

Хаммади Мустафа

(Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I;
e-mail: lbsvatovskaya@yandex.ru)

ТЕХНОЛОГИЯ ПОВЫШЕНИЯ ПРОЧНОСТИ БЕТОННЫХ СТРОИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ НАНОРАСТВОРОВ

Предложен метод повышения прочности бетонных строительных конструкций с использованием эффекта поглощения нанорастворов (на примере кремнезоля).

Ключевые слова: прочность, поглощение, нанораствор, кремнезоль.

Hammadi Mustafa

TECHNOLOGY TO INCREASE THE STRENGTH OF CONCRETE BUILDING STRUCTURES USING NANOSOLUTIONS

A method for increasing the strength of concrete building structures using nanosolution absorption effect (for example silica sol) was proposed.

Key words: strength, absorption, nanosolution, silica sol.

Статья поступила в редакцию Интернет-журнала 9 марта 2014 г.

В развитие [1-7], предложен метод повышения прочности строительных конструкций на цементной основе с использованием эффекта поглощения кремния в процессе их твердения (рис. 1).

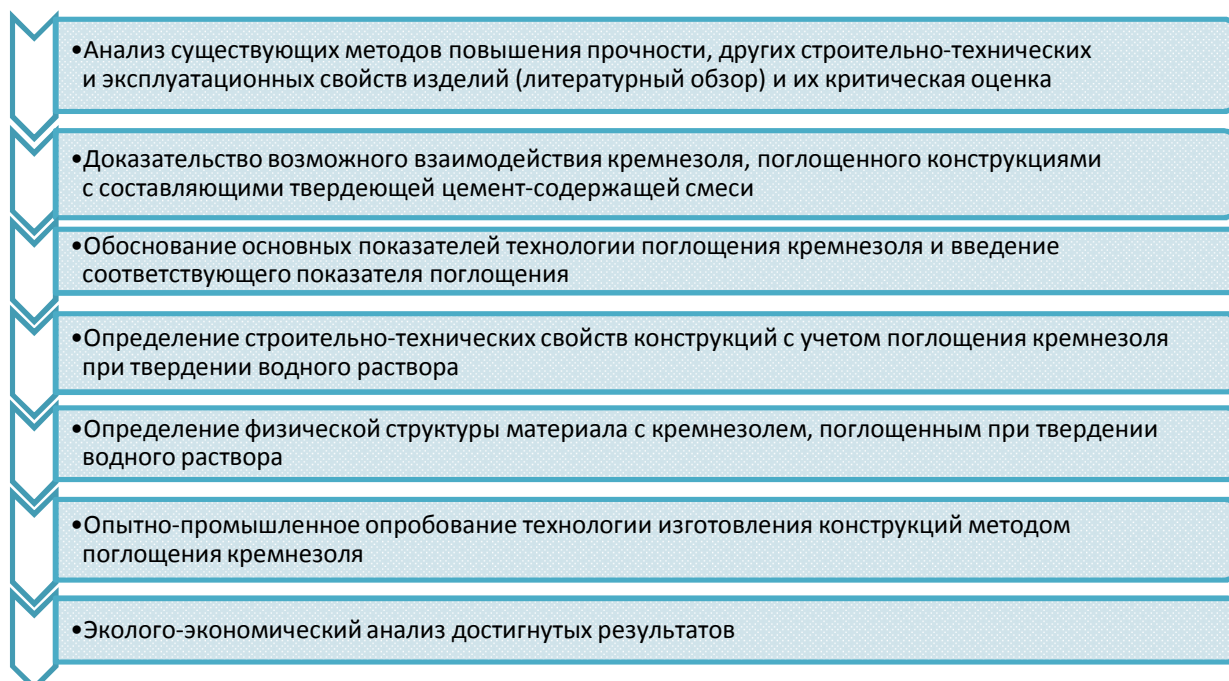
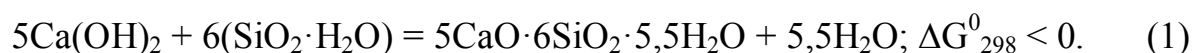


Рис. 1. Метод повышения прочности цемент-содержащих конструкций при использовании эффекта поглощения кремнезоля в процессе их твердения

В основе этого метода лежит использование двух самопроизвольных явлений – капиллярного подсоса, который характерен для цемент-содержащих конструкций (как капиллярно-пористых тел), и химического взаимодействия частиц кремнезоля с составляющими цементного камня – гидросиликатами и гидроксидом кальция.

Термодинамический расчёт показал, что кремнезоль, существующий в щелочной среде в виде силикат-ионов разной степени полимеризации с условным мономером формулы $\text{SiO}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$, взаимодействует с составляющими камня с образованием гидросиликатов; при этом наиболее отрицательное изменение значения ΔG^0_{298} оказалось для реакции (1):



Возможность химического взаимодействия твердеющих конструкций и раствора кремнезоля подтверждена физико-химическими исследованиями. По данным рентгенофазового анализа, в присутствии кремнезоля происходит снижение линии $\text{Ca}(\text{OH})_2$, что говорит о связывании этой фазы; этот же вывод подтвердили дериватографический и ИК-спектральный методы анализа.

В качестве объектов исследования были выбраны конструкции средней плотности D400, D500, D600 (в виде пенобетонных) и мелкозернистый бетон D2000, которые характеризуются соответствующими величинами водопоглощения (табл. 1).

Таблица 1

Составы и водопоглощение исходных бетонных конструкций

Средняя плотность, $\text{кг}/\text{м}^3$	Расход материалов на 1 м^3 бетона, кг				Распływ, см
	Цемент, марка 500	Песок	Вода, л	Пено-добавка, л	
D400	310	–	150	0,80	24
D500	350	60	160	0,70	24
D600	350	160	175	0,65	24
D2000	500	1500	275	–	2,0

В дальнейшем производились систематические исследования технологии поглощения, для чего приготавливались образцы-балочки $4 \times 4 \times 16 \text{ см}^3$ и кубы $10 \times 10 \times 10 \text{ см}^3$, которые твердели в стандартных условиях и помещались в раствор кремнезоля на глубину 1 см в разные сроки твердения. Опыты проводились на модельном растворе кремнезоля, полученного на катионообменной колонке из раствора Na_2SiO_3 , а также на промышленном растворе кремнезоля, который имел следующий состав: SiO_2 – 30,5 %; Na_2O – 0,35 %; pH – 10,2; плотность – $1,205 \text{ г}/\text{см}^3$; вязкость – $6,8 \text{ мПа} \cdot \text{с}$; размер частиц – 12 нм.

Промышленный раствор разбавлялся до разных концентраций, помещался в ванну, в которую затем погружались образцы.

В начале эксперимента было определено время максимального насыщения – 10 часов. Были определены концентрационная зависимость раствора кремнезоля, времени предварительного твердения образцов перед поглощением кремнезоля по *критерию прочности при сжатии*, достигаемой в "возрасте" 28 суток нормального твердения. Концентрационная зависимость *прочности* образцов на растяжение *при изгибе* и *при сжатии* в "возрасте" 28 суток, показана в табл. 2 и 3.

Таблица 2

Концентрационная зависимость прочности конструкций на растяжение при изгибе

Средняя плотность, кг/м ³	Прочность, МПа/% при концентрации кремнезоля, %						
	0 (контр.)	1,5	3	4,5	6	7,5	9
D400	0,14 / 100	0,26 / 184	0,24 / 172	0,22 / 157	0,2 / 142	0,17 / 121	0,16 / 114
D500	0,72 / 100	1,23 / 170	1,18 / 163	1,15 / 159	1,11 / 154	1,07 / 148	1,02 / 141
D600	1,05 / 100	1,49 / 141	1,34 / 127	1,26 / 120	1,21 / 115	1,18 / 112	1,16 / 110
D2000	4,22 / 100	7,03 / 166	6,50 / 154	6,31 / 149	6,19 / 146	6,02 / 142	5,93 / 140

Таблица 3

Прочность конструкций при сжатии в зависимости от концентрации кремнезоля

Средняя плотность, кг/м ³	Прочность при сжатии, МПа/% при концентрации кремнезоля, %						
	0 (контр.)	1,5	3	4,5	6	7,5	9
D400	0,46 / 100	0,80 / 173	0,72 / 156	0,68 / 147	0,64 / 139	0,62 / 134	0,60 / 130
D500	1,05 / 100	2,09 / 199	1,92 / 182	1,82 / 173	1,74 / 165	1,68 / 160	1,55 / 147
D600	1,36 / 100	2,71 / 199	2,61 / 191	2,56 / 188	2,51 / 184	2,42 / 177	2,31 / 169
D2000	14,08 / 100	24,61 / 174	19,52 / 139	18,20 / 129	17,57 / 125	16,89 / 120	16,33 / 116

В табл. 4 и 5 показано влияние времени твердения конструкций перед поглощением кремнезоля.

Таблица 4

Зависимости прочности конструкций на растяжения при изгибе от времени твердения перед поглощением кремнезоля

Прочность на растяжение при изгибе в "возрасте" до 28 суток, МПа/%							
Средняя плотность, кг/м ³	Время твердения перед поглощением кремнезоля, сут.						
	0 (контр.)	3	5	7	14	21	28
D400	0,14 / 100	0,26 / 185	0,21 / 150	0,21 / 142	0,196 / 140	0,192 / 137	0,188 / 134
D500	0,73 / 100	1,25 / 171	1,20 / 164	1,14 / 156	1,05 / 144	0,99 / 136	0,95 / 130
D600	1,06 / 100	1,54 / 145	1,51 / 142	1,48 / 139	1,43 / 134	1,41 / 133	1,38 / 130
D2000	4,23 / 100	7,03 / 166	6,15 / 145	5,95 / 141	5,07 / 120	4,60 / 109	4,35 / 103

**Прочность конструкции при сжатии в зависимости от времени твердения
перед поглощением кремнезоля**

Прочность при сжатии, МПа/ % в "возрасте" до 28 суток							
Средняя плотность, $кг/м^3$	Время твердения перед поглощением кремнезоля, сут.						
	0 (контр.)	3	5	7	14	21	28
D400	0,45 / 100	0,80 / 173	0,71 / 154	0,66 / 143	0,61 / 132	0,60 / 130	0,58 / 126
D500	0,93 / 100	2,09 / 225	1,95 / 210	1,65 / 177	1,50 / 161	1,32 / 142	1,19 / 128
D600	1,37 / 100	2,67 / 194	2,34 / 170	2,19 / 159	1,95 / 142	1,84 / 134	1,78 / 129
D2000	14,08 / 100	24,61 / 175	22,18 / 158	20,65 / 147	19,73 / 140	18,52 / 131	17,25 / 122

Табл. 2 и 3 показывают, что наилучшие результаты по прочности в "возрасте" 28 суток соответствуют 1,5 %-му раствору поглощённого кремнезоля, который взаимодействует с образцами конструкций предварительно 3-суточного твердения – табл. 4 и 5. Следует отметить, что **повышение прочности** значительное и для отдельных средних плотностей оно **превышает двукратное**.

В дальнейших исследованиях было определено количество поглощаемого кремнезоля с учётом массы поглощённого раствора и его процентной концентрации, (табл. 6). Это количество было названо **ёмкостью поглощения, C , $кг/м^3$** (это новая и принципиально важная величина, характеризующая технологию поглощения).

Также было определено примерное количество гидросиликатов (графа 5) как характеризующееся наиболее отрицательным значением величины ΔG^0_{298} . Повышение прочности при той же плотности поднимает удельную прочность конструкций (коэффициент конструктивного качества, графа 7, табл. 6).

В этой же таблице (графа 4) показано количество кремнезоля, отнесённое к цементу; можно увидеть что, количественный предел соответствует 0,08-0,1 от массы цемента.

Таблица 6

Ёмкость поглощения и удельная прочность конструкций

Средняя плотность конструкций, $кг/м^3$	Масса поглощённого 1,5 %-раствора кремнезоля, $кг/м^3$	Количество поглощённого кремнезоля, ёмкость поглощения, C , $кг/м^3$	% от массы цемента	Рассчитанное примерное количество гидросиликатов, $кг/м^3$	Удельная прочность, (коэффициент конструктивного качества), МПа/%	
					контр.	с золев
D400	16	0,24	0,077	0,379	1,12/100	2,00 / 178
D500	20	0,30	0,085	0,473	1,86/100	4,18/224
D600	25	0,36	0,100	0,568	2,28/100	4,45/195
D2000	32	0,48	0,096	0,758	7,04/100	12,3/174

Совместно с Байдарашвили М.М. был выполнен эколого-экономический анализ полученных результатов и в табл. 7 показано повышение с начального уровня классов и марки бетона разной средней плотности (сравнение граф 2 и 4, 3 и 5) при использовании эффекта поглощения кремнезоля.

Таблица 7

**Изменения классов бетона разной средней плотности
с поглощением раствора кремнезоля**

Средняя плотность конструкций, $кг/м^3$	Класс бетона по прочности (В), ближайшая марка бетона по прочности (М)				Повышение прочности на сжатие, %
	контрольный		с золев		
D400	B0,35	M5	B0,75	M10	78 %
D500	B0,75	M10	B1,5	M20	124 %
D600	B1	M15	B2.0	M25	94 %
D2000	B10	M150	B20	M250	75 %

В табл. 8 приведены результаты экологического анализа, выполненного также совместно с М.М. Байдарашвили, который показывает экономию природных ресурсов, топлива, электроэнергии при производстве бетонных конструкций с использованием нанорастворов, на примере раствора кремнезоля, за счёт повышения коэффициента конструктивного качества (табл. 6).

Таблица 8

**Ресурсохранность и энергосохранность при производстве бетонных конструкций
с использованием нанорастворов за счёт экономии цемента**

Марка бетонных конструкций с поглощённым кремнезолом	Экономия цемента при производстве бетона с использованием раствора кремнезоля, $кг/ %$	Количество кремнезоля, поглощенного конструкцией, ёмкость поглощения, $С, кг/м^3$	Экономия ресурсов					
			на $1 м^3$ бетонных конструкций			на $1000 м^3$ бетонных конструкций		
			природных ресурсов, $кг$	топлива, $кг$	электроэнергии, $кВт/ч$	природных ресурсов, $тонн$	топлива, $тонн$	электроэнергии, $кВт/ч$
M10	10 / 3,1	0,24	20	2,1	0,9	20	2,1	900
M20	40 / 11,1	0,30	80	8,4	3,6	80	8,4	3600
M25	30 / 6,7	0,36	60	6,3	2,7	60	6,3	2700
M250	110 / 33,3	0,48	220	23,1	9,9	220	23,1	9900

Выводы

1. Предложен метод повышения прочности цементных конструкций с использованием эффекта самопроизвольного поглощения ими кремнезоля в процессе твердения его водного раствора. Обосновано физико-химическими и инструментальными методами, что процесс взаимодействия кремнезоля с продуктами гидратации портландцемента сопровождается образованием гидросиликатов.
2. Определены механо-физические свойства конструкций, полученных поглощением кремнезоля в процессе твердения его водного раствора.
3. Предложенный метод приводит к снижению стоимости строительных конструкций.

Литература

1. *Сватовская Л.Б., Шершнева М.В., Хаммади Мустафа, Савельева М.Ю., Бойкова Т.И.* Улучшение строительных и геоэкозащитных свойств минерального сырья и конструкций в транспортном строительстве // Транспортное строительство. 2013. № 4. С. 30-32.
2. *Сватовская Л.Б., Сычева А.М., Хаммади Мустафа, Бойкова Т.И.* Использование метода капиллярного подсоса нанорастворов для развития геоэкозащитных строительных технологий транспорта // Известия ПГУПС. 2013. № 3. С. 67-72.
3. *Сватовская Л.Б., Сычева А.М., Степанова И.В., Хаммади Мустафа.* Некоторые геоэкологические аспекты строительной деятельности на инженерно-химических основах // Естественные и технические науки. 2013. № 3. С. 149-151.
4. *Сватовская Л.Б.* Энергетический аспект геоэкологической защиты при транспортном строительстве // Транспортное строительство. 2014. № 3. С. 30-31.
5. *Сватовская Л.Б., Сычева А.М., Макарова Е.И., Шершнева М.В. и др.* Энергетическое обоснование геоэкозащитных свойств минеральных строительных материалов // Технологии техносферной безопасности: интернет-журнал. Вып. 1 (53). 2014. 7 с. <http://ipb.mos.ru/ttb>.
6. *Сватовская Л.Б., Макарова Е.И., Шершнева М.В., Байдарашвили М.М. и др.* Геоэкозащитные абсорбционные нефтепоглощающие свойства строительных материалов и изделий // Технологии техносферной безопасности: интернет-журнал. Вып. 2 (54). 2014. 7 с. <http://ipb.mos.ru/ttb>.
7. *Сватовская Л.Б.* Некоторые информационные признаки для классификации частиц наноразмера // Естественные и технические науки. 2012. № 5. С. 247-249.