

4. Проектирование стальных конструкций. Общие правила и правила для зданий: ТКП EN 1993-1-1 (EN 1993-1-1: 2005, IDT). – Введ. 10.12.2009, № 404. – Минск: Министерство архитектуры и строительства Республики Беларусь, 2010. – 93 с.
5. Уласевич, В.П. Деформационный расчет и исследование напряженно-деформированных состояний пологих однопопых распорных систем: автореф. дис. ...канд. техн. наук: 01.02.03 / В.П. Уласевич; ЦНИИСК им. Кучеренко. – М., 1984. – 24 с.
6. Уласевич, В.П. К оценке влияния геометрической нелинейности на напряженно-деформированное состояние пологих арок / В.П. Уласевич, Д.А Жданов / Вестник БрГТУ. – 2011. № 1(67): Строительство и архитектура. – С. 78–89.
7. Воздействие на конструкции. Общие воздействия. Снеговые нагрузки: ТКП EN 1991-1-3 (EN 1991-1-3: 2003, IDT). – Введ. 10.12.2009, № 404. – Минск: Министерство архитектуры и строительства Республики Беларусь, 2010. – 48 с.
8. Воздействие на конструкции. Общие воздействия. Ветровые воздействия: ТКП EN 1991-1-4 (EN 1991-1-4: 2005, IDT). – Введ. 10.12.2009, № 404. – Минск: Министерство архитектуры и строительства Республики Беларусь, 2010. – 127 с.
9. Проектирование стальных конструкций. Общие правила. Дополнительные правила для холодноформованных элементов и профилированных листов: ТКП EN 1993-1-3 (EN 1993-1-3: 2006, IDT). – Введ. 10.12.2009, № 404. – Минск: Министерство архитектуры и строительства Республики Беларусь, 2010. – 122 с.

Материал поступил в редакцию 09.02.12

ULASEVITCH V.P., ZHDANOV D.A. The stress-strain state of elastic shallow arches made from thin-walled cold-formed corrugated steel sections

The effectiveness of arched structures made from thin-walled (0.6-1.2mm) cold-formed corrugated steel sections has been shown.

Both the deformation-based analysis method and the authors' DrarCAD computer programme have proved to be effective as a tool for analyzing the stress-strain state of the arches in question to provide the best design solutions for arched structures in terms of economical efficiency and design reliability.

УДК 691.327.002

Уласевич В.П., Якубовская О.А., Уласевич З.Н.

РОЛЬ МОДИФИЦИРОВАНИЯ ВОДЫ ЗАТВОРЕНИЯ ДОБАВКОЙ STG-3 В ПРОЦЕССАХ УСКОРЕНИЯ ТВЕРДЕНИЯ ЦЕМЕНТНЫХ БЕТОНОВ

Введение. Использование традиционных ускорителей твердения бетона (хлориды, сульфаты, нитраты, нитриты, карбонаты, формиаты и др.) позволяет существенно снизить энерго- и материалоемкость производства, однако при этом технологический процесс получения бетона может сопровождаться неблагоприятным их воздействием на такие важные характеристики бетона, как марочная прочность, эксплуатационная надежность и долговечность. Поэтому имеет несомненное научное и практическое значение разработка новых эффективных ускорителей твердения бетона, которые интенсифицируют гидратацию клинкерных минералов, а также улучшают и упрочняют структуру цементного камня и бетона, повышают его защитные свойства по отношению к стальной арматуре.

В последние 20–30 лет был предложен ряд ускорителей твердения, в составе которых содержатся органические ПАВ (фильтрат цитратный, отходы производства капролактама, различные производные лигносульфонатов, пластификатор адипинат натрия, соли карбоновых и оксикарбоновых кислот, аминокислоты, аминоспирты, имидазолины, производные акрилонитрилов и эпоксилов, ароматические аминсульфонаты а также их сочетания с другими органическими и неорганическими соединениями).

Механизм действия таких добавок изучен недостаточно и требует дальнейших детальных исследований в этой области. В таблице 1 приведены предполагаемые механизмы действия органических ускорителей твердения, освещенные в научных публикациях отечественных и зарубежных исследователей.

Отметим в их числе разработанную нами совместно с НИИЖБ жидкую химическую добавку для бетонов РС (регенерационный сток сахарорафинадных производств) и ее модификации РСУ [7], органические ПАВ которой представляют собой продукты щелочного распада инвертного сахара и карамелизации, принадлежащие к классу гуминовых веществ, а также меланоидины (вещества, схожие по своей природе с гуминовыми веществами), и небольшое количество регенерационного раствора (10% NaOH+0.2% NaCl). Особенность добавок РСУ – способность образовывать с водой затворения истинный раствор, а также относительно малый ее расход – (0,2–0,5)% от массы цемента [7].

На наш взгляд, фундаментальные исследования последних десятилетий позволяют предположить, что эффективность действия многих из перечисленных выше добавок в большой степени связана с модифицированием воды затворения для бетона.

В связи с этим особую актуальность в настоящее время представляют исследования механизма действия химических добавок с позиции их влияния на структуру и свойства воды затворения, а также особенностей механизма их действия при низких дозировках.

Структура и свойства воды. Как правило, наибольший интерес в технологии бетона представляют пути повышения эффективности использования вяжущих материалов. Тем не менее, следует отметить, что на процессы формирования структуры бетона на ранней стадии твердения большое влияние оказывают кристаллохимические свойства воды. Именно вода инициирует и во многом определяет характер процессов растворения, гидратации и структурообразования, и сведения о ее строении и свойствах имеют исключительное теоретическое и практическое значение для науки о бетоне.

В последнее десятилетие были достигнуты значительные успехи в области изучения структуры воды и ее свойств, в том числе возможной динамики ее изменения в процессе молекулярного взаимодействия.

Следует подчеркнуть, что под термином «структура воды» часто понимают структуру самого мономера H₂O, что отражает чисто «химический» подход, тогда как наиболее важным для материаловедения является возможность описания и моделирования трехмерной структуры воды, т.е. пространственное расположение ее структурных элементов.

Среди большого числа существующих моделей, как наиболее общую, можно привести модель В.И. Яшквича [10], согласно которой структура воды рассматривается как «открытая» трехмерная сетка с изогнутыми, растянутыми и частично разорванными водородными связями. Коллективное движение молекул в такой сетке стремится сохранить их тетраэдрическую координацию и характеризуется способностью молекул воды образовывать кластеры – группы молекул (H₂O)_x.

Якубовская Ольга Александровна, кандидат технических наук, ассистент кафедры строительных конструкций Брестского государственного технического университета.

Уласевич Зинаида Николаевна, кандидат технических наук, доцент кафедры начертательной геометрии Брестского государственного технического университета.

Беларусь, БрГТУ, 224017, г. Брест, ул. Московская, 267.

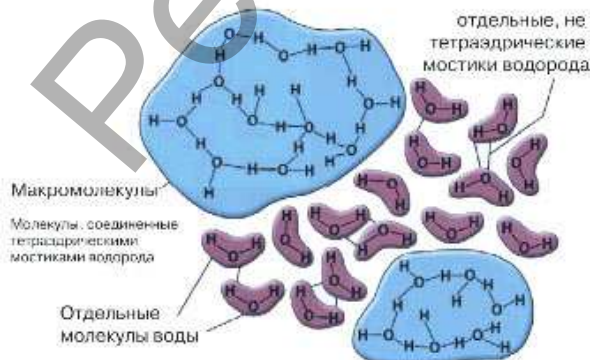
Таблица 1. Механизм действия органических ускорителей твердения

Органические добавки	Предполагаемый механизм действия	Литературные источники
Аминокислоты и аминокислоты (триизопраноламин ТИРА при дозировке 0,01–0,02% используется в качестве ускорителя твердения)	Образуют хелатные комплексы с ионами железа даже после израсходования в системе сульфат-ионов. Присутствие метильных групп обеспечивает стерический эффект, препятствующий адсорбции добавки на продуктах гидратации. Большая прочность в поздние сроки твердения достигается при содержании в цементе C_4AF свыше 4%	E. Gartner, 1993; S. Aggoun, 2008; J. Cheung, 2009
Ароматические аминсульфонаты (сульфаниловая кислота, сульфаты с длинными углеводородными радикалами)	Сульфогруппа придает соединениям анионоактивные свойства. Добавки при дозировке 0,2–0,6% ускоряют гидратацию C_4AF , способны образовывать полимерные связи между частицами гидратных фаз, а также последними и поверхностью заполнителя	Рахимбаев Ш.М., д.т.н., проф., 1965; Поспелова М.А., к.т.н., 2003
Карбоновые, оксикарбоновые кислоты и их соли	Анионоактивные свойства соединениям придает карбоксильная группа. Эффективность добавок увеличивается с увеличением длины углеводородного радикала	патенты Японии, США
Альдегиды, кетоны и их производные (шестиатомные моносахариды (гексозы) в альдегидной форме)	При дозировках 0.05–0.1% от массы вяжущего являются ускорителями твердения, что обусловлено поляризующим действием альдегидных (кетонных) групп или гликозидного гидроксила на деформацию и разрыв связей в структуре минералов при их гидратации и соответственно повышением растворимости, степени гидратации и прочности силикатных фаз и цемента	Тараканов О.В., д.т.н., проф., 2004

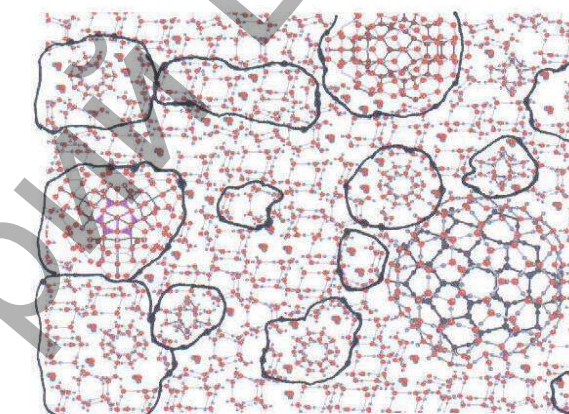
Многочисленные исследования отечественных и зарубежных авторов с помощью новейших методов рентгеновской дифракции, просвечивающей электронной микроскопии, ЯМР-, ИК- и романовской спектроскопии и др. достоверно установили гетерогенность структуры воды и наличие стабильных структурных элементов (см. рис. 1), включающих вплоть до 912 молекул воды [3, 5, 11 и др.].

Хорошо изучены учеными водородные связи, которые действуют внутри водных кластеров, тогда как роль связей типа Ван-Ваальса, которые существуют между нейтральными молекулами и между кластерами, остается без должного внимания. Однако, вероятно, именно эти слабые связи, легко поддающиеся изменению при очень слабых воздействиях, определяют возможность формирования различных структур в жидкой воде. Уже достоверно установлен и научно обоснован тот факт, что вода может достаточно легко нелинейным образом менять свои свойства и, соответственно, структуру, без какого-либо изменения состава [3, 12].

С.В. Зениным в докторской диссертации [3] было впервые доказано, что различные фракции воды обладают различной гидрофобностью и смачивающей способностью. Введение активных (заряженных) веществ в раствор приводит к разрушению или формированию устойчивых образований из молекул воды, что приводит к изменению ее «фракционного» состава и изменению свойств даже при очень малых дозировках [2]. При этом определенное распределение электронной плотности молекул активного вещества будет влиять на расположение и ориентацию зарядов структурных элементов воды во всем объеме (см. рис. 2). Таким образом, вода представляет собой «не пассивную среду, имеющую лишь термодинамическостатистический или энтропийный характер, а своего рода информационную систему» [3]. И поэтому физико-химические свойства воды не являются строго постоянными и зависят от различных факторов.



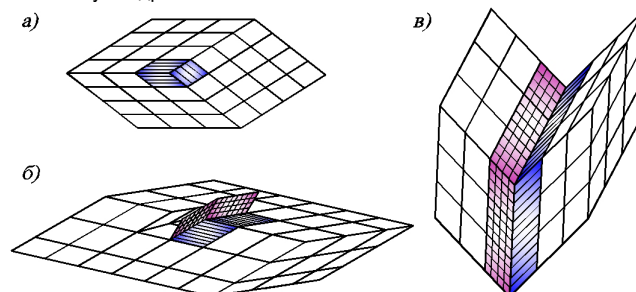
а)



б)

Рис. 1. Схематическое представление заполняющей пространство смеси молекул-элементов воды, которые должны существовать в некоторой пропорции из кластеров разного размера: а) согласно [10]; б) согласно [12]

В связи с этим особый научный интерес представляют различные способы изменения структуры и, соответственно, свойств воды. Их можно разделить на физическое модифицирование, химическое модифицирование и их сочетание. К физической активации относят: магнитную, механическую, ультразвуковую, термическую, электрохимическую и др.



а) среди обычной упаковки подобных себе элементов (ориентация всех элементов одинаковая); б) единичное возмущение в виде соседнего с выделенным структурного элемента; в) перестроенное под действием возмущения новое структурированное состояние воды

Рис. 2. Структурный элемент воды

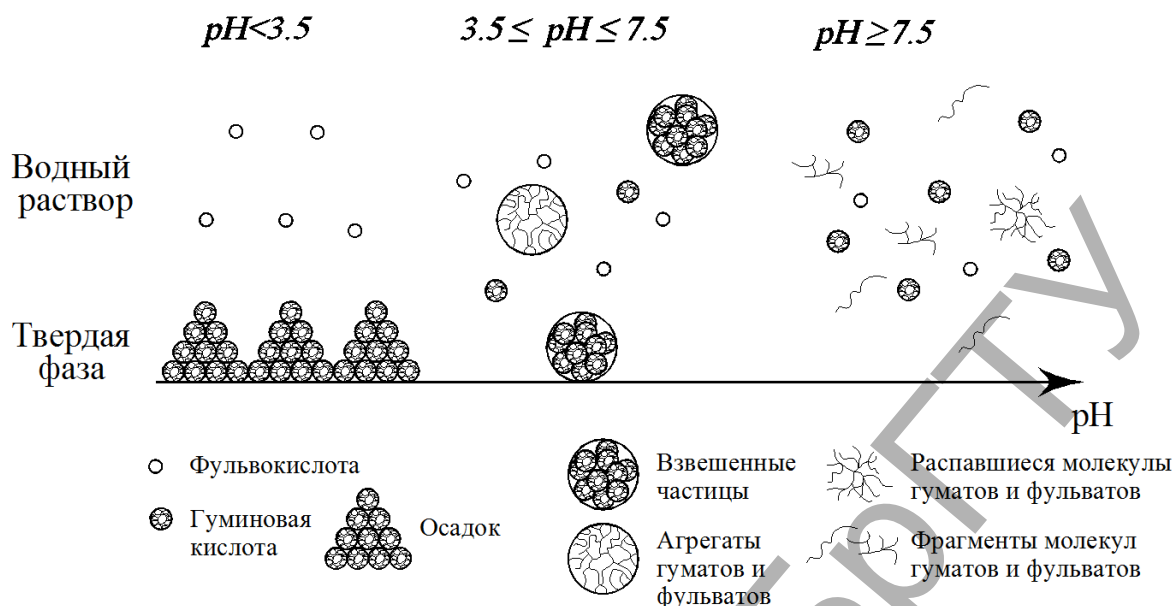


Рис. 3. Поведение STG-3 в водных растворах в зависимости от pH

Химическое модифицирование может осуществляться путем введения в воду различных химических реагентов.

Таким образом, действие химических добавок, образующих с водой истинные или близкие к истинным растворы, следует также оценивать и по их влиянию на активность и свойства воды затворения.

В подтверждение сказанному в научных публикациях последних лет (С.В. Федосов, 2010) указывается на возможность значительного (не менее чем в сто раз) снижения дозировок широко используемых в технологии бетона химических добавок (органических (С-3, ПВА, КМЦ) и неорганических (CaCl_2 , $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$, Na_2SO_4 и др.)) при механомагнитной обработке их водных растворов. При этом достигаемые эффекты действия добавок (повышение подвижности бетонной смеси, увеличение ранней и марочной прочности бетона и др.) при низких и традиционных дозировках примерно равны [8, 6].

Модифицирование воды затворения добавкой STG-3. Добавка для бетонов STG-3 представляет собой водную суспензию с концентрацией сухого вещества до 3%. Основной частью суспензий торфяных гуматов является раствор гуматов щелочных металлов.

Исходным сырьем для производства добавки является торфобрикетный шлам (отход и сток), образующийся на выходе системы обеспыливания сушилки «ЦЕМАГ» (циклоны, в которых осаждаются наиболее крупные частицы торфяной пыли, и скруббер, в котором путем распыления воды осаждаются оставшиеся после двух ступеней очистки высокодисперсные частицы, размер которых не превышает 8 мкм). В процессе образования отхода происходит его температурная и механохимическая активация, где в качестве химического реагента выступает вода [9].

Механизм действия суспензии торфяных гуматов обусловлен, в первую очередь, модифицированием воды затворения. В результате химической активации изменяется структура и, соответственно, свойства воды (повышение pH и удельной электропроводности, снижение поверхностного натяжения, увеличение степени смачивания цементных зерен и поверхности заполнителя), что доказано комплексом физико-химических исследований.

Концентрация раствора STG-3 является одним из главных критериев, определяющих механизм действия добавки в цементных системах. При переходе из одной области концентраций STG-3 (до ККМ) в другую (свыше ККМ) изменяется направление ее действия, т.е. преобладает либо ускорение, либо стабилизация.

Изменение электрохимических свойств водных растворов добавки STG-3 связано с конформационным переходом ее макромолекул в зависимости от концентрации и pH.

В результате разбавления в области концентраций ниже ККМ повышается степень ионизации макромолекул, обусловленная

наличием полярных функциональных групп, и добавка проявляет свойства сильных электролитов. В результате этого происходит «раскручивание» и выпрямление макромолекулярных клубков, что сопровождается значительным увеличением их химической активности и адсорбционной способности.

Также большое значение в регулировании свойств растворов STG-3 имеет и pH. При $\text{pH}=3,5-4$ макромолекулы водорастворимых полимеров сворачиваются и выделяются в твердую фазу в виде осадка, увеличивая ее объем. В этом случае связь между полимерами и дисперсными частицами, а также интенсивность образования водородных связей наименьшая. Уменьшение концентрации ионов водорода приводит к повышению адсорбции полиэлектролита, достигая максимума при $\text{pH}=7,5$. При дальнейшем росте pH величина адсорбции остается практически постоянной. Также необходимо отметить, что в процессе получения добавки STG-3 только при pH свыше 7 начинается замещение водорода фенольных групп и полный перевод добавки в водорастворимую форму в виде гуматов и фульватов щелочных металлов, поэтому целесообразно получение добавки в виде высоко растворимых щелочных растворов ($\text{pH}=11-13$). На рисунке 3 представлена схема поведения STG-3 в водном растворе в зависимости от pH.

В области ККМ добавка находится в воде затворения преимущественно в ионной форме (раствор, близкий к истинному) и ее влияние на процессы гидратационного твердения осуществляется за счет изменения электрохимических свойств жидкой фазы. В результате повышается растворимость вяжущего – в первую очередь, в результате повышения ионной силы жидкой фазы. Это обусловлено тем фактом, что в концентрациях ниже ККМ добавка STG-3, как и многие другие высокомолекулярные соединения, проявляет свойства сильных электролитов, а также за счет связывания ионов Ca^{2+} , Al^{3+} и Fe^{3+} в труднорастворимые соединения (рис. 4).

Кроме того, добавка STG-3 обладает поверхностной активностью, в результате чего реализуется ее диспергирующее действие и повышается степень смачивания зерен вяжущего и заполнителей водой.

В результате адсорбции ионов добавки STG-3 на наиболее энергетически активных центрах твердой фазы происходит диспергирование зерен вяжущего, пластификация цементных систем и формирование однородной и мелкодисперсной структуры цементно-го камня с пониженной пористостью.

Также увеличивается количество фазовых контактов, в том числе и за счет дополнительных мостиковых полимерных связей между гидратными фазами, а также новообразованиями и поверхностью заполнителя, в результате чего повышается прочность цементного камня и бетона во все сроки твердения.

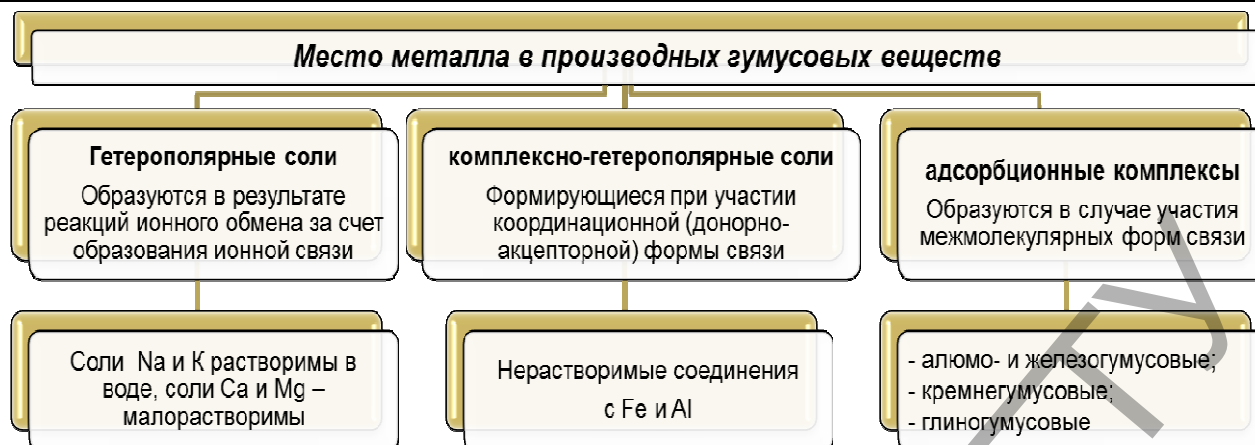


Рис. 4. Производные гумусовых веществ с минералами

Контроль качества добавки STG-3. Стабильность свойств добавки STG-3 проверена многочисленными экспериментальными исследованиями и обеспечивается соответствием перечня ее физико-химических показателей значениям, приведенным в таблице 2, а также соответствием значений активных компонентов по IR-спектрам согласно эталону (рис. 5).

Для определения активных компонентов был проведен инфракрасный спектральный анализ добавки STG-3. ИК-спектры жидких образцов записывали на химическом факультете БГУ на спектрометре AVATAR 330 (Thermo Nicolet) в области 400–4000 см⁻¹ методом диффузионного отражения с использованием специальной приставки.

Полученные спектры инфракрасного поглощения исследуемых образцов добавки STG-3 (см. рисунок 3) имеют типичные полосы поглощения в соответствии с эталонным ИК-спектром с максимумами при различных значениях длины волны, характеризующиеся определенной интенсивностью. Максимумы поглощения, характерные для валентных колебаний различных функциональных групп, находятся в определенных интервалах, согласно литературным данным. Полосы по интенсивности характеризуются как очень сильные, если пропускание T составляет 0–0,2; сильные – 0,2–0,4; средние – 0,4–0,6; слабые – 0,6–0,8 и очень слабые при T > 0,8.

Таблица 2. Показатели качества добавки STG-3

Наименование показателя	Значение показателя
Внешний вид	Жидкость темно-коричневого цвета
Массовая доля сухих веществ, %	1,5...2,75
Водородный показатель (pH)	11,5...13,5
Плотность, г/см ³	1,007...1,013
Электропроводность, мкСм/см	7 200...12 800
Значения активных компонентов по IR-спектрам	Согласно эталону

Следовательно, ИК-спектр для контроля качества добавки STG-3 должен соответствовать эталонному ИК-спектру с учетом интервалов максимумов и интенсивности характерных полос поглощения (таблица 3) [4].

Таблица 3. Интервалы максимумов и интенсивности характерных полос поглощения ИК-спектров добавки STG-3

Функциональные группы	Волновые числа, см ⁻¹	Интенсивность
гидроксильные группы (ν _{OH})	3360–3440	о. с.
–CH ₃ и –CH ₂ -группы боковых цепей	2975–2950	ср. – с.
	2940–2915	ср. – с.
	2870–2840	ср. – с.
	1480–1380	с.
COO- Ассиметричные колебания; Симметричные колебания	1610–1550	о. с.
	1400–1300	с. – о. с.
неконденсированные ароматические соединения (ν _{C-C})	1500–1510	с.
Спирты (ν _{C-O}): первичные; вторичные; третичные	1070–1000	с. – сл.
	1125–1000	с. – сл.
	1210–1100	с. – сл.
ароматические кольца, имеющие два и более незамещенных атома водорода (ν _{C-H})	1000–600	с.

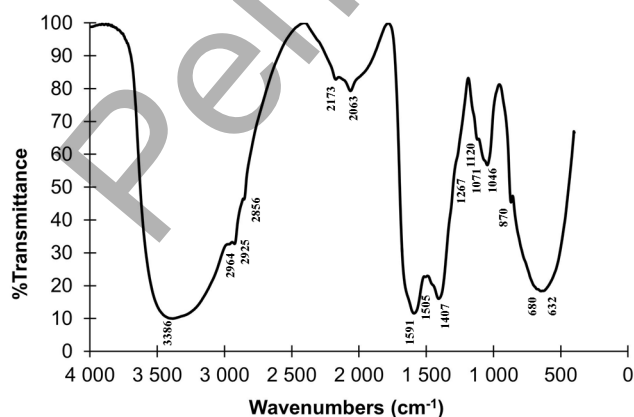


Рис. 5. ИК-спектр добавки STG-3

Заключение

1. Последние научные исследования показали, что эффект действия многих химических добавок для бетонов может быть достигнут при их дозировках на порядок более низких, чем традиционные. Это требует исследования природы такого рода эффектов с уточнением механизма действия и действующего начала многих химических добавок.
2. Вероятно, важную роль в этом процессе играет химическое модифицирование воды затворения добавками. С этих позиций особого внимания заслуживают химические добавки, относящиеся к классу солей органических кислот, эффективность которых достигается при достаточно низких дозировках.
3. Для добавок класса солей органических кислот, к которым и относится добавка STG-3, важной характеристикой для контроля качества является ИК-спектр, характеризующий функциональный состав добавки и количественный состав активных компонентов.

СПИСОК ЦИТИРОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Александрова, Л.Н. Органическое вещество почвы и процессы его трансформации / Л.Н. Александрова. – Л.: Наука, 1980. – 288 с.
2. Дерягин, Б.В. Вода в дисперсных системах / Б.В. Дерягин, Ф.Д. Овчаренко, Н.В. Чураев. – М.: Химия, 1989. – 286 с.
3. Зенин, С.В. Структурированное состояние воды как основа управления поведением и безопасностью живых систем : дис. ... докт. биол. наук : 05.26.02 / С.В. Зенин. – М., 1999. – 207 с.
4. Лиштван, И.И. Спектральные исследования фракций гуминовых кислот / И.И. Лиштван [и др.] // Химия твердого топлива. – 2006. – № 4. – С. 3–11.
5. Родникова, М.Н. О пространственной сетке водородных связей в жидкостях и растворах / М.Н. Родникова, Н.А. Чумаевский // Журнал структурной химии, 2006. – Том 47 [приложение] – С. 154–161.
6. Стрельников, А.Н. Мелкозернистые бетоны на механомагнитоактивированных растворах неорганических добавок: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.23.05 / А.Н. Стрельников; Ивановский государственный архитектурно-строительный университет. – Иваново, 2011. – 20 с.
7. Уласевич, В.П. Конструкционный бетон с добавкой РСУ / В.П. Уласевич, З.Н. Уласевич. – Брест: БрПИ, 1997. – 65 с.
8. Федосов, С.В. Определение технологических параметров механомагнитной активации водных систем с пластифицирующей добавкой / С.В. Федосов, М.В. Акулова, Т.Е. Слизнева, В.А. Падохин, В.И. Касаткина // Строительные материалы. – 2010. – № 3. – С. 49–51.
9. Якубовская, О.А. Влияние суспензий торфяных гуминовых веществ на активность цемента, прочность и защитные свойства бетонов, твердеющих в нормальных условиях: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.23.05 / О.А. Якубовская; Брестский гос. техн. ун-т. – Брест, 2011. – 24 с.
10. Яшкевич, В.И. Трансляционное движение и состояние молекул воды в воде / В.И. Яшкевич // Журнал неорганической химии. – 1979. – Т. 24. – С. 275–281.
11. Katayama, S. Macroscopic separation of dense fluid phase and liquid phase of phosphorus / S. Katayama et al. // Science, vol., 2004. – pp. 848–851.
12. Roy, R. The structure of liquid water – novel insights from materials research potential relevance to homeopathy / R. Roy, W. Tiller, I. Bell, M. Hoover // Materials Research Innovations, vol. 9, issue 4, December 2005, pp. 577–608.

Материал поступил в редакцию 09.02.12

ULASEVICH V.P., JAKUBOVSKAJA O.A., ULASEVICH Z.N. The Role of the STG-3 Modified Mixing Water in the Cement Concrete Hardening Processes

The peat-based chemical additive STG-3, when used within the dosage rate up to the critical micelle concentration to modify the mixing water, has been proved to accelerate the early-stage hardening of cement stone as well as to contribute to a homogeneous and fine-disperse concrete structure of low porosity, resulting in a considerable gain in strength at the early stages of concrete hardening process. Besides, being a steel corrosion inhibitor, the STG-3 activated mixing water enhances the protective proper ties of concrete with respect to its steel reinforcement.

УДК 624.151

Грицук М.С., Грицук А.М., Ryszard Hulboj

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ РАБОТЫ ЛЕНТОЧНОГО ФУНДАМЕНТА НА ВЫПУКЛОМ ГРУНТОВОМ ОСНОВАНИИ

Введение. Известны исследования [1] по расчету ленточных фундаментов на грунтовых основаниях выпуклой формы, ограниченной параболой. Для указанной схемы разработан алгоритм, где использовались уравнения теории упругости плоской задачи с применением метода конечных разностей [2]. Однако устройство ленточных фундаментов на основании с криволинейной поверхностью вызывает определенные затруднения. Поэтому для дальнейших исследований было принято основание в форме трапеции, основные размеры которого показаны на рисунке 1 [3].

По результатам теоретических решений установлено, что при высоте песчаной подготовки $\Delta h = S$, (где S – осадка фундамента при полной нагрузке) давление на грунт под подошвой фундаментной плиты распределяется неравномерно. В центре будет максимальное значение и нулевое по краям. При таком распределении давления на грунт внутренние усилия в расчетных сечениях фундаментной плиты уменьшаются на 30–35% в сравнении с их расчетом по типовой схеме, когда принимается, что давление на грунт распределяется равномерно по всей ширине фундамента, (что далеко не всегда соответствует действительности). Для подтверждения теоретических решений были проведены соответствующие экспериментальные исследования работы модели ленточного фундамента на плоском и трапециидальном основании.

1. Установка для проведения исследований и постановка эксперимента. Для установления факта неравномерного распре-

ления реактивного давления на грунт с максимальным значением в центре и нулевыми по краям для принятой, согласно рисунку 1, конструктивной схемы в лаборатории механики грунтов Ченстоховской политехники (Польша) были проведены экспериментальные исследования, для выполнения которых использовался лоток размером в плане 1,2х0,3 м и высотой 0,9 м. Передняя стенка лотка изготовлена из плексигласа толщиной 30 мм. Толщина слоя грунта 68 см. Модель фундаментной плиты изготовлена из нержавеющей стали толщиной 3 мм, шириной 0,4 м, длиной 0,3 м и жесткостью $EJ = 0,142 \text{ кН м}^2$. Изгиб модели плиты измерялся при помощи индикаторов часового типа. Для дублирования измерений использовался штангенциркуль с ценой деления 0,05 мм. На рисунке 2 показана схема испытательной установки до приложения нагрузки.

Осадка модели плиты измерялась в пяти точках. Нагрузка на грунт передавалась при помощи рычажного устройства ступенчато. Среднее значение давления на грунт на каждой ступени составляло порядка 11 кПа.

Грунт – песок средней крупности, маловлажный с плотностью $1,73 \text{ г/см}^3$. Для первого испытания принимаем, что глубина заложения $D=0,0 \text{ м}$, т.е. пригрузка на грунт на уровне подошвы фундамента отсутствует.

Испытания проводились для двух расчетных схем:

- модель фундаментной плиты на плоском основании (по типовой схеме);
- то же на выпуклом основании в виде трапеции (рисунк 1).

Грицук Михаил Степанович, доктор технических наук, профессор кафедры геотехники и транспортных коммуникаций Брестского государственного технического университета.

Грицук Александр Михайлович, ассистент кафедры сопротивления материалов и теоретической механики Брестского государственного технического университета.

Беларусь, БрГТУ, 224017, г. Брест, ул. Московская, 267.

Hulboj Ryszard, магистр инж., докторант Ченстоховской политехники, Республика Польша.