

СТРОИТЕЛЬСТВО И АРХИТЕКТУРА
BUILDING AND ARCHITECTURE

УДК 691.33

DOI: 10.21822/2073-6185-2022-49-1-140-148

Оригинальная статья / Original Paper

Межфазные явления при увлажнении электростатического фибробетона

М.Р. Нахаев

Грозненский государственный нефтяной технический университет имени академика

М.Д. Миллионщикова,

364051, г. Грозный, пр. Исаева, 100, Россия,

Чеченский государственный университет имени А.А. Кадырова,

364024, г. Грозный, ул. Шерипова, 32, Россия

Резюме. Цель. Целевые ориентиры современного строительства требуют поиска и развития новых эффективных технологий. Основная тенденция в строительной архитектуре – это создание зрелищных (здания-символы, предметы соревнований стран) объектов и сооружений, привлекающих внимание людей и пополняющих список уникальных достопримечательностей. Для реализации таких проектов необходимо внедрять высокотехнологичные передовые приемы, которым и является электростатический метод изготовления фибробетона. **Метод.** В работе рассматривается новый метод формования изделий и сооружений из фибробетона с помощью электростатики. Важное место в методе занимают физика межфазных явлений, а именно смачивание и капиллярные эффекты. Электростатическое осаждение слоев сухой бетонной смеси на формообразующий каркас происходит с помощью электростатических распылителей. **Результат.** Данный метод позволяет экономить цемент, вследствие применения водоцементного отношения, близкого к теоретической величине. Обсуждается вопрос об уплотнении нанесенных слоев сухой бетонной смеси вследствие смачивания водой с поверхностно-активными добавками. В связи с этим рассматривается кинетика заполнения водой сквозных и тупиковых капилляров и другие аспекты новой технологии. Разработано гидрофильное вяжущее с использованием добавки лигносульфоната кальция, позволяющее проявить эффективность метода электростатике в дальнейшем. **Вывод.** Процессы смачивания и кинетики заполнения жидкостью капилляров и каналов различной формы между частицами сухой бетонной смеси, а также уплотнение порошковой системы в результате увлажнения позволят реализовать трудные и уникальные проекты в реальность. Разработанный гидрофильный цемент на основе поверхностно-активной добавки ЛСТ (0,25%) способствует эффекту межфазового электростатического сцепления, за счет чего улучшаются свойства фибробетона.

Ключевые слова: электростатический фибробетон, легкий сеточный каркас, сухая бетонная смесь, волокна, увлажнение, смачивание, капиллярные эффекты

Для цитирования: М.Р. Нахаев. Межфазные явления при увлажнении электростатического фибробетона. Вестник Дагестанского государственного технического университета. Технические науки. 2022; 49(1): 140-148. DOI:10.21822/2073-6185-2022-49-1-140-148

Interphase phenomena during humidification electrostatic fiber concrete

M.R. Nakhaev

M.D. Millionshchikov Grozny State Oil Technical University,

100 Isaev Ave., Grozny 364051, Russia,

A.A. Kadyrov Chechen State University,

32 Sheripova Str., Grozny 364024, Russia

Abstract. Objective. The targets of modern construction require the search and development of new efficient technologies. The main trend in building architecture is the creation of spectacular

(buildings-symbols, objects of competitions of countries) objects and structures that attract the attention of people and add to the list of unique attractions. To implement such projects, it is necessary to introduce high-tech advanced techniques, which is the electrostatic method of manufacturing fiber-reinforced concrete. **Method.** The paper considers a new method of forming products and structures from fiber-reinforced concrete using electrostatics. An important place in the method is occupied by the physics of interfacial phenomena, namely wetting and capillary effects. The electrostatic deposition of layers of dry concrete mixture on the shaping frame occurs with the help of electrostatic sprayers. **Result.** This method allows saving cement, due to the use of a water-cement ratio close to the theoretical value. The issue of compaction of applied layers of dry concrete mix due to wetting with water with surface-active additives is discussed. In this regard, the kinetics of filling through and dead-end capillaries with water and other aspects of the new technology are considered. A hydrophilic binder has been developed using calcium lignosulfonate additive, which makes it possible to demonstrate the effectiveness of the electrostatic method in the future. **Conclusion.** The processes of wetting and the kinetics of liquid filling capillaries and channels of various shapes between the particles of the dry concrete mixture, as well as the compaction of the powder system as a result of moisture, will make it possible to realize difficult and unique projects in reality. The developed hydrophilic cement based on the surface-active additive LST (0.25%) contributes to the effect of interfacial electrostatic adhesion, thereby improving the properties of fiber-reinforced concrete.

Key words: electrostatic fiber-reinforced concrete, light mesh frame, dry concrete mixture, fibers, wetting, wetting, capillary effects

For citation: M.R. Nakhaev. Interphase phenomena during humidification electrostatic fiber concrete. Herald of Daghestan State Technical University. Technical Sciences. 2022; 49(1):140-148. (In Russ.) DOI:10.21822/2073-6185-2022-49-1-140-148

Введение. Две с лишним тысячи лет назад строители Римской империи брали вулканический пепел, пемзу и туф и тщательно измельчали их. Эту смесь, иногда с добавлением извести, использовали как вяжущее при приготовлении бетона и растворов [1]. Теперь это называется пуццолановый цемент или портландцемент с пуццоланой. Он производится при помоле клинкера с добавлением активных минеральных добавок. С тех пор в строительстве используются десятки марок цементов и многие десятки составов бетонов. Технологии бетонных работ тоже динамично менялись.

Например, сравнительно недавно появился способ изготовления изделий и сооружений из бетона с применением электростатики. Существенные отличия от давно известных технологий получения изделий из бетона заключается в том, что, во-первых, требуется формообразующая основа, например, в виде арматурно-сеточного каркаса изделия, который покрывается сухой бетонной смесью с помощью электростатических распылителей. Во-вторых, этот каркас может быть очень легким, что существенно снижает его материалоемкость и облегчает его изготовление. Электростатическое осаждение слоев сухой бетонной смеси на формообразующий каркас происходит с помощью электростатических распылителей [2,3]. Порошок сухой смеси оседает на каркас без удара и заметного механического воздействия, в отличие от технологии покрытия, например, торкретбетоном, которым покрывают прочную основу с сильным ударом, поскольку струя диспергированного бетона имеет скорость 80-100 м/с.

Постановка задачи. Формообразующий каркас может быть легким потому, что первый же электростатически осажденный слой сухого фибробетона после увлажнения водой и небольшой выдержки времени заметно увеличивает прочность каркаса. По мере увеличения количества слоев бетона и их увлажнения быстро увеличивается прочность каркаса, многократно опережая нагрузку от увеличения массы нанесенного фибробетона. Поэтому формообразующий каркас можно делать легким. Во многих случаях для изготовления каркаса можно использовать тонкую стальную сетку, аналогично применению их в армоцементных конструкциях. В армоцементной плите армирующая основа – это несколько параллельных тонких мелкострук-

турных стальных сеток, как правило, покрытых цинком, отстоящих на расстоянии нескольких миллиметров друг от друга в матрице из плотного цементно-песчаного бетона [4].

Поэтому для изготовления каркаса сооружения можно использовать арматурную проволоку, сварную или тканую сетку из проволоки. Для улучшения покрытия формообразующей основы сухой смесью бетона в некоторых случаях можно дублировать стальную сетку прорезанной грубой тканью (редкой мешковиной) из джута и других гидрофильных волокон. Всё это снижает трудоемкость и металлоемкость изготовления формообразующего каркаса для малоэтажных построек.

В традиционной технологии часто высокий расход бетона – это следствие того, что бетонная смесь оптимального состава (имеется в виду, в первую очередь количество воды по отношению к массе вяжущего) обладает повышенной жесткостью. Жесткая смесь с трудом заполняет форму, особенно с густой арматурой. Из-за этого толщина стенок при проектировании изделия закладывается больше, чем это необходимо для обеспечения нужной прочности. Особенно это вредно при большой серийности изделий, так как повышенная масса сказывается на экономических показателях [5]. Существует распространенный конструкторский прием: для уменьшения расхода бетона с одновременным сохранением жесткости изделия, форму делают с внешним или внутренним оребрением. Но этот прием связан с существенным повышением сложности и стоимости форм для изготовления оребренных изделий из железобетона. Этот прием широко используется в другой области – при проектировании изделий из пластмасс или изделий для литья под давлением из сплавов цветных металлов. Особенность этих изделий из пластмассы и металла в том, что они производятся в литейных формах тиражом десятками и сотнями тысяч и стоимость дорогой литейной формы сравнительно быстро окупается.

Исключительного мастерства в деле применения ребер жесткости для своих архитектурных проектов из железобетона достиг Пьер Луиджи Нерви [6]. Кроме решения важной технической задачи, применением ребер жесткости П.Л. Нерви достигает в своих проектах функциональной выразительности (рис. 1).



Рис. 1. П.Л. Нерви. Авиационный ангар в Орбетелло, 1938. Развитые высокие и одновременно узкие ребра жесткости из железобетона придают своду ангара прочность [7]

Fig. 1. P.L. Nerves. Aircraft hangar in Orbetello, 1938. Developed high and at the same time narrow reinforced concrete stiffeners give the hangar vault strength [7]

Снижение расхода цемента достигают уменьшением водоцементного отношения (В/Ц). Но при этом увеличивается жесткость бетона, что нежелательно. В этом случае облегчают заполнение бетоном форм с густой арматурой применением пластификаторов, суперпластификаторов и других технологических добавок [8, 9]. Новая технология изготовления многих типов изделий и сооружений с применением электростатики позволяет работать во всем диапазоне водоцементных отношений и с различными смесями по составу. В том числе, с минеральными добавками естественного или техногенного происхождения, прошедшими механоактивацию при тонком измельчении [10]. Тонкое измельчение широко используется в производстве строи-

тельных материалов, что требует повышенного расхода электроэнергии [11]. Но увеличенный расход энергии оправдывается, так как минеральные добавки, прошедшие тонкое измельчение, увеличивают свою удельную поверхность и химическую активность, что способствует ускорению технологических процессов и повышению качества продукции.

Методы исследования. Благодаря применению в новой технологии электростатики появляется возможность раздельного нанесения на формообразующий каркас изделия сухой бетонной смеси и последующего увлажнения ее. Применение оптимального водоцементного отношения дает экономию цемента без снижения прочности изделий. Для точного определения величины В/Ц нужно провести дополнительные исследования, чтобы по времени и другим условиям увлажнения получить бетон с заданным отношением В/Ц. Для лучшего смачивания компонентов сухой смеси бетона вода, как правило, должна содержать поверхностно-активные вещества (ПАВ).

Лучше проводить увлажнение нанесенного слоя сухого бетона генератором холодного тумана [11]. Имеющиеся на рынке генераторы тумана распыляют воду каплями размером не более 50 мкм. Повторяют циклы покрытия сухой смесью и увлажнения водой до получения необходимой толщины фибробетона. Между циклами делают выдержки времени для набора фибробетоном начальной прочности.

Здесь рассмотрим физические и другие условия для увлажнения компонентов сухой смеси бетона. В этом процессе важная роль принадлежит физике межфазных явлений, а именно смачиваемости и капиллярным эффектам.

Важная стадия в новом методе – это процесс смачивания водой сухой бетонной смеси, электростатическим методом нанесенной на каркас изделия. О степени смачивания жидкостью твердой поверхности судят по так называемому краевому углу. Краевой угол смачивания измеряется в точке встречи трех фаз:

- жидкости (в нашем случае капля воды);
- твердой поверхности, на которой «сидит» капля;
- газа (обычно воздуха).

Для измерения краевого угла нужно в точке схождения упомянутых трех фаз провести касательную к поверхности капли. На рис. 2 краевой угол θ – это направление от подложки против часовой стрелки.

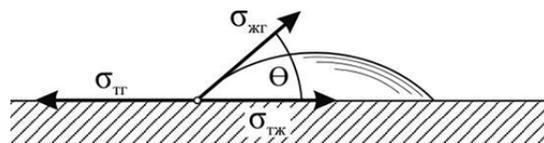


Рис. 2. Определение угла смачивания θ жидкостью твердой поверхности
Fig. 2. Determination of the contact angle θ with a liquid of a solid surface

При полном смачивании угол $\theta = 0^\circ$. Условно полагают, что при плохом смачивании угол $\theta = 90^\circ$ и больше, вплоть до 180 градусов [12]. Случай почти абсолютного не смачивания в природе – это небольшая капля росы, лежащая на листе травы, покрытым растительным воском.

$$\cos \theta = (\sigma_{TG} - \sigma_{TJ}) / \sigma_{JG}. \quad (1)$$

Поэтому в технологии электростатического нанесения наличие веществ на частицах цемента и других компонентов сухой бетонной смеси и особенно волокон, заметно снижающих смачивания их водой, нужно относиться внимательно.

В случае сферической межфазной поверхности, например, для малой капли радиусом r , закон П. Лапласа для определения давления p_σ внутри капли имеет вид [15]:

$$p_\sigma = 2\sigma_{12} / r, \quad (2)$$

где σ_{12} – поверхностное натяжение воды на границе с воздухом, r – радиус капли или мениска.

При вогнутом мениске давление в жидкости понижено по сравнению с давлением в воздухе. Для выпуклого мениска давление в жидкости будет больше, чем в воздухе или в другом окружающем газе.

Например, для капли воды радиусом 1 мкм, давление внутри капли, обусловленное поверхностным натяжением, равно около 150 кПа (1,5 бар). Это говорит о том, что проявления поверхностного натяжения не так уж малы применительно к микрообъектам, к которым можно отнести частицы сухой бетонной смеси и узкие капилляры, и поровое пространство между ними. Поэтому смачивание и капиллярные эффекты играют определяющую роль в процессах увлажнения, пропитке и уплотнения частиц осажденной на формообразующий каркас сухой бетонной смеси.

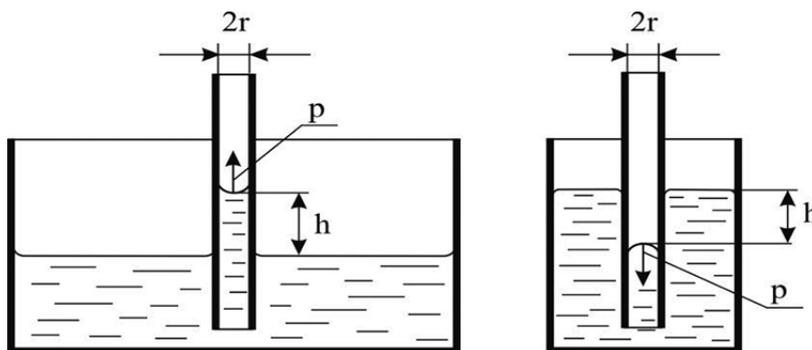


Рис. 3. Два случая в опытах по смачиванию (слева - жидкость смачивает стенки узкой трубки; справа - жидкость не смачивает стенки трубки)
Fig. 3. Two cases in wetting experiments

(left – liquid wets the walls of a narrow tube; right – the liquid does not wet the tube walls)

Обсуждение результатов. Жидкость поднимается, если она смачивает стенки капилляра. Этот случай показан на рис. 3 слева (гидрофильный капилляр). Справа показан вариант, когда жидкость не смачивает стенки гидрофобного капилляра (например, ртуть в стекле). На какую высоту h поднимется жидкость по капилляру вычисляется по формуле:

$$h = (2\sigma \cos \Theta) / \rho g r, \quad (3)$$

где r – радиус узкой трубки, ρ – плотность жидкости, g – ускорение силы тяжести.

Если в системе лучше смачивание и узкие каналы – больше капиллярный подъем.

Например, за 400 миллионов лет эволюции у деревьев появились весьма тонкие сосуды. Сосуды обеспечивают подъем питательных соков в деревьях на многие десятки метров. При вертикальном канале между частицами гидрофильного цемента шириной 10 мкм, при σ воды, равном 0,072 Н/м, угол смачивания водой гидрофильного цемента примем $\cos \Theta = 60^\circ$, высота поднятия воды по зазору между частицами будет 1,47 м. Реально между частицами цемента будет очень извилистый канал и, кроме того, он будет частично перекрываться другими частицами. Но вода, обладая хорошими смачивающими свойствами, обладает хорошими проникающими свойствами.

Зависимость глубины проникания жидкости в сквозной цилиндрический капилляр от времени имеет вид:

$$h = [(r \sigma t \cos \Theta) / 3\mu]^{1/2}, \quad (4)$$

где μ – коэффициент вязкости, σ – коэффициент поверхностной энергии, θ – краевой угол, r – радиус капилляра, t – время.

Расчет для зазора размером 5 мкм между частицами гидрофильного цемента при Θ близком к нулю дает заполнение водой зазора длиной 24 мм за 5 с. Но реально, видимо, скорость заполнения будет примерно в 1,5 раза меньше в силу эффекта повышения вязкости полярных жидкостей в узких капиллярах [16] и вследствие взаимодействия воды с цементом. Что достаточно для быстрой пропитки водой слоя из минеральных частиц.

В порошковых системах, если жидкости будет недостаточно, то вода уйдет из широких капилляров в более мелкие. Это следует из выражения (3). При наличии больших зазоров меж-

ду частицами сухой бетонной смеси, жидкость из более широких каналов и каверн будет перетекать в более узкие капилляры. Конечно, попавшая вода в микротрещины на поверхности самой частицы, никуда не перетечет. Потому, что микротрещины на поверхности частиц априори меньше большинства зазоров между частицами цемента, тонкого песка и других активных добавок [17,18] и волокон.

Представляет интерес наполнение жидкостью капилляра, один конец которого глухой. Наполнение такого капилляра длиной h_0 будет происходить до того момента пока давление за счет поверхностного натяжения в жидкости не сравняется с давлением в парогазовой смеси в тупиковом конце капилляра. Это произойдет, когда жидкость проникнет в капилляр на высоту h (рис. 4). Когда первый этап закончится, капилляр будет продолжать заполняться, но во много раз медленнее. Объясняется это тем, что молекулы воздуха, запертые в глухом капилляре, сначала диффундируют в жидкость, а потом выходят из жидкости в атмосферу.

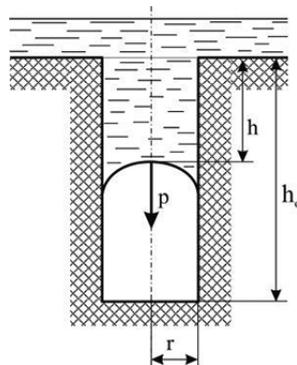


Рис. 4. Заполнение тупикового цилиндрического капилляра жидкостью
Fig. 4. Filling a dead-end cylindrical capillary with liquid

Растворимость воздуха в воде при нормальной температуре и давлении очень низка, поэтому диффузия молекул воздуха идет медленно. В случае заполнения каналов между частицами сухой бетонной смеси, вода, за счет малого краевого угла в системе «вода - цемент», и попутно взаимодействия с другими компонентами сухой смеси бетона, быстро пропитывает всю порошковую систему.

Частицы порошковой минеральной смеси образуют поровое пространство различной морфологии. В этой связи интересно рассмотреть картину заполнения водой глухих конических каналов. Оказывается, они заполняются с двух сторон (рис. 5).

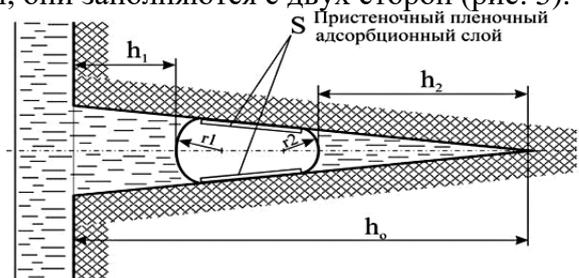


Рис. 5. Пропитка конического тупикового капилляра жидкостью
Fig. 5. Impregnation of a conical dead end capillary with liquid

На рис. 5 обозначено: r_1 и r_2 – радиусы большого и маленького менисков, S – адсорбированная пленка жидкости, прилегающая к стенке канала; h_0 - общая длина глухого конусного канала; h_1 – глубина жидкости на входе в глухой канал; h_2 – часть у вершины капилляра, занятая жидкостью.

Адсорбционный пленочный слой жидкости, показанный на рис. 5, всегда существует в силу наличия раскливающего давления [19], открытого Дерягиным Б.В. и имеющего большое значение в физике межфазных явлений. Испарение жидкости с мениска с меньшей кривизной r_1 и конденсация водяного пара на мениске большей кривизны r_2 вносит очень небольшой вклад по сравнению с пленочным пристеночным течением при заполнении конусного глухого

канала. Уплотнение смачиваемых частиц сухой бетонной смеси (цемент, тонкий песок, активные минеральные частицы и волокна) при увлажнении водой (рис. 6).

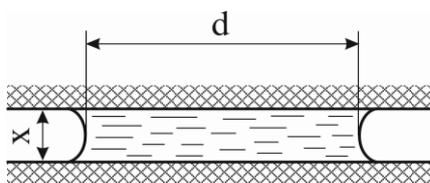


Рис. 6. Уплотнение смачиваемых частиц сухой бетонной смеси
Fig. 6. Compaction of wetted particles in dry concrete

Силы смачивания можно рассматривать как силы, приложенные к линии соприкосновения жидкости и твердого тела. Их можно рассматривать также как силу натяжения поверхности мениска, образуемого жидкостью в зазоре « x » между частицами.

Эта поверхность представляет собой растянутую куполообразную пленку, в данном случае как часть тора, стремящуюся сократиться. Закон Лапласа определяет зависимость капиллярного давления P от средней кривизны поверхности раздела граничащих фаз (например, воды и воздуха) и поверхностного натяжения σ . Капиллярное давление в зазоре с плоскими параллельными стенками, расположенными на расстоянии « x » друг от друга, рассчитывается по формуле (3). В соответствии с ней капиллярное давление растет при уменьшении зазора между частицами и достигает максимума при сближении до субмикронного расстояния между частицами и достигает многих десятков килопаскалей.

Проведенный основательный анализ уникальных возможностей технологии электростатики подтолкнул к разработке гидрофильного цемента, обеспечивающего быстрое и качественное прилипание бетонной смеси на формообразующий каркас и на последующие слои бетона. Получение гидрофильного цемента требует использования соответствующих добавок, смачивающих цементный порошок и повышающих пластичность формовочной массы. Исследовалась гидрофильная добавка лигносульфоната кальция (ЛСТ), которая вводилась в помольный агрегат в процессе тонкого измельчения портландцементного клинкера в дозировке 0,10 – 0,35% от массы клинкера (рис. 7).

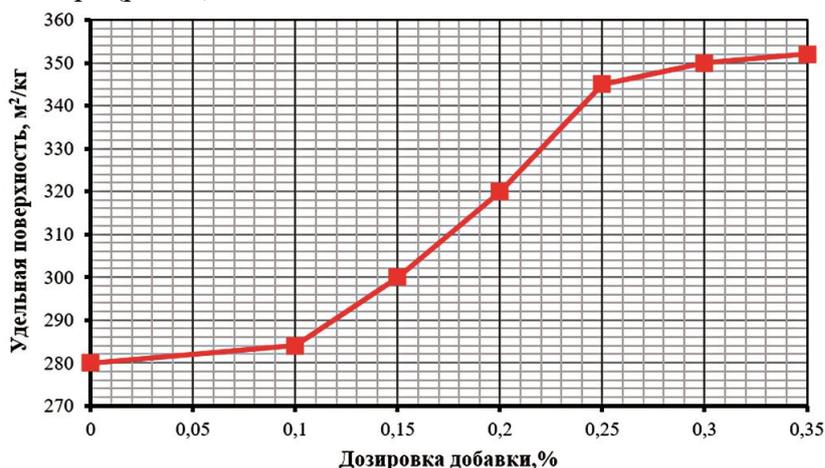


Рис. 7. График зависимости удельной поверхности гидрофильного цемента от дозировки ЛСТ
Fig. 7. Graph of the dependence of the specific surface area of hydrophilic cement on the dosage of calcium lignosulfonate

Полученный гидрофильный цемент позволит получать бетонные и растворные смеси достаточно подвижные; при этом при водоцементном отношении 0,36 был получен расплыв конуса встряхивающего столика составил 136 мм, что на 12% выше, чем на стандартном портландцементе. Рецептуры гидрофильного цемента и свойства цементного камня приводятся в табл. 1.

Таблица 1. Рецептуры и свойства гидрофильного цемента
Table 1. Formulations and properties of hydrophilic cement

Дозировка ЛСТ, % Dosage LST, %	Удельная поверхность, м ² /кг Specific surface, m ² /kg	Нормальная густота цементного теста, % Normal density of cement paste, %	Сроки схватывания, час-мин. Setting time, hour- min.		Активность, МПа Activity, MPa
0,20	320	23,5	00-41	00-52	49,6
0,25	345	22,0	00-25	00-36	51,0
0,30	350	22,5	00-32	00-45	50,1

Полученные составы гидрофильного цемента, показали, что дозировка 0,25% от массы клинкера наиболее выгодная, нормальная густота цементного теста (НГЦТ) снизилась на 12%, удельная поверхность 345 м²/кг, сроки схватывания короткие, через 12 минут начинается схватывание смеси, что позволит наносить последующие слои бетонной массы на формообразующий каркас. Прочностные показатели образцов балочек на гидрофильном цементе при оптимальной дозировке ЛСТ 0,25% показали среднее значение 51 МПа, что выше проектной активности портландцемента М500, гарантированно обеспечивая высокую жесткость и прочность композиции электростатического фибробетона.

Вывод. Важное место в новой технологии занимает физика межфазных явлений, а именно смачивание и капиллярные эффекты. Электростатическое осаждение слоев сухой бетонной смеси на формообразующий каркас происходит с помощью электростатических распылителей. Вторая стадия процесса – дозированное увлажнение сухой бетонной смеси тонкораспыленной водой.

Рассмотрены процессы смачивания и кинетика заполнения жидкостью капилляров и каналов различной формы между частицами сухой бетонной смеси, а также уплотнение порошковой системы в результате увлажнения. Полученный гидрофильный цемент на основе поверхностно-активной добавки ЛСТ (0,25%) позволит реализовать эффект межфазового электростатического сцепления за счет смачивания частиц цемента добавкой, что вследствие применения водоцементного отношения, близкого к теоретической величине, улучшает свойства фибробетона.

Библиографический список:

1. Венюа М. Цементы и бетоны в строительстве. М.: Стройиздат. 1980. 415 с.
2. Кокоев М.Н., Федоров В.Т. Электростатическое формование изделий из армированного бетона // Бетон и железобетон. 1997. № 6. С. 17-19.
3. Кокоев М. Федоров В.Т. Электростатический армированный бетон // Строительные материалы. 2004. № 6. С. 29-31.
4. Леденев В.В., Худяков А.В. Оболочечные конструкции в строительстве. Теория, проектирование, конструкции, примеры расчета. Тамбов. Изд. «ТГТУ». 2016. 272 с.
5. ГОСТ 21509-76 от 1977-01-01 Лотки железобетонные оросительных систем. Технические условия.
6. Иванова Е.К., Кацнельсон Р.А. Пьер Луиджи Нерви. М.: Стройиздат. 1968. 128 с.
7. <https://www.booksite.ru/fulltext/1/001/009/001/212794202.jpg>
8. Баженов Ю.М., Комар А.Г. Технология бетонных и железобетонных изделий. М.: Стройиздат. 1984. 672 с.
9. Волженский А.В. Минеральные вяжущие вещества. М.: Стройиздат. 1986. 464 с.
10. Патент RU 2528332, МПК (2006.01) С04 В7, опубл. 10.09.2014. Интенсификаторы помола цементного клинкера.
11. Болдырев В.В. Механохимия и механическая активация твердых веществ // Успехи химии. Т. 75. N 3. 2006. С. 203-216.
12. Гергель В.И., Цариченко С.Г., Поляков Д.В. Пожаротушение тонкораспыленной водой установками высокого давления оперативного применения // Пожарная безопасность. No 2. 2006. С.125-131.
13. Адамсон А.В. Физическая химия поверхностей. М.: Мир. 1979. 568 с.
14. Аксельруд Г.А., Альштулер М.А. Введение в капиллярно-химическую технологию. М.: Химия, 1983.263 с.
15. Moore F. G. Integration or segregation: How do molecules behave at oil/water interfaces? / F. G. Moore, G. L. Richmondruen // *Accounts of Chemical Research*. 2008. Vol. 41, no. 6. P. 739-748.
16. Зенгуил Э. Физика поверхности. М.: Мир. 1990. 534 стр.
17. Сумм Б.Д. Основы коллоидной химии. М.: Академия, 2006. 240 с.

18. Нахаев М.Р. Составы ОТДВ для инъекционного закрепления грунтов с комплексным наполнителем различного генезиса / И.Я. Харченко, М.Р. Нахаев, С.-А.Ю. Муртазаев [и др.] // Экология и промышленность России. 2015. No 3. С. 48-52.
19. Дерягин Б. В. К вопросу об определении понятия и величины расклинивающего давления и его роли в статике и кинетике тонких слоев жидкостей // «Коллоидный журнал». 1955. т. 17. В. 3.

References:

1. Venua M. Cements and Concrete in Construction. M.: *Stroyizdat*. 1980; 415 (In Russ)
2. Kokoev M.N., Fedorov V.T. Electrostatic molding of reinforced concrete products. *Concrete and reinforced concrete*. 1997; 6:17-19. (In Russ)
3. Kokoev M.N., Fedorov V.T. Electrostatic Reinforced Concrete. *Building Materials*. 2004; 6. (In Russ)
4. Ledenev V.V., Khudyakov A.V. Shell structures in construction. Theory, design, structures, calculation examples. Tambov. *Publishing house "TSTU"*. 2016; 272. (In Russ)
5. Bazhenov Yu.M., Komar A.G. Technology of concrete and reinforced concrete products. M: *Stroyizdat*. 1984; 672.: 497-498. (In Russ)
6. GOST 21509-76 from 1977-01-01 Reinforced concrete trays for irrigation systems. Technical conditions. (In Russ)
7. <https://www.booksite.ru/fulltext/1/001/009/001/212794202.jpg>
8. Ivanova E.K., Katsnelson R.A. Pier Luigi Nervi. M.: *Stroyizdat*. 1968;128. (In Russ)
9. Volzhensky A.V. Mineral binders. M.: *Stroyizdat*. 1986; 464. (In Russ)
10. Patent RU 2528332, IPC (2006.01) C04 B7, publ. 09/10/2014. Cement clinker grinding intensifiers. (In Russ)
11. Boldyrev V.V. Mechanochemistry and mechanical activation of solids. *Advances in chemistry*. 2006; 75(3): 203-216. (In Russ)
12. Gergel V.I., Tsarichenko S.G., Polyakov D.V. Fire extinguishing with water mist with high pressure installations of operational use. *Fire safety*. 2006; 125-131. (In Russ)
13. Adamson A.V. Physical chemistry of surfaces. M.: *Mir*. 1979;568. (In Russ)
14. Axelrud G.A., Altshuler M.A. Introduction to capillary-chemical technology. Moscow: *Chemistry*. 1983; 263(In Russ)
15. Moore F.G. Integration or segregation: How do molecules behave at oil/water interfaces?/F.G. Moore, G.L. Richmondruen. *Accounts of Chemical Research*. 2008; 41(6):739-748.
16. Zenguil E. Surface Physics. M.: *Mir*. 1990;534. (In Russ)
17. Summ B.D. Fundamentals of Colloidal Chemistry. Moscow: *Academy*, 2006;240. (In Russ)
18. Nahaev M.R. Compositions of OTDV for injection consolidation of soils with a complex filler of various genesis / I.Ya. Kharchenko, M.R. Nakhaev, S.-A. Yu. Murtazaev [et al.] *Ecology and Industry of Russia*. 2015;3:48-52. (In Russ)
19. Deryagin B.V. To the question of the definition of the concept and value of wedging pressure and its role in the statics and kinetics of thin layers of liquids. *Colloid Journal*. 1955; 17:3. (In Russ)

Сведения об авторе:

Нахаев Магомед Рамзанович, кандидат технических наук, доцент, институт строительства, архитектуры и дизайна, Грозненского государственного нефтяного технического университета имени академика М.Д. Миллионщикова, проректор по научной работе и инновациям Чеченского государственного университета имени А.А. Кадырова; mr-nakhaev@mail.ru

Information about author:

Magomed R. Nakhaev., Cand. Sci. (Eng.), Assoc. Prof., Institute of Construction, Architecture and Design, Grozny State Oil Technical University named after academician M.D. Millionshchikov, Vice-Rector for Research and Innovation, Kadyrov Chechen State University; mr-nakhaev@mail.ru

Конфликт интересов. Conflict of interest.

Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов. The author declare no conflict of interest.

Поступила в редакцию/ Received 25.12.2021.

Одобрена после рецензирования / Revised 19.01.2022.

Принята в печать/ Accepted for publication 19.01.2022.