

УДК 547.044

**ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ОСНОВНЫХ СВОЙСТВ БЕТОНОВ,
МОДИФИЦИРОВАННЫХ ДОБАВКОЙ СУСПЕНЗИИ ТОРФЯНЫХ ГУМИНОВЫХ ВЕЩЕСТВ**

*канд. техн. наук, проф. В.П. УЛАСЕВИЧ,
канд. техн. наук, доц. З.Н. УЛАСЕВИЧ, О.А ЯКУБОВСКАЯ
(Брестский государственный технический университет)*

Представлены результаты экспериментальных исследований цементного камня и образцов тяжелого бетона, модифицированных добавкой суспензии торфяных гуминовых веществ (STG-3). Дана краткая характеристика химической добавки STG-3 ТУ РБ 0271613.379-2004 (опытная партия). Показано, что разработка химической добавки для бетонов и разработка методики ее внедрения в технологию получения модифицированных бетонов заданных свойств – единый интегрированный процесс, требующий больших затрат времени как на теоретические, так и на экспериментальные исследования. Приведенные результаты экспериментальных исследований на образцах-кубах, а также физико-химические испытания образцов из цементного теста, полученные методом дифференцированного термического анализа и методом качественного рентгенофазового анализа, доказали, что добавка STG-3 по основному эффекту действия обладает способностью ускорять процессы гидратации и структурообразования цементного камня в процессе его твердения в нормальных условиях. Доказано также, что при приготовлении бетонной смеси добавка STG-3 проявляет пластифицирующий эффект действия, соответствующий пластифицирующим добавкам III...IV групп.

Введение. Одним из перспективных направлений по повышению качества бетона и снижению энергозатрат при его производстве является применение химических добавок-ускорителей твердения бетона в нормальных условиях. Особенно это актуально в технологии монолитного домостроения. При этом важным в области применения химических добавок является разработка и внедрение их на основе отходов производства промышленных предприятий. Выполненные физико-химические исследования отходов и стоков торфопредприятий позволили успешно утилизировать их как вторичное сырье, на базе которого нами получен товарный продукт – суспензия торфяных гуминов (STG) заданного состава, концентрации и свойств, аттестованная РУПП «Стройтехнорм» как химическая добавка для бетонов STG-3 ТУ РБ 0271613.379-2004 (опытная партия) [1], обладающая способностью ускорять процессы гидратации и структурообразования цементного камня в процессе его твердения в нормальных условиях.

Основная часть. Заметим, что разработка химической добавки для бетонов STG-3 и разработка методики ее внедрения в технологию получения модифицированных бетонов заданных свойств – единый интегрированный процесс, требующий больших затрат времени как на теоретические, так и на экспериментальные исследования. Именно таким исследованиям и посвящена данная работа.

Пионерными экспериментальными исследованиями было доказано, что применение полученной авторами суспензии торфяных гуминов (STG) в бетон в качестве химической добавки улучшает технологические свойства бетонной смеси, ускоряет процессы твердения цементного камня и бетона [2]. Это явилось достаточным условием для аттестации РУПП «Стройтехнорм» состава STG, полученного в лабораторных условиях, в качестве химической добавки STG-3. Однако возможность применения добавки STG-3 в конструкционном бетоне и железобетоне в промышленных объемах должна быть обоснована широкомасштабными теоретическими и экспериментальными исследованиями, выполненными с целью определения и оценки основных свойств конструкционных бетонов, модифицированных добавкой STG-3. В связи с этим в настоящей работе при выполнении экспериментальных исследований бетонных смесей, цементного камня и конструкционных бетонов, модифицированных добавкой STG-3, ставились следующие задачи:

- определить расход добавки STG-3 ТУ РБ 0271613.379-2004, оказывающий оптимальное влияние ее на реологические свойства цементных композиций (изменение водопотребности, пластической прочности и сроков схватывания цементного теста нормальной густоты);
- определение расхода добавки в процентах к расходу цемента, обеспечивающего оптимальный прирост прочности как на ранней стадии твердения бетона в нормальных условиях, так и в 28-дневном возрасте;
- определить влияние добавки STG-3 на морозостойкость модифицированного бетона в сравнении с бетоном того же состава без добавки;
- определить влияние защитных свойств бетонов, модифицированных добавкой STG-3, по отношению к стальной арматуре.
- физико-химические исследования процессов твердения цементных композиций, модифицированных химической добавкой STG-3.

Комплекс вышеперечисленных исследований предоставил данные, необходимые для разработки рекомендаций на применение добавки *STG-3* при изготовлении конструкционного бетона и железобетона.

Характеристика добавки для бетонов STG-3. Добавка для бетонов *STG-3* ТУ РБ 0271613.379-2004 (опытная партия) [1] представляет собой раствор гуминовых веществ (хинных групп, фенольных гидроксидов, карбоксильных групп) и их растворимых солей (гуматов и фульватов), полученных воздействием раствора щелочи NaOH и некоторых других веществ на суспензию торфяных гуматов (*STG*), являющуюся смесью отходов и стоков торфопредприятий (табл. 1). Добавка предназначена для введения в бетонную смесь с целью улучшения технологических свойств бетонной смеси и ускорения твердения бетона при изготовлении изделий и конструкций. По количеству входящих в добавку *STG-3* продуктов она является однокомпонентной; по агрегатному состоянию – жидкая (Ж); по химической природе – органическая.

Таблица 1

Показатели добавки *STG-3* ТУ РБ 0271613.379-2004

Наименование показателя	Значение
Внешний вид	Жидкость темно-коричневого цвета
Массовая доля сухих веществ, %	0,65, ..., 1,12
Водородный показатель (рН)	8,5, ..., 9,5
Плотность, г/см ³	1,00, ..., 1,03
Цветность (с разведением в сто раз), град	10290
Электропроводность, $\mu\text{S/cm}$	3280, ..., 5230

Материалы, использованные в экспериментальных исследованиях. Для изготовления образцов кубов применялись следующие материалы:

- портландцемент по ГОСТ 10178 ПЦ 500-Д0;
- портландцемент ОАО «Красносельскстройматериалы», имеющий следующие характеристики: истинная плотность – 3,1 г/см³; насыпная плотность – 1,3 г/см³; средняя активность при пропаривании – 36,8 МПа; нормальная густота цементного теста – 24,91.
- песок по ГОСТ 8736 с модулем крупности 2,27, мытый – КПУП «Слонимский дробильно-сортировочный завод»;
- щебень по ГОСТ 8267 гранитный, наибольшей крупностью зерен до 20 мм, мытый – РУПП «ГРАНИТ» г.п. Микашевичи Брестской области;
- вода по СТБ 1114;
- добавка *STG-3* ТУ РБ 02071613.379-2004 (рН = 9,44; оптическая плотность – 0,6 %; удельная плотность – 995 кг/м³; массовая доля сухих веществ – 0,56 %. Добавка вводилась в бетонную смесь с водой затворения. Показатели свойств добавки *STG-3* ТУ РБ 02071613.379-2004 соответствуют указанным в таблице 1).

Влияние добавки STG-3 на технологические свойства бетонной смеси. Оценка этого влияния в первую очередь связана с влиянием добавки на изменение характеристик реологических свойств цементных композиций: изменение нормальной густоты цементного теста, определение сроков схватывания, а также водопотребности бетонной смеси.

Определение *нормальной густоты и сроков схватывания цементного теста* производилось в соответствии с ГОСТ 310.3-76 с помощью прибора Вика с иглой и пестиком. Результаты эксперимента показали, что добавка *STG-3* не оказывает существенного влияния на значение нормальной густоты (табл. 2). В то же время добавка *STG-3* несколько изменяет сроки схватывания бетонной смеси (табл. 3). Так, время начала схватывания цементного теста с добавкой *STG-3* увеличилось примерно на 10 минут, а конца схватывания – уменьшилось на 5...10 минут. Эти результаты можно объяснить стабилизирующим эффектом действия добавки благодаря поверхностно-активной составляющей, а также дальнейшей интенсификацией процесса схватывания благодаря ее ускоряющей составляющей – солям органических гуминовых веществ.

Удобоукладываемость бетонной смеси определялась по ГОСТ 10181.1-81 по осадке стандартного конуса.

Установлено, что добавка *STG-3* увеличивает начальную прочность структуры бетонной смеси. Отметим также, что добавка обладает пластифицирующим эффектом, обеспечивающим важнейшие технологические параметры бетонной смеси: подвижность, удобоукладываемость, нерасслаиваемость, уплотняемость при укладке. Эффект пластификации сильнее проявлялся в подвижных бетонных смесях. Бетонная смесь с добавкой обладает повышенной связностью и однородностью. Пластичность бетонной смеси с добавкой *STG-3* проявляется сразу; пластическая прочность проявляется несколько позже. Имеет место незначительное (в пределах 10...15 мин) увеличение начальных сроков схватывания бетона.

Таблица 2

Нормальная густота цементного теста с добавкой *STG-3*

Добавка <i>STG-3</i> , % от массы цемента	Нормальная густота, % от массы цемента
0	27,25
0,005	27,25
0,0075	26,75
0,01	27,00
0,0125	27,25

Таблица 3

Сроки схватывания цементного теста с добавкой *STG-3*

Добавка, %	Начало схватывания, ч (мин)	Конец схватывания, ч (мин)
0	3 (25)	4 (40)
0,0075	3 (35)	4 (32)
0,012	3 (40)	4 (35)

Максимальный пластифицирующий эффект (увеличение подвижности бетонной смеси в 1,25...1,45 раза) наблюдался при введении добавки *STG-3* в количестве 0,005...0,015 % от массы цемента и зависел от расхода цемента. Так, при водоцементном отношении (W/C), равном 0,59, в бетонных смесях контрольного образца с расходом цемента 338 кг/м³ подвижность бетонной смеси с расходом добавки 0,0075...0,012 % от массы цемента увеличивалась на 25...30 %. Это позволило уменьшить расход воды на 6...8 %. Для бетонных смесей с $W/C = 0,41$ и расходом цемента 478 кг/м³ подвижность бетонной смеси уменьшалась в сравнении с бетонной смесью, обладающей большим W/C . Дальнейшее увеличение количества *STG-3* не приводит к существенному пластифицирующему эффекту, однако может положительно сказаться на защитных свойствах бетона.

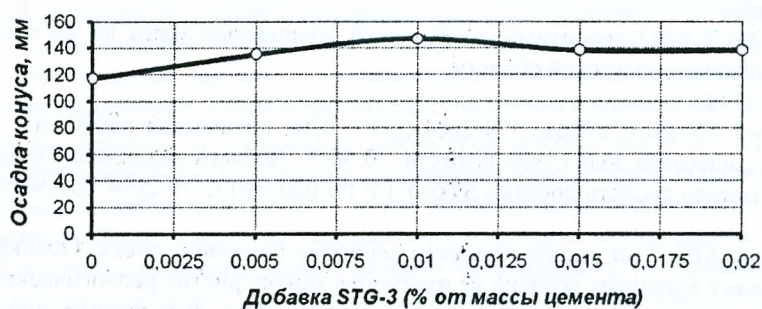


Рис. 1. Осадка конуса бетонной смеси в зависимости от количества вводимой добавки *STG-3* при расходе цемента 338 кг/м³

Прочность бетонов, модифицированных добавкой STG-3. Прочность бетона исследовалась на двух составах при расходе цемента 338 и 478 кг/м³. Образцы готовились с добавкой и без добавки, твердели в нормальных условиях и испытывались через 3, 7, 14 и 28 суток.

Исследовались образцы с равной осадкой конуса, которую устанавливали экспериментально путем снятия воды, и на смесях с равным W/C .

Составы бетонных смесей для исследования прочности и некоторые результаты исследований представлены в таблицах 4 и 5 и на рисунке 2.

Динамика роста прочности бетона с добавкой *STG-3* и расходом цемента 338 кг/м³ при практически равной осадке конуса, полученной путем уменьшения W/C , видна из анализа данных, приведенных в таблице 4. На рисунке 2 продемонстрирован рост прочности бетона с расходом цемента 478 кг/м³ в зависимости от расхода добавки *STG-3* (табл. 5).

Защитные свойства бетона с добавкой STG-3. Для железобетона, модифицированного добавкой *STG-3*, актуальна проблема защитных свойств бетона по отношению к стальной арматуре. Эта задача особо актуальна в связи с тем, что добавка *STG-3* является ускорителем твердения бетона в нормальных условиях.

Бетонная смесь для образцов, испытываемых по направлению I, изготавливалась в соответствии с требованиями пункта 6.12 СТБ 1168-99. Расход цемента составлял 300 кг на 1 м³ бетона. Доля мелко-

го заполнителя в смеси заполнителей принималась в пределах 0,35...0,40. Расход воды принимали из расчета обеспечения подвижности бетонной смеси, характеризующейся осадкой стандартного конуса от 2 до 4 см по СТБ 1035; расход добавки *STG-3* – 0,008 от массы цемента. Составы для испытаний приведены в таблице 6. Образцы изготавливались в формах 2 ФК 70 по ГОСТ 22685 с изъятием центральной пластиной с укладкой, уплотнением и хранением в соответствии с ГОСТ 10180-90 и твердели в нормальных условиях: температура (20 ± 2) °С; влажность воздуха не менее 95 % в течение 28 суток.

Таблица 4

Динамика роста прочности бетона с расходом цемента 338 кг/м³

Д, %	W/C	ОК, см	Состав бетона					Прочность при сжатии, % от контрольной			
			Ц, кг	П, кг	Щ, кг	В, л	Д, л	3 сут	7 сут	14 сут	28 сут
0	0,590	12	338	720	1156	199,4	0	100	100	100	100
0,0075	0,542	12	338	720	1156	178,21	4,971	152	129	119	114
0,015	0,554	11	338	720	1156	177,11	9,941	142	123	116	113
0,025	0,572	11	338	720	1156	178,40	14,912	127	118	112	111
0,030	0,566	12	338	720	1156	171,41	19,882	122	115	109	108

ОК – осадка конуса бетонной смеси в зависимости от количества вводимой добавки *STG-3*.

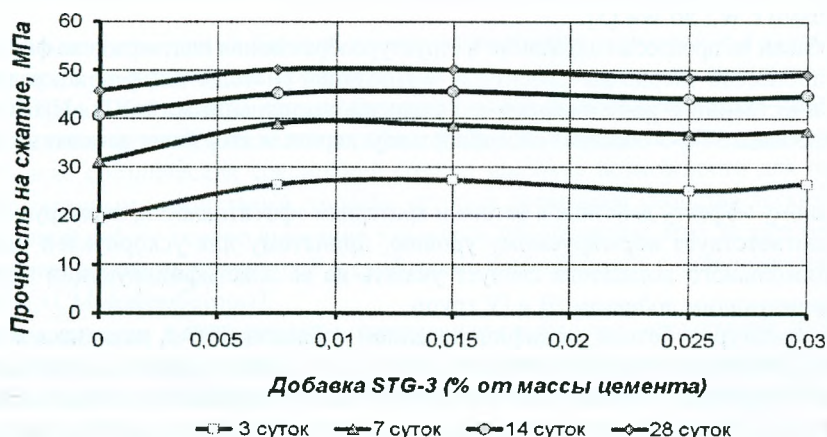


Рис. 2. Оптимальный расход добавки при расходе цемента 478 кг/м³

Таблица 5

Динамика роста прочности бетона с расходом цемента 478 кг/м³

Д, %	W/C	ОК, см	Состав бетона					Прочность при сжатии, % от контрольной			
			Ц, кг	П, кг	Щ, кг	В, л	Д, л	3 сут	7 сут	14 сут	28 сут
0	0,410	9	478	516	1224	196	0	100	100	100	100
0,0075	0,406	9,5	478	516	1224	187,06	7,029	136	124	111	110
0,015	0,401	10	478	516	1224	177,64	14,059	140	123	112	109
0,025	0,397	11	478	516	1224	168,70	21,088	129	118	109	106
0,030	0,392	10	478	516	1224	159,28	28,118	136	120	110	107

Таблица 6

Составы бетонных смесей для приготовления образцов

Наименование состава (номера образцов)	Расход составляющих, кг на 1 м ³ бетонной смеси				
	цемент	песок	щебень	вода	STG-3, л
Контрольный (1, 2, 3)	300	804	1206	173	–
Основной с добавкой (4, 5, 6)	300	804	1206	170	402

Для испытаний по направлению 1 использовали гладкие, цилиндрической формы стержни-образцы диаметром 10 мм из стали марки Ст 3 по ГОСТ 5781. Вся поверхность стержней, включая торцы, имела шероховатость поверхности Rz10-Rz20 по ГОСТ 2789. Стержни для образцов очищались и обезжиривались этиловым спиртом. Армированные образцы (образцы) для испытаний по направлению 1 изготавливали в количестве 9 штук (по три штуки в каждой из трех партий: партии № 1, партии № 2, партии № 3).

Испытания образцов были выполнены в научно-исследовательской Испытательной лаборатории модифицированного бетона и строительной продукции (НИИЛ МБ и СП) БНТУ, аккредитованной на право таких испытаний. Анализ результатов проведенных испытаний по определению защитных свойств бетонов, модифицированных добавкой *STG-3*, показывает, что при равных значениях водоцементных отношений введение добавки не ухудшает защитные свойства по отношению к стальной арматуре, так как арматура находится в устойчивом пассивном состоянии [3].

В ходе эксперимента было установлено, что сталь в контрольных и основных образцах с добавкой *STG-3* находится в устойчивом пассивном состоянии. При этом для контрольных образцов среднее значение плотности тока при потенциале +300 мВ составило 5,45 мкА/см², для основных образцов с добавкой – 6,61 мкА/см². Полученные значения соответствуют требованиям СТБ 1168-99 – до 10 мкА/см². При этом в случае основных образцов поляризационная кривая имеет более крутой подъем, что можно объяснить тем, что добавка *STG-3* проявляет свойства электролитов.

Выполнены также пионерные экспериментальные исследования бетона, модифицированного добавкой *STG-3*, с целью определения его влияния на морозостойкость, водонепроницаемость и водопоглощение. Эксперименты показали увеличение морозостойкости бетона как минимум на одну марку, водопоглощение бетона составило 5,6 %, водонепроницаемость бетона повысилась в сравнении с контрольными образцами с W2 до W4 [3].

Влияние добавки на процессы гидратации и структурообразования подтверждено физико-химическими исследованиями процессов твердения цементных композиций (методы дифференцированного термического анализа и качественного рентгенофазового анализа), выполненными в УП «НИИСМ». Испытания подтвердили, что добавка *STG-3* обладает способностью ускорителя твердения цементных композиций [4].

Выводы

1. По основному эффекту действия в бетоне и критериям эффективности, нормируемым СТБ 1112-98, добавка *STG-3* соответствует нормируемому уровню, принятому для ускорителей твердения бетона. В качестве дополнительного показателя следует указать на ее пластифицирующий эффект, соответствующий пластифицирующим добавкам III и IV групп.

2. Стальная арматура в бетоне, модифицированном добавкой *STG-3*, находится в устойчивом пассивном состоянии. Увеличение расхода добавки с $pH = (8...11)$ может оказать на стальную арматуру дополнительное пассивирующее влияние. Поэтому следует после тщательного анализа результатов эксперимента спланировать программу дополнительных исследований с целью подтверждения повышенных защитных свойств бетона, модифицированного добавкой *STG-3*, на стальную арматуру;

3. Исследования подтвердили эффективность введения добавки *STG-3* в бетонные смеси с целью:

- улучшения технологических свойств бетонной смеси;
- ускорения процессов гидратации цементов и твердения бетонов;
- изменения структуры сформированного цементного камня и бетона с целью повышения морозостойкости и водонепроницаемости.

ЛИТЕРАТУРА

1. Добавка для бетонов STG-3: ТУ РБ 02071613.379-2004. Опытная партия / В.П. Уласевич, З.Н. Уласевич; БрГТУ. – Введ. 15.07.2004. – Минск: Стройтехнорм, 2004. – 8 с.
2. Уласевич, В.П. Эффективность добавки STG-3, полученной на основе торфяных гуминовых веществ / В.П. Уласевич [и др.] // Вестник БрГТУ. Сер. Строительство и архитектура. – 2004. – № 1(25). – С. 177 – 179.
3. Уласевич, В.П. Некоторые свойства конструкционных бетонов, модифицированных добавкой STG-3 / В.П. Уласевич [и др.] // Вестник БГТУ. Сер. Строительство и архитектура. – 2007. – № 1(43). – С. 55 – 60.
4. Исследование основных свойств конструкционных бетонов, модифицированных добавками, полученными на основе гуминовых веществ из отходов торфопредприятий: отчет о НИР (ГБ 06/608 промежут., раздел 2/2007, этап 3) / Брестский гос. техн. ун-т, ГПОФИ НАН РБ, раздел «Строительство и архитектура 21»; рук. В.П. Уласевич. – Брест, 2007. – 35 с. – № ГР 20063467.

Поступила 12.10.2007