

ISSN 2076-0655

---

# ТЕХНИКА И ТЕХНОЛОГИЯ СИЛИКАТОВ

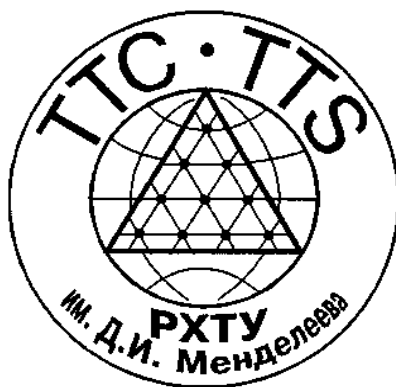
---

*МЕЖДУНАРОДНЫЙ ЖУРНАЛ  
ПО ВЯЖУЩИМ, КЕРАМИКЕ, СТЕКЛУ И ЭМАЛЯМ*

---

**1**

**2020**



---

**МОСКВА**

# ТЕХНИКА И ТЕХНОЛОГИЯ СИЛИКАТОВ

## МЕЖДУНАРОДНЫЙ ЖУРНАЛ ПО ВЯЖУЩИМ, КЕРАМИКЕ, СТЕКЛУ И ЭМАЛЯМ

Том 27, № 1

Январь - Март, 2020

Журнал издаётся с 1994 г. В нем публикуются актуальные материалы по проблемам современного производства, информация по экономическим и финансовым вопросам, новости науки и техники, сообщения о новых сырьевых материалах и изделиях. Журнал оказывает поддержку аспирантам, докторантам, молодым ученым и специалистам промышленности и публикует их работы по широкому кругу вопросов техники и технологии силикатов в первую очередь.

**Главный редактор КРИВОБОРОДОВ Ю. Р.**, д-р техн. наук, проф.,  
РХТУ им. Д. И. Менделеева. E-mail: ykriv@muctr.ru  
**Редактор-консультант КУЗНЕЦОВА Т. В.**, д-р техн. наук, проф. E-mail: tkouz@mail.ru

### Издательский консультационный совет

БУРЛОВ Ю.А., ОАО «Подольск-Цемент», генеральный директор, д-р экон. наук; ГУСЕВ Б.В., Международная инженерная академия, президент, чл.-корр. РАН; КОЛЕСНИКОВ В.А., РХТУ им. Д. И. Менделеева, д-р техн. наук, проф.; КРАСНЫЙ Б.Л., ЗАО НТЦ «Бакор», генеральный директор, д-р техн. наук; СИГАЕВ В.Н., д-р хим. наук, РХТУ им. Д. И. Менделеева, проф.; СОЛНЦЕВ С.С., ФГУП «ВИАМ» ГНЦ РФ, советник генерального директора, д-р техн. наук, проф.

### Редакционная коллегия

БЕЛЯКОВ А.В., проф., РХТУ им. Д.И. Менделеева, Москва, Россия; БОБКОВА Н.М., проф., Белорусский государственный технологический университет, Минск, Беларусь; ВЕРЕЩАГИН В.И., проф., Томский политехнический университет, Россия; КУРДОВСКИЙ В., проф., Горно-металлургическая академия, Краков, Польша; НИЯЗБЕКОВА Р.К., проф., Евразийский национальный университет им. Л. Н. Гумилева, Астана, Казахстан; ПАЛЕАРИ А., проф., Университет Милано-Бикокка, Милан, Италия; САМЧЕНКО С.В., проф., Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет, Россия; САНИЦКИЙ М.А., проф., Национальный университет «Львовская политехника», Украина; СВИДЕРСКИЙ В.А., Национальный технический университет Украины «КПИ», проф., Киев, Украина; СИВКОВ С.П., канд. техн. наук, доцент, РХТУ им. Д. И. Менделеева, Москва, Россия

**Издатель** – Российский химико-технологический университет им. Д. И. Менделеева

Выходит 4 раза в год

Подписной индекс 87947  
в объединенном каталоге «Пресса России»

**Адрес редакции:** 125480, Москва,  
ул. Героев Панфиловцев, 20, корпус 3  
«Силикатный факультет», комн. 209а  
Тел./факс: (495) 496-60-09  
E-mail: ykriv@muctr.ru, ykriv@rambler.ru,  
journal\_tts@mail.ru  
Интернет: <http://it.muctr.ru/pubcenter/silikaty>

### СОДЕРЖАНИЕ

<i>Потапова Е.Н., Кривобородов Ю.Р.</i> Получение комплексных экологических разрешений предприятиями промышленности строительных материалов: первые итоги .....	2
<i>Самченко С.В., Кудряшов Н.И., Гуркин А.Ю.</i> Термодинамическая оценка влияния карбоната кальция на гидратацию цемента .....	6
<i>Кондращенко В.И., Титов С.П., Казаков А.А.</i> Активация цемента в мельнице вихревого типа. Часть 2. Изменение формы цементных частиц .....	12
<i>Сафронова Т.В., Лукина Ю.С., Сивков С.П., Тошев О.У., Казакова Г.К., Шаталова Т.Б., Филиппов Я.Ю., Малютин К.В., Азизян-Каландараг Я.</i> Керамика на основе пиррофосфата кальция, полученная обжигом цементного камня .....	17
<i>Алимов Л.А., Воронин В.В., Ларсен О.А.</i> Оценка влияния компонентов бетона на формирование его структуры и свойств.....	20
<i>Самченко С.В., Абрамов М.А., Егоров Е.С.</i> Особенности протекания гидратации и твердения цементных паст с добавкой гидратированного цемента .....	24
<i>Гусев Б.В., Кривобородов Ю.Р., Потапова В.А.</i> Возможность вторичного применения бетонолома .....	28

*По решению ВАК Министерства образования и науки РФ журнал включен в «Перечень российских рецензируемых научных журналов, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученых степеней доктора и кандидата наук»*

© РХТУ им. Д. И. Менделеева, 2020

# TECHNIQUE AND TECHNOLOGY OF SILICATES

INTERNATIONAL JOURNAL OF BINDERS, CERAMICS, GLASS AND ENAMELS

Vol. 27, no. 1

January – March, 2020

Journal is published since 1994. It publishes relevant materials on the problems of modern production, information on economic and financial issues, science and technology news, reports of new raw materials and products. Journal provides support for students, doctoral students, young scientists and specialists of industry and publishes their works on a wide range of questions of technique and technology of silicates in the first place.

**Editor-in-Chief KRIVOBORODOV Yu. R.**, Dr. Sci., prof., D. Mendeleev University of Chemical Technology of Russia (MUCTR). E-mail: [ykriv@muctr.ru](mailto:ykriv@muctr.ru)  
**Editor-consultant KOUZNETSOVA T. V.**, Dr. Sci., prof. E-mail: [tkouzn@mail.ru](mailto:tkouzn@mail.ru)

## Publishing advisory board

BURLOV Yu. A., JSC «Podolsk-Cement», general director, Dr. Econ. Sci.; GUSEV B. V., president of REA, academician; KOLESNIKOV V. A., MUCTR, Dr. Sci., prof.; KRASNY B. L., JSC «Bakor», general director, Dr. Sci.; SIGAEV V. N., MUSTR, Dr. Sci., prof.; SOLNTSEV S. S., FGUP «VIAM» GNZ RF, adviser of general director, Dr. Sci., prof.

## Editorial board

BELAKOV A. V., prof., MUCTR, Moscow; BOBKOVA N. M., prof., Belarusian State Technological University, Minsk, Belarus; VERESHCHAGIN V. I., prof., Tomsk Polytechnical University; KURDOWSKI W., prof., Academia Gorniczno-Hutnicza, Krakow, Poland; MELKONYAN R. G., academician of RAEN, foreign member of Armenian Academy of Sciences, prof., MGGU, Moscow; NIYAZBEKOVA R. K., prof., L. N. Gumilyov Eurasian University, Astana, Kazakhstan; PALEARI A., prof., University of Milano-Bicocca, Milan, Italy; SAMCHENKO S. V., prof., National Research University MGSU, Moscow; SANITSKIY M. A., prof., Lviv Polytechnic National University, Ukraine; SVIDERSKIY V. A., prof., National Technical University of Ukraine «KPI», Kiev, Ukraine; SIVKOV S. P., Ph. D., Associate Professor, MUCTR, Moscow

**Publisher** – D. Mendeleev University of Chemical Technology of Russia (MUCTR)

**Issue:** 4 number a year

**Subscription:** Union catalogue «Press of Russia», index 87947

**Address of editorial office:** 20 Geroev Panfilovtsev str., Moscow, 125480  
Tel./fax +7(495) 496-60-09  
E-mail: [ykriv@muctr.ru](mailto:ykriv@muctr.ru), [ykriv@rambler.ru](mailto:ykriv@rambler.ru),  
[journal\\_tts@mail.ru](mailto:journal_tts@mail.ru)  
Internet: <http://it.muctr.ru/pubcenter/silikaty>

## CONTENTS

<i>Potapova E.N., Krivoborodov Yu.R.</i> Obtaining complex environmental permissions by enterprises industry of building materials: First results .....	2
<i>Samchenko S.V., Kudryashov N.I., Gurkin A.Yu.</i> Thermodynamic evaluation of the effect of calcium carbonate on cement hydration .....	6
<i>Kondrashenko V.I., Titov S.P., Kazakov A.A.</i> Activation of cement in the mill of the vortex type. Part 2. Changing the shape of cement particles .....	12
<i>T. V. Safronova, Yu.S. Lukina, S.P. Sivkov, O.U. Toshev, G.K. Kazakova, T.B. Shatalova, Ya. Yu. Filippov, K.V. Malyutin, Ya. Azizyan-Kalendarag.</i> Calcium pyrophosphate ceramics obtained via firing of cement stone .....	17
<i>Alimov L.A., Voronin V.V., Larsen O.A.</i> Assessment of the influence of concrete components on the formation of its structure and properties .....	20
<i>Samchenko S.V., Abramov M.A., Egorov E.S.</i> Features of cement paste hydration and hardening processess with the addition of hydrated cement .....	24
<i>Gusev B.V., Krivoborodov Yu.R., Potapova V.A.</i> Possibility of secondary application concrete breaker .....	28

## ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ КОМПОНЕНТОВ БЕТОНА НА ФОРМИРОВАНИЕ ЕГО СТРУКТУРЫ И СВОЙСТВ

Алимов Л.А., Воронин В.В., Ларсен О.А.

*Проблема повышения качества и эффективности высококачественных бетонов связана с оптимизацией и автоматизацией технологических процессов с целью повышения однородности бетонных смесей и бетонов по составу, структуре и свойствам. Снижение коэффициента вариации прочности и морозостойкости приводит не только к существенному снижению расхода цемента, но и к повышению надежности железобетонных конструкций. Развитие метода математических моделей требует одновременного совершенствования критериев оценки исходных материалов и бетона. Перспективным направлением для разработки таких критериев с целью создания единого подхода для изучения различных видов бетонов является рассмотрение структуры бетона как композиционного материала.*

*В статье рассмотрено влияние компонентов бетона на формирование его структуры и свойств, получены их количественные значения. В связи с тем, что выявленные структурно-технологические характеристики являются общими для бетона и бетонной смеси, то представляется возможным оптимизировать состав бетона исходя из зависимостей типа «состав – структура – свойства». Это будет способствовать созданию основ компьютерного моделирования структуры и свойств бетонов с возможностью использования различных техногенных отходов.*

**Ключевые слова:** цементное тесто, растворные и бетонные смеси, структурно-технологические характеристики, период формирования структуры, структура, свойства.

Развитие метода математического моделирования требует одновременного совершенствования критериев оценки материалов бетона как многокомпонентных, так и с отходами промышленности, которые позволили бы получить более точные количественные зависимости «состав – структура – технология – свойства». Это возможно только при формализации структуры бетона и установлении с помощью экспериментальных исследований количественных соотношений между характери-

стиками структуры бетонов и их свойствами.

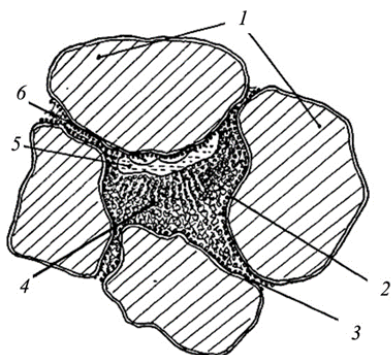
Формализация структуры бетона предусматривает количественную оценку влияния на формирование его структуры и свойств каждого из компонентов: заполнителя, цемента, добавок.

Особенность формирования структуры бетона заключается в том, что схватывание и твердение цементного теста происходят не в блоке, а в пустотах заполнителя или в тонких прослойках между заполнителями. Это

вносит особенности в протекающие процессы. Компонировка зерен цемента, расстояние между ними, характер контактов, седиментационные явления, изменение объема цементного теста еще до схватывания цемента в известной мере определяется размером и структурой пустот заполнителей, а также характеристикой его поверхности [1, 2].

Заполнитель в бетонной смеси разделяет цементное тесто на микрообъемы – «структурные ячейки», часть воды затворения в которых адсорбционно связывается поверхностью заполнителя. Вокруг каждого зерна заполнителя образуется так называемый слой обмазки из цементного теста. На рис. 1 представлен бетон слитного строения, в котором цементное тесто заполняет пространство между зернами заполнителя.

После приготовления и укладки (уплотнения) бетонной смеси в цементном тесте, заключенном между зернами заполнителя, происходит седиментационное уплотнение под действием сил тяжести. Осевшее цементное тесто имеет неравномерное строение по высоте: внизу — более крупные частицы цемента, сверху — более мелкие. Под заполнителем образуются полости, заполненные отслоившейся в результате седиментации воды. В этих полостях находятся также пузырьки волеванного в смесь воздуха [3].



**Рисунок 1. Структурная ячейка бетонной смеси:**

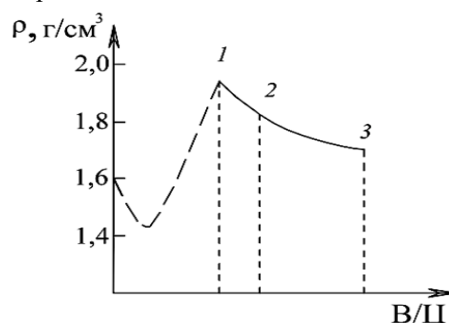
1 - зерна заполнителя; 2 - слой воды смачивания; 3 - слой обмазки из цементного теста; 4 - осевшее цементное тесто; 5 - отслоившаяся в результате седиментации вода; 6 - пузырьки волеванного воздуха

В «структурных ячейках» создаются специфические условия, которые влияют на кинетику структурообразования цементного камня в бетоне, выражающиеся в том, что первоначальное твердение бетона происходит при водоцементном отношении, всегда меньшем, чем водоцементное отношение затворения.

Введенный в цементное тесто заполнитель, при постоянном расходе воды затворения существенно влияет на свойства бетонной смеси, например, уменьшает ее подвижность и сокращает период формирования структуры, т.е. переход из вязкого-пластичного состояния в затвердевшее, причем тем в большей степени, чем выше содержание заполнителя и его удельная поверхность. Это аналогично уменьшению В/Ц. Кроме того, введение в цементное тесто заполнителя при постоянном В/Ц приводит к возрастанию предельного напряжения сдвига системы, которое возрастает по мере увеличения объемной концентрации заполнителя и как следствие — уменьшения прослоек цементного теста между его зернами.

В системе «цемент – вода» кинетика гидратации цемента и тепловыделения при одинаковых условиях твердения определяются значением В/Ц затворения и периодом формирования структуры, то есть время от начала затворения до момента резкого изменения структурообразования в этом случае зависит только от В/Ц. Однако в бетонах эта закономерность не наблюдается. Бетоны с одинаковыми периодами формирования структуры могут иметь различные значения В/Ц затворения, но все они имеют одинаковое условное В/Ц, цементного теста, так как период формирования структуры у них одинаковый. Условно можно считать, что в этом случае поведение бетонной смеси определяется свойствами цементного камня, как бы имеющего несколько меньшее В/Ц, чем В/Ц затворения.

Зависимость свойств цементного теста от В/Ц представлено на рис. 2. Анализ результатов показывает, что с увеличением В/Ц средняя плотность сначала уменьшается до минимальной величины, что связано с возникновением сольватных оболочек вокруг зерен цемента и, как следствие, образования флоккул, внутри которых находится зацементированный воздух. С увеличением В/Ц средняя плотность цементного теста увеличивается до максимальной величины, при этом впервые образуется удобообработываемое цементное тесто.



**Рисунок 2. Зависимость средней плотности цементного теста от В/Ц [4]**

Консистенция цементной смеси до этого момента по внешнему виду напоминает влажную землю. Водоцементное отношение, при котором впервые образуется цементное тесто подвижной консистенции считается минимальным В/Ц<sub>min</sub>. Дальнейшее повышение В/Ц приводит к снижению средней плотности цементного теста и при В/Ц<sub>max</sub> происходит расслоение теста. Количественная величина этих В/Ц зависит от нормальной плотности цемента [4]. Если принять нормальную плотность (НГ) за коэффициент нормальной плотности (К<sub>нр</sub>), например, для цемента с НГ = 25%, К<sub>нр</sub> = 0,25. Тогда для цементного теста подвижной консистенции:

$$\text{В/Ц} = (0,876 - 1,65) \cdot \text{К}_{\text{нр}}$$

Исходя из этой формулы, для цемента с НГ = 25% водоцементное отношение составит 0,219 – 0,4125.

Становится очевидным, что твердение цемента с В/Ц = 0,219 – 0,4125 может быть только при этих В/Ц, где бы он не находился в цементном тесте, в растворной или бетонной смеси.

Таким образом, было установлено, что равноподвижные смеси имеют одинаковый период формирования структуры, независимо от В/Ц затворения.

При схватывании формируется определенная первоначальная структура, которая является интегральным итогом предшествующих процессов. В последующем

эта структура видоизменяется, уплотняется за счет гидратации цемента, но ее характер оказывает определенное влияние на конечные свойства бетона, т.е. в данном случае проявляется наследственный характер.

Вблизи зерен заполнителя нарушается система упаковки цемента, возникает сложное взаимодействие между цементным тестом и поверхностью заполнителя. В этой контактной зоне условия формирования структуры цементного камня отличаются от условий, наблюдающихся в центре элементарного объема, т.е. в слоях цементного теста, отстоящего от поверхности заполнителя на большее расстояние [5, 6].

Определить количество воды, необходимое для компенсации влияния заполнителя, можно введением понятия об условно-истинном водоцементном отношении ( $V/C_{ист}$ ) [7]. Под истинным водоцементным отношением подразумевается такое  $V/C$ , которое обеспечивает такую же подвижность и сроки схватывания цементного теста, что и подвижность и сроки схватывания бетонной смеси при  $V/C$  затворения.

Добавочное же количество воды, необходимое для получения равноподвижной бетонной смеси при использовании определенного вида заполнителя, условно можно назвать его водопотребностью  $V_{затв}$ . Тогда водопотребность заполнителя можно представить:

$$V_{затв} = (V_{затв} - V_{ц})/n$$

где:  $V_{затв}$  – вода затворения в литрах;

$V_{ц}$  – вода, приходящаяся на цементное тесто в период формирования структуры в литрах;

$n$  – соотношение заполнителя к цементу.

Соответственно, истинное водоцементное отношение можно выразить:

$$V/C_{ист} = (V_{затв} - V_{затв})/C,$$

где:  $V_{затв}$  – расход воды в л на  $1 \text{ м}^3$  бетона;

$C$  – расход цемента в бетоне,  $\text{кг}/\text{м}^3$ .

Водопотребность заполнителя в бетонной смеси легко устанавливается из сравнительных испытаний цементного теста и бетона с одинаковой подвижностью и сроками схватывания или сравнения результатов испытания бетонной смеси разных составов. Однако,  $V/C_{ист}$  не определяет однозначно свойства бетонной смеси. Существенное значение имеет содержание в бетоне цементного теста или его концентрация  $C$ . Как показывают исследования, при оценке поведения бетонной смеси наибольшая схожимость результатов достигается при применении понятия об условной объемной концентрации с учетом  $V/C_{ист}$ :

$$C = \frac{C}{1000} \left( \frac{1}{\rho_{ц}} + V/C_{ист} \right),$$

где:  $\rho_{ц}$  – плотность цемента,  $\text{кг}/\text{м}^3$ .

Для полной характеристики строения бетона необходимо оценивать не только его макроструктуру, но и микроструктуру. Микроструктуру можно оценивать по характеру пористости цементного камня и заполнителя, а также пористости, получаемой за счет воздухововлечения при введении химических добавок.

В качестве общей количественной характеристики строения бетона можно воспользоваться условным критерием  $L$ , который представляет собой отношение объемной концентрации цементного камня в бетоне при заданном значении  $V/C_{ист}$  к суммарной пористости бетона  $\Pi_6$ , которая складывается из пористости цементно-

го камня, пористости заполнителя  $\Pi_3$  и пористости, образованной вовлеченным воздухом  $\Pi_{вв}$ :

$$L = \frac{C}{\Pi_6} = \frac{\frac{C}{\rho_{ц}} + V/C_{ист} \cdot C}{V - 0,21 \cdot \alpha \cdot C + \Pi_3 + \Pi_{вв}},$$

где:  $\alpha$  – степень гидратации цемента.

Критерий  $L$  учитывает изменение структуры во времени через степень гидратации цемента  $\alpha$ . Использование обобщенного критерия  $L$  позволяет получить единую зависимость прочности  $R_6 = f(L)$ . Эта зависимость, представленная на рис. 3, получена математической обработкой результатов испытаний 150 различных составов бетона на тяжелом и легком заполнителях.

Формализация структуры бетона, необходимая для построения математических моделей «структура — свойства», предусматривает установление трех аргументных характеристик, определяющих свойства бетона: объемной концентрации цементного камня в бетоне  $C$ , водоцементного отношения  $V/C_{ист}$  конце периода формирования структуры и степени гидратации цемента  $\alpha$ , по которой оценивают гидратацию вяжущего и изменение прочности цементного камня в процессе твердения.

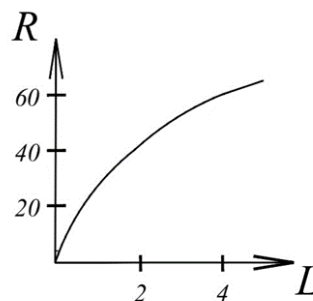


Рисунок 3. Зависимость прочности бетона на тяжелых и легких заполнителях от обобщенного критерия  $L$ .

Величина  $C$  выражает соотношение между цементным камнем и заполнителем и является характеристикой макроструктуры. Величины  $V/C_{ист}$  и  $\alpha$  совместно определяют объем пор в бетоне данного возраста, т.е. характеризуют микроструктуру бетона. Однако микроструктура включает также сведения о строении цементного камня, заполнителя и контактного слоя между ними. Поэтому важным является необходимость точной оценки свойств исходных материалов и выполнение всех технологических требований.

Величины  $C$  и  $V/C_{ист}$  характеризуют не только структуру, но и состав бетона, поскольку объемную концентрацию заполнителя  $S$  и расход цемента  $C$  можно найти при помощи формул:

$$S = 1 - C,$$

$$C = \frac{C}{V/C_{ист} + Y_{ц}},$$

где:  $Y_{ц}$  — удельный объем цемента, равный  $1/\rho_{ц}$ ,  $\text{м}^3/\text{т}$ .

Все это составило основу структурной теории, являющейся общей для бетонов различного вида, как и метод определения  $C$  и  $V/C_{ист}$  — единый для бетонов на плотных и пористых заполнителях. Особенность структурной теории бетона, имеющей практическое значение, в том, что реологические и технические свойства бетонной смеси, а так же физико-механические

свойства затвердевшего бетона (прочностные, деформативные, морозостойкость, проницаемость, трещиностойкость) рассматриваются в зависимости от одних и тех же аргументных величин  $C$ ,  $V/\Pi_{ист}$  и  $\alpha$ . Следовательно, для управления свойствами бетонной смеси и бетона, а также для оптимизации состава бетона, в том числе и с отходами промышленности, можно применять единые аргументные характеристики  $C$ ,  $V/\Pi_{ист}$  и  $\alpha$ , что позволяет широко использовать для этих целей компьютерные программы.

Зависимость «свойство – структура» может быть представлена либо в виде критериальной функции, либо в форме многофакторной математической модели. Критериями прочности и стойкости бетона удобно пользоваться, когда на основе предшествующего опыта достаточно строго определен выбор материалов (вяжущего, заполнителей) и свойства всецело зависят от структуры. В этом случае критерии стойкости, например, позволяют прогнозировать морозостойкость бетона.

Многофакторные уравнения, получаемые математико-статистическим путем, могут включать, наряду со структурными характеристиками, также и характеристики свойств исходных компонентов (вяжущего, заполнителей, наполнителей); они используются для определения состава специальных бетонов, свойства которых зависят от структуры в не меньшей степени, чем от качества вяжущего и заполнителей [7, 8]. Такой подход дает новые возможности для оценки таких длительно определяемых свойств, например, как морозостойкость бетона не только в образцах, но и в конструкциях. В этом случае, для прогнозирования морозостойкости, производственный бетон сличается с эталонным образцом по следующим показателям: идентичность по виду и структуре (объемная концентрация цементного камня, его водоцементное отношение, степень гидратации); идентичность технологических условий приготовления и уплотнения бетонных смесей, условий и времени твердения; идентичность однородности строения и свойств бетона. При одинаковых материалах и технологических условиях показатели стойкости производственного бетона и эталонных образцов могут совпасть только при наличии тождественности их структур.

Разработанные способы оценки водопотребности за-

полнителей в бетонной смеси и структурообразования цементного камня, раствора и бетона дали возможность разработать метод оценки качества любых наполнителей и заполнителей из отходов промышленности и их влияние на свойства бетонных смесей и бетонов. Для количественной оценки влияния отходов промышленности на свойства бетонных смесей и бетонов были введены понятия о коэффициентах, учитывающих их влияние на удобоукладываемость, морозостойкость, трещиностойкость, которые выражаются соответственно отношением изучаемого свойства соответствующим значениям свойств эталонных бетонных смесей и бетонов [9, 10, 11].

Так как выявленные структурно-технологические характеристики являются общими для бетона и бетонной смеси, обеспечивающей получение бетона заданной структуры, то появилась возможность оптимизировать состав бетона исходя из зависимостей типа «состав-структура-свойства». Это создает основу компьютерного моделирования структуры и свойств бетонов с техногенными отходами [12]. Например, принципом оптимизации является совместное рассмотрение многофакторных моделей, полученных на основе структурно-технологических характеристик с учетом влияния каждого компонента.

Структурные характеристики находят, решая совместно уравнения прочности и жесткости, жесткости и морозостойкости, жесткости и трещиностойкости и т.д. с помощью разработанных компьютерных программ.

В случае применения одних и тех же материалов для бетона (например, на заводах сборного железобетона) можно пользоваться графическими методами решения. Для этого строятся необходимые геометрические образы (изолинии) поверхности отклика.

Использование структурно-технологических характеристик эффективно для многокомпонентных самоуплотняющихся бетонов, в том числе с отходами промышленности, для которых недостаточно эффективны зависимости и методы, применяемые для классических бетонов, так как они лишены оперативности, а значительное изменение свойств отходов промышленности, широкое использование наполнителей и микронаполнителей требуют постоянной корректировки.

## Литература:

1. Алимов Л. А. Структура, прочность и деформативные свойства гидротехнических бетонов. / Л. А. Алимов и др. // Сб. ВНИИГ Веденева. Ленинград, 1975.
2. Баженов Ю.М., Воронин В.В., Алимов Л.А., Соловьев В.Н., Ларсен О.А. Эффективные мелкозернистые бетоны // Интернет-журнал «Науковедение». - 2017. - № 6. - Т.9. - С. 50.
3. Ахвердов И. Н. Основы физики бетона. М.: Стройиздат, 1981. 464 с.
4. Алимов Л.А., Воронин В.В., Коровяков В.Ф., Ларсен О.А., Гальцева Н.А. Оценка трещиностойкости бетонов // БСТ: Бюллетень строительной техники. - 2018. - № 9. - С. 55-56.
5. Баженов Ю.М., Горчаков Г.И., Алимов Л.А., Воронин В.В. Получение бетона заданных свойств. М.: Стройиздат, 1978. 53 с.
6. Алимов Л.А., Воронин В.В. Технология строительных изделий и конструкций. Бетоноведение. М.: Академия, 2010. 425 с.
7. Баженов Ю.М., Алимов Л.А., Воронин В.В. Структура и свойства бетонов с наномодификаторами на основе техногенных отходов. М.: МГСУ, 2013. 204 с.

## References:

1. Alimov L.A. Structure, strength and deformative properties of hydraulic concrete / L.A. Alimov et al. // Collection of VNIIG Vedeneva. – Leningrad-1975.
2. Bazhenov Y.M., Voronin V.V., Alimov L.A., Solovyev V.N., Larsen O.A. Effective concrete with low content of coarse aggregate // Internet-journal “Naukovedenie”. - 2017. - Vol. 9. - No. 6. P. 50.
3. Akhverdov I.N. Basic physics of concrete. Moscow: Stroizdat, 1981. 464 p.
4. Alimov L.A., Voronin V.V., Korovyakov V.F., Larsen O.A., Galtseva N.A. Evaluation of crack resistance of concrete // BST: Bulletin of construction equipment. - 2018. - No. 9. - P. 55-56.
5. Bazhenov Yu.M., Gorchakov G.I., Alimov L.A., Voronin V.V. Concrete of specified properties. Moscow: Stroizdat, 1978. 53 p.
6. Alimov L.A., Voronin V.V. Technology of building products and structures. Concrete science. Moscow: Akademiya, - 2010. 425 p.
7. Bazhenov Yu.M., Alimov L.A., Voronin V.V. Structure and

8. Alimov L., Voronin V., Larsen O., Korovyakov V. Effect of the structural characteristics on frost resistance of concrete // Journal of Advances in Intelligent Systems and Computing. - 2018. - Vol. 692. P. 601-607.
9. Алимов Л.А., Стенечкина К.С., Воронин В.В., Ларсен О.А. Влияние температурно-влажностных условий на формирование структуры бетонов с наномодификаторами // Научно-практический журнал «Научное обозрение». - 2015 - № 10 - С. 122-125.
10. Булдызов А.А., Алимов Л.А. Самоуплотняющиеся бетоны с наномодификаторами на основе техногенных отходов // Промышленное и гражданское строительство. - 2014. - № 8. - С. 86-88.
11. Булдызов А.А., Романов И.В., Алимов Л.А., Воронин В.В. Управление структурообразованием самоуплотняющихся бетонных смесей // Технологии бетонов. - 2014. - № 1(90). - С. 33-35.
12. Булдызов А.А., Романов И.В., Воронин В.В., Алимов Л.А. Исследование формирования структуры и свойств многокомпонентных бетонов // Научное обозрение. - 2013. - № 9. - С. 177-181.
- properties of concretes with nanomodifiers based on technogenic waste. Moscow: MGSU, - 2013. 204 p.
8. Alimov L., Voronin V., Larsen O., Korovyakov V. Effect of the structural characteristics on frost resistance of concrete // Journal of Advances in Intelligent Systems and Computing. - 2018. - Vol. 692. Pp. 601-607.
9. Alimov L.A., Stenechkina K.S., Voronin V.V., Larsen O. A. Influence of temperature and humidity conditions on the formation of concrete structure with nanomodifiers // Scientific and practical journal "Scientific review". - 2015. - No. 10. Pp. 122-125.
10. Buldyzhov A.A., Alimov L.A. Self-compacting concrete with nanomodifiers on the basis of technogenic waste // Industrial and civil construction. - 2014. - No. 8. Pp. 86-88.
11. Buldyzhov A.A., Romanov I.V., Alimov L.A., Voronin V.V. Control of structure formation in self-compacting ready-mix concrete // Technology of concrete. - 2014. - No. 1 (90). Pp. 33-35.
12. Buldyzhov A.A., Romanov I.V., Voronin V.V., Alimov L.A. Investigation of formation of structure and properties of multi-component concrete // Scientific review. - 2013. - No. 9. Pp. 177-181.

**Алимов Лев Алексеевич**, доктор технических наук, профессор, ФГБОУ ВО Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет (НИУ МГСУ),

*E-mail:* [AlimovLA@mgsu.ru](mailto:AlimovLA@mgsu.ru)

**Воронин Виктор Валерианович**, доктор технических наук, профессор, ФГБОУ ВО Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет (НИУ МГСУ),

*E-mail:* [s-voronina191@yandex.ru](mailto:s-voronina191@yandex.ru)

**Ларсен Оксана Александровна**, кандидат технических наук, доцент, ФГБОУ ВО Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет (НИУ МГСУ),

*E-mail:* [larsen.oksana@mail.ru](mailto:larsen.oksana@mail.ru)

<sup>2</sup> Dmitry Mendeleev University of Chemical Technology of Russia (Russia, Moscow)

<sup>3</sup> Moscow Polytechnic University (Moscow, Russia)

<sup>4</sup> University of Mohaghegh Ardabili (Iran, Ardabil)

<sup>5</sup> Sabalan University of Advanced Technologies (Iran, Namin)

Ceramics based on  $\beta$ -calcium pyrophosphate  $\beta$ -Ca<sub>2</sub>P<sub>2</sub>O<sub>7</sub> were obtained by firing of samples formed from a paste including water, monocalcium phosphate monohydrate Ca(H<sub>2</sub>PO<sub>4</sub>)<sub>2</sub>·H<sub>2</sub>O and calcium citrate tetrahydrate Ca<sub>3</sub>(C<sub>6</sub>H<sub>5</sub>O<sub>7</sub>)<sub>2</sub>·4H<sub>2</sub>O at the molar ratio Ca/P=1. According to XRD data, the sample after hardening and drying included brushite CaHPO<sub>4</sub>·2H<sub>2</sub>O, monetite CaHPO<sub>4</sub>, and monocalcium phosphate monohydrate Ca(H<sub>2</sub>PO<sub>4</sub>)<sub>2</sub>·H<sub>2</sub>O. After firing at 1000°C, the phase composition of the ceramic was represented by  $\beta$ -calcium pyrophosphate  $\beta$ -Ca<sub>2</sub>P<sub>2</sub>O<sub>7</sub>. The paste of the suggested composition can be used for plastic molding of pre-ceramic samples and products, including extrusion layer-by-layer printing. Ceramics obtained by firing of cement stone formed from the described hardening paste can be used as resorbable materials for bone implants.

**Keywords:** monocalcium phosphate monohydrate, calcium citrate tetrahydrate, chemical binding, brushite, monetite, phase transformations, calcium pyrophosphate, ceramics

#### **Alimov L.A., Voronin V.V., Larsen O.A. Assessment of the influence of concrete components on the formation of its structure and properties**

*Alimov L.A., Voronin V.V., Larsen O.A.* NRU MGSU Moscow state University of civil engineering, Moscow, Russia

The main statements on structural and technological theory are considered. The influence of concrete components on structure formation and properties is obtained by their quantitative values. The presented structural and technological characteristics are common for concrete and concrete mixture. It is possible to optimize the composition of concrete, based on the dependencies of the type "composition-structure-properties". This approach creates the basis for computer modeling on the concrete structure and properties. By the use of various supplementary cementitious materials it is possible to optimize the composition by mathematical models "structure-properties" and by establishing three argumentative characteristics. These include: the volume concentration of cement paste in concrete, the affective water-cement ratio at the end of the formation period of the structure and the hydration degree of cement.

**Keywords:** cement paste, mortar and concrete mixture, structural and technological characteristics, period of structure formation, structure, properties.

#### **Samchenko S.V., Abramov M.A., Egorov E.S. Features of cement paste hydration and hardening processes with the addition of hydrated cement**

*Samchenko S.V., Egorov E.S.* NRU MGSU Moscow state University of civil engineering, Moscow, Russia

*Abramov M.A.* Yaroslavl State Technical University, Russia

The article is about application calorimetry method for influence investigation of the additive of pre-hydrated cement slurry (PHC) on cement hydration. Pre-hydration of the cement lasted 2, 4, 6 hours with forced mixing at W/C equal to 0.7. The results of heat measurement were obtained by using a simple calorimeter. The test was carried out for 28 hours. It is shown that the addition of PHC2-10%, PHC4-10% and PHC6-10% leads to an offset the peak of heat generation by 1.5, 2.4, 2.5 hours earlier. It is concluded that this additive leads to intensification of heat generation and, consequently, affects the hydration of cement, as well as the properties of cement paste and stone. The obtained conclusions about the acceleration of hydration, setting time and hardening cement paste are correlated with earlier tests of strength and setting time.

**Keywords:** addition in concrete, heat of hydration, kinetic of hardening, setting time, calorimeter.

#### **Gusev B.V., Krivoborodov Yu.R., Potapova V.A. Possibility of secondary application concrete breaker**

*Gusev B.V.* President of the International and Russian Engineering Academies, Doctor of Technical Sciences, Professor, member of the Russian Academy of Sciences.

*Krivoborodov Yu.R.* Dmitry Mendeleev University of Chemical Technology of Russia

The authors raised the issue of the secondary use of concrete scrap and substandard reinforced concrete products. Analysis of the experience of using concrete scrap in the practice of building materials science showed that the use of these wastes in production has not been fully explored in the field of technology for building materials and products. In this article, a physicochemical study of the properties of concrete scrap is carried out.

**Keywords:** secondary concrete, concrete breaker, differential - thermal analysis, physicochemical analysis, substandard construction products, compressive and bending strength, construction, concrete, cement paste.

ТЕХНИКА И ТЕХНОЛОГИЯ СИЛИКАТОВ

Международный журнал  
по вяжущим, керамике, стеклу и эмалям  
Том 27, № 1

Издатель РХТУ им. Д. И. Менделеева

Редактор и корректор Т. В. Кузнецова  
Верстка Н. Н. Морозова

---

Подп. к печ. 25.03.2020. Печ. л. 4,0. Усл. печ. л. 4,1. Формат 60x90/8  
Печать офсетная. Заказ 15. Тираж 100 экз.  
Отпечатано в типографии РХТУ им. Д. И. Менделеева  
125047, Москва, Миусская пл., 9

---