В/Ц, и, кроме того более активное тепловыделение за счет быстрой гидратации цемента. Увеличение прочности на растяжение и модуля упругости по времени происходит быстрее, чем рост прочности на сжатие. За счет небольшого объема капилляров скорость проникновения жидких и газообразных веществ в модифицированный бетон гораздо меньше аналогичных показателей бетонов обычной прочности;

- сложным представляется прогнозирование образования трещин, которые возникают на поверхности бетона или в матрице вследствие, в частности, аутогенной усадки. Процессы, вызывающие деформации бетонов обычной прочности, в основном, тоже характерны для модифицированных бетонов: это деформации ползучести, сухая усадка из-за выделения влаги в окружающую среду, аутогенная усадка за счет внутреннего высыхания и пр. Из-за своих повышенных свойств, таких как: хорошее соотношение прочности к объемной плотности, высокая плотность и долговечность, модифицированный бетон может применяться при решении достаточно разнообразных практических задач строительной отрасли. Учитывая современный технологический уровень, производство бетонов повышенной непроницаемости не представляет особых сложностей. В то же время, получение проектных параметров и выбор оптимального состава бетона при использовании химических наномодификаторов и супер- (гипер-) пластификаторов требуют научного исследования и эмпирической проверки его качества.

### Библиографический список

1. Алексашин, С.В. Повышение морозостойкости и водонепроницаемости мелкозернистых бетонов для речных гидросооружений: дисс. ... канд. тех. наук. 05.23.05 / Алексашин Сергей Владимирович. – М.: МГСУ, 2014. – 114 с.

2. Кучеренко, А.А. Порошковая технология бетона. Часть 2 / А.А. Кучеренко // Технологии бетонов. – 2009. – № 1. – С. 58-60.

3. Чернышов, Е.М. Структурная неоднородность строительных композитов: вопросы материаловедческого обобщения и развития теории (часть 2) / Е.М. Чернышов // Российская академия архитектуры и строительных наук. Вестник отделения строительных наук. Научное издание. Вып. 15. – Москва-Орел-Курск, 2011. – С. 223-239.

4. Образцов, И.В. Оптимизация зерновых составов цементно-минеральных смесей для производства строительных композитов методами компьютерного моделирования: дисс. ... канд. тех. наук. 05.23.05 / Образцов Илья Вячеславович. – Тверь: ТГТУ, 2014. – 131 с.

5. Миляев, И.В. Оптимизация свойств модифицированного цементного камня / И.В. Миляев // Научный Вестник ВГАСУ. – 2009. – №5. – С.102-104.

6. Laurent P. Granger. Effect of Composition on Basic Creep of Concrete and Cement Paste / Laurent P. Granger, Zdenek P. Bazant, Fellow, ASCE. // Journal Of Engineering Mechanics. November 1995. pp.1261-1270.

7. Шумков, А.И. Формирование и оптимизация макроструктуры тяжелого бетона / А.И. Шумков // Технологии бетонов. – 2008. – №7. – С.52-53.

8. Хархардин А.Н. Модели потенциалов и сил / А.Н. Хархардин // Известия вузов. – №2. – 2011. – С.117-126.

9. Хархардин, А.Н. Структурная топология дисперсных систем взаимодействующих микро- и наночастиц / А.Н. Хархардин // Известия вузов. – 2011. – №5. – С.119-125.

10. Хархардин, А.Н. Тяжелый бетон с плотным структурным каркасом заполнителя / А.Н. Хархардин, А.И. Топчиев // Известия высших учебных заведений. Строительство. – 2001. – № 4. – С. 54..

11. Shurcliff William A. Super solar houses — Saunders's 100% solar, low-cost designs/ William A. Shurcliff. – Brick House Publishing Company. – 1983. – 118 p.

12. Фаликман, В.Р. Наноматериалы и нанотехнологии в современных бетонах / В.Р. Фаликман // «ALITINFORM» Международное аналитическое обозрение. – 2011. – № 5-6 (22). – С.34-48.

13. Богусевич, В.А. Мелкозернистый бетон на основе техногенных песков КМА для зимнего бетонирования: дисс. ... канд. тех. наук. 05.23.05 / Богусевич Виктор Александрович. – Белгород : БГТУ им. В.Г. Шухова, 2014. – 172 с.

14. Кожухова, Н.И. Зависимость механизма структурообразования от химического состава как ключевого фактора вяжущей системы / Н.И. Кожухова, А.И. Бондаренко, М.И. Кожухова, В.В. Строкова // Строительный комплекс России. Наука. Образование. Практика: материалы международной научно-практической конференции. – Улан-Удэ: Изд-во ВСГУТУ. – 2012. – С.162-164.

15. Королев, С.А. О новом подходе в математическом прогнозировании водонепроницаемости цементных композитов / С.А. Королев // Вестник ЮУрГУ. – 2008. – № 25. – С. 31-36.

16. Ветехтин, В.И. Концентрация микропор в цементном камне и их распределение по размерам / В.И. Ветехтин, А.Н. Бахтибаев, Е.А. Егоров // Цемент. – 1989. – № 1. – С. 8-10.

17. Ляхевич, Г.Д. Теоретические аспекты, экспериментальные исследования и эффективность использования высокопрочных бетонов для мостовых конструкций / Г.Д. Ляхевич, С.А. Звонник, Г.А. Ляхевич, А.Б. Альаззави // Наука и техника. – 2014. – № 5. – С. 48-54.

18. Власов, В. К. Механизм повышения прочности бетона при введении микронаполнителя / В. К. Власов // Бетон и железобетон. – 1988. – № 10. – С. 9–11.

19. Красный, И. М. О механизме повышения прочности бетона при введении микронаполнителей / И. М. Красный // Бетон и железобетон. – 1987. – № 5. – С. 10–11.

### THEORETICAL PREREQUISITES OF CREATION OF CEMENT COMPOSITES OF THE INCREASED IMPERMEABILITY

V.S. Lesovik, R.S. Fedjuk

**Abstract.** The paper deals with the development of composite binders to produce concrete with improved characteristics of gas, water and water vapor permeability. The processes of formation of composite materials in order of decreasing scale levels from the macro to the nanostructure. The criteria for the optimization of the number of the dispersed additives in concrete. In theory, we studied the technological features of the formation of hydrated cement stone structure. Nanodispersed predict a positive effect of additives on the structure and physico-mechanical properties of cement composite materials.

**Keywords:** cement stone, composite binders, nanodispersed supplement, impenetrability, porosity.

#### References

1. Aleksashin S.V. *Povyshenie morozostojko-sti i vodoneproniaemosti melkozernistykh betonov dlja rechnykh gidrosooruzhenij: diss. kand. teh. nauk* [Povysheniye of frost resistance and water tightness of fine-grained concrete for river hydroconstructions: diss. cand. tech. Sciences]. Moscow, MGSU, 2014. 114 p.

2. Kucherenko A.A. *Poroshkovaja tehnologija betona. Chast' 2* [Powder technology of concrete]. *Tehnologii betonov*, 2009, no 1. pp. 58-60.

3. Chernyshov E.M. *Strukturnaja neodnorodnost' stroitel'nykh kompozitov: voprosy materialovedcheskogo obobshhenija i razvitija teorii (chast' 2)* [Structural heterogeneity of construction composites: questions of materials research generalization and development of the theory (part 2)]. *Rossijskaja akademija arhitektury i stroitel'nykh nauk. Vestnik otdelenija stroitel'nykh nauk. Nauchnoe izdanie. Vyp. 15*. Moskva-Orel-Kursk, 2011. pp.223-239.

4. Obrazcov I.V. *Optimizacija zernovykh so-stavov cementno-mineral'nykh smesej dlja proiz-vodstva stroitel'nykh kompozitov metodami kom-p'juternogo modelirovanija: diss. kand. teh. nauk.* [Optimization of grain compositions of cement and mineral mixes for

production of construction composites by methods of computer modeling: dis. cand. tech. sciences]. *Obrazcov Il'ja Vjacheslavovich. Tver': TGTU, 2014. 131 p.*

5. Miljaev I.V. *Optimizacija svojstv modifirovannogo cementnogo kamnja* [Optimization of properties of the modified cement stone]. *Nauchnyj Vestnik VGASU*, 2009, no 5. pp.102-104.

6. Laurent P. Granger. *Effect of Composition on Basic Creep of Concrete and Cement Paste* / Laurent P. Granger, Zdenek P. Bazant, Fellow, ASCE. // *Journal Of Engineering Mechanics*. November 1995. pp.1261-1270.

7. Shumkov A.I. *Formirovanie i optimizacija makrostrukturnykh tjazhelogo betona* [Formation and optimization of a macrostructure of heavy concrete]. *Tehnologii betonov*, 2008, no 7. pp.52-53.

8. Harhardin A.N. *Modeli potencialov i sil* [Models of potentials and forces]. *Izvestija vuzov*, no 2, 2011. pp.117-126.

9. Harhardin A.N. *Strukturnaja topologija dispersnykh sistem vzaimodejstvujushchih mikro- i nanochastic* [Structural topology of the disperse systems interacting micro and nanoparticles]. *Izvestija vuzov*, 2011, no 5. pp.119-125.

10. Harhardin A.N., Topchiev A.I. *Tjazhelyj beton s plotnym strukturnym karkasom zapolnitelja* []. *Izvestija vysshih uchebnykh zavedenij. Stroitel'stvo*, 2001, no 4. pp. 54.

11. Shurcliff William A. *Super solar houses — Saunders's 100% solar, low-cost designs/ William A. Shurcliff*. Brick House Publishing Company. 1983. 118 p.

12. Falikman V.R. *Nanomaterialy i nanotehnologii v sovremennykh betonah* [Nanomaterialy and nanotechnologies in modern concrete]. «ALITINFORM» *Mezhdunarodnoe analiticheskoe obozrenie*, 2011, no 5-6 (22). pp.34-48.

13. Bogusevich V.A. *Melkozernistyj beton na osnove tehnogennykh peskov KMA dlja zimnego betonirovanija: diss. kand. teh. nauk* [Fine-grained concrete on the basis of the KMA technogenic sand for winter concreting: dis. cand. technical. sciences]. Belgorod, BGTU im. V.G. Shuhova, 2014. 172 p.

14. Kozhuhova N.I., Bondarenko A.I., Kozhuhova M.I., Strokova V.V. *Zavisimost' mehanizma strukturoobrazovanija ot himicheskogo sostava kak ključevogo faktora vjazhushhej sistemy* [Zavisimost' of the structurization mechanism from a chemical composition as key factor of the knitting system]. *Stroitel'nyj kompleks Rossii. Nauka. Obrazovanie. Praktika: materialy mezh-dunarodnoj nauchno-praktičeskoj konferencii*, Ulan-Udje: Izd-vo VSGUTU, 2012. pp.162-164.

15. Korolev S.A. *O novom podhode v matematicheskom prognozirovanii vodoneproniaemosti cementnykh kompozitov* [O new approach in mathematical forecasting of water tightness of cement composites]. *Vestnik JuUrGU*, 2008, no 25. pp. 31-36.

16. Betextin V.I., Bahtibaev A.N., Egorov E.A. *Koncentracija mikropor v cementnom kamne i ih raspredelenie po razmeram* [Kontsentracion of micropores in a cement stone and their distribution by the sizes]. *Cement*, 1989, no 1. pp. 8-10.

17. Ljahevich G.D., Zvonnik S.A., Ljahevich G.A., Al'azzavi A.B. Teoreticheskie aspekty, jeksperimental'nye issledovanija i jeffektivnost' ispol'zovanija vysokoprochnyh betonov dlja mostovyh konstrukcij [Theoretical aspects, pilot studies and efficiency of use of high-strength concrete for bridge designs]. *Nauka i tehnika*, 2014, no 5. pp. 48-54.

18. Vlasov V. K. Mehanizm povyshenija prochnosti betona pri vvedenii mikronapolnitelja [Mekhanizm of increase of durability of concrete at introduction of a microfiller]. *Beton i zhelezobeton*, 1988, no 10, pp. С. 9–11.

19. Krasnyj I.M. O mehanizme povyshenija prochnosti betona pri vvedenii mikronapolnitelej [O the mechanism of increase of durability of concrete at introduction mikronapolnite-pour]. *Beton i zhelezobeton*, 1987, no 5. pp. 10–11.

*Лесовик Валерий Станиславович (Белгород, Россия) – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой строительного материаловедения, изделий и конструкций ФТБОУ ВПО*

*«БГТУ им. В.Г. Шухова» (308012 г. Белгород, ул. Костюкова, 46, e-mail: naukavs@mail.ru).*

*Федюк Роман Сергеевич (Владивосток, Россия) – старший преподаватель учебного военного центра ФГАОУ ВПО «ДФУ» (690000, г. Владивосток, о. Русский, п. Аякс, 20, e-mail: fedyuk.rs@dvfu.ru).*

*Valeriy S. Lesovik (Belgorod, Russian Federation) – doctor of technical sciences, professor, Head of Chair of building materials, products and structures, Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov (308012, Kostjukova Str., 46, Belgorod, Russian Federation e-mail: naukavs@mail.ru).*

*Roman S. Fediuk (Vladivostok, Russian Federation) – senior lecturer of Military Training Center, Far Eastern Federal University (690000, Russkiy Island, 20 Ayax, Vladivostok, Russian Federation, e-mail: fedyuk.rs@dvfu.ru).*

УДК 625.731.3

### ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТРЕБУЕМОЙ ПРОЧНОСТИ ГЕОСИНТЕТИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ ПРОТИВОЭРОЗИОННОЙ ЗАЩИТЫ НЕПОДТОПЛЯЕМЫХ ОТКОСОВ ЗЕМЛЯНОГО ПОЛОТНА

В.А. Шнайдер, Г.М. Левашов, В.В. Сиротюк  
ФГБОУ ВПО «СибАДИ», Россия, г. Омск.

**Аннотация.** *Применение геосинтетических материалов для противоэрозийной защиты откосов земляного полотна находит всё большее применение. В России и за рубежом выпускают десятки разновидностей геосинтетики для укрепления грунтовых откосов. Но до настоящего времени не сформированы обоснованные требования к прочности геосинтетических материалов и методы расчёта их устойчивости на поверхности откоса. Нет рекомендаций по определению расстояния между анкерами, удерживающими геосинтетический материал на откосе. В данной статье даются краткие рекомендации по вышеперечисленным вопросам.*

**Ключевые слова:** *противоэрозийная защита откосов, расчёт устойчивости, геосинтетические материалы.*

#### Введение

Автомобильные дороги находятся под постоянным агрессивным воздействием не только транспорта, но и погодноклиматических факторов. Одним из этих факторов является эрозийное воздействие воды на откосы насыпей и выемок земляного полотна. Для повышения противоэрозийной устойчивости откосов необходимо производить их укрепление. Защита от эрозии: «Предотвращение или ограничение перемещения частиц грунта или других частиц по поверхности откоса (склона), стабилизация подвижных грунтов» [1].

Известны десятки способов укрепления поверхности неподтопляемых откосов [2]. На протяжении десятилетий основным способом укрепления откосов земляного полотна авто-

мобильных дорог на неподтопливаемых территориях является формирование на них растительного покрова посредством посева многолетних трав по слою растительного грунта или торфогрунтовой смеси. Это самый простой и надежный способ укрепления откосов в соответствии с классификацией типов укреплений. Отдавая должное этому простому и недорогому способу, следует отметить, что довольно часто надёжный растительный покров не успевает сформироваться и поверхность откоса подвергается интенсивному размыву дождевыми и тальными водами. Этот процесс наиболее характерен для регионов с неблагоприятными погодными условиями и при сооружении земляного полотна из малоплодородных грунтов (песок, золошлаковая смесь и т.п.).