

Санкт-Петербургский национальный морской университет  
Московский государственный университет путей сообщения (МИИТ)  
Украинская государственная академия железнодорожного транспорта  
Научно-исследовательский проектно-конструкторский институт морского флота  
Институт кораблестроения и предпринимательства  
Ивановский государственный медицинский университет  
Европейская медицинская академия последипломного образования  
Большой Государственный Университет «Алеку Руссо»  
Институт водных проблем и мелиорации Национальной академии аграрных наук

Входит в международную наукометрическую базу  
РИИЦ SCIENCE INDEX

Международное периодическое научное издание  
International periodic scientific journal

**SW** Научные труды  
*Scientific papers*  
**o r l d**

Выпуск №1 (42), 2016  
Issue №1 (42), 2016

Том 11  
*Искусствоведение, архитектура и строительство*  
*Сельское хозяйство*

Иваново  
*«Научный мир»*  
2016





ніж споживає, завдяки спеціальному обладнанню: сонячним батареям, колекторам, тепловим насосам, ґрунтовим теплообмінникам тощо.

Значну частину зведених енергоефективних будинків (нині більше за 10 000) створено в європейських країнах (Данія, Фінляндія, Німеччина та ін.), де прийнято цільові державні програми по приведенню об'єктів регулярної забудови до умовно-пасивного рівня (будинку ультранизького споживання – до 30 кВт·год/м<sup>3</sup> на рік). Також нові підприємства і житлові будинки зобов'язують обладнувати енергоефективними засобами для часткового самостійного забезпечення себе необхідними ресурсами (в Іспанії – 30-70% потреб в гарячій воді, в Ірландії – споживати на 85% менше енергії і викидати в атмосферу на 94% менше CO<sub>2</sub>, ніж звичайний будинок, у Великій Британії – споживати на 77% менше енергії і отримати рейтинг ефективності у спеціальної організації, з точки зору споживання енергії та викидів вуглецевого газу і т.д.). З 2009 р., згідно прийнятої країнами Євроспівки Директиви енергетичних показників у будівництві (Energy Performance of Buildings Directive, чинної від 4.01.2003), до 2020 р. всі нові будинки повинні наближатись до енергетичної нейтральності.

**Висновки.** Для підвищення енергоефективності будівель важливо підвищувати ефективність як засобів і обладнання, так і раціоналізувати споживання. Також доцільно не лише планувати економне енергопостачання, але вдосконалювати і впроваджувати нові, більш ефективні джерела теплової енергії або раціонально застосовувати природні, що призводить до значного зменшення потреб у тепловій енергії. Проте разом із застосуванням новітніх технологій задля забезпечення екологічної безпеки, необхідні постійні подальші дослідження у зв'язку з неідеальністю та шкідливим впливом навіть «зелених» джерел енергії.

#### Література:

1 ДБН В.2.6-31.2006 Теплова ізоляція будівель. Київ: Мінрегіонбуд України, 2006. – 73 с.

2 Мукумов Р. Энергосервис по-европейски и по-русски [Електронний ресурс] / Ремир Мукумов. 29.04.13 URL: <http://energyland.info> (18.12.2016)

3 Design avoiding thermal bridges – preferable not only for Passive Houses [Електронний ресурс] // 20th International Passive House Conference 22-23 April 2016 in Darmstadt, Germany URL: <http://www.passivhaustagung.de> (22.12.2016)

Рецензент: к.т.н., професор П. М. Коваль

Стаття відправлена: 22.02.2016 г.

© Юрковська Н.Р.

ЦИТ: 116-181

УДК 666.965(063):519.2

### Шинкевич Е.С., Доценко Ю.В., Сидорова Н.В. ОПТИМИЗАЦИЯ СОСТАВОВ И СВОЙСТВ КОМПЛЕКСНО-АКТИВИРОВАННЫХ СИЛИКАТНЫХ КОМПОЗИТОВ ТЕПЛОВЛАЖНОСТНОГО ТВЕРДЕНИЯ

Одесская государственная академия строительства и архитектуры, Одесса,  
ул. Дидрихсона, 4, 65029



### E. Shinkevich, J. Dotcenko, N. Sydorova OPTIMIZATION OF THE COMPOSITIONS AND PROPERTIES OF COMPLEX-ACTIVATED SILICATE COMPOSITES HEAT-TO-HUMIDITY HARDENING

Odessa State Academy of Building and Architecture  
Odessa, Didrikhsona st, 4, 65029

**Аннотация.** В настоящей работе проведен анализ различных видов активаций и оценен их вклад в комплексную активацию, которая положена в основу низкоэнергетического производства прогрессивных экологически чистых силикатных композитов тепловлажностного твердения по литьевой технологии. В статье описан комплекс технологических приемов для получения эффективных и условно-эффективных силикатных композитов на основе комплексно-активированной известково-кремнеземистой смеси, модифицированной минеральными и неорганическими добавками.

**Ключевые слова:** энергосбережение, экологически чистые материалы, активация, силикаты, композиты, тепловлажностное твердение, оптимизация, добавки-модификаторы, моделирование.

**Abstract.** In the present work the analysis of different kinds of activations and assessing their contribution to the complex activation. Complex activation is based low intensity production progressive environmentally friendly silicate composites heat-to-humidity hardening by casting technology. This article describes the technological devices to obtain effective and conditionally-effective silicate composites heat-to-humidity hardening on the basis of a complex of activated lime-silica mixtures, a modified mineral and inorganic additives.

**Key words:** energy saving, environmentally friendly materials, activation, silicates, composites, heat-to-humidity hardening, optimization, additives, modeling.

#### Вступление.

Отличительная особенность современного строительства — его высокая энергоёмкость. Энергосбережение сегодня рассматривается как одна из важнейших экономических проблем, так как энергетические затраты составляют большую часть себестоимости любого вида продукции. В работе проведен анализ и дана оценка различных видов активаций в комплексную активацию, которая положена в основу производства прогрессивных силикатных композитов тепловлажностного твердения по литьевой технологии.

Сегодня современные композиты отличаются разнообразием исходной базы материалов, соответственно возникает сложность подбора состава для получения необходимого заданного уровня свойств. Для технологов важна задача получения оптимальных составов, обеспечивающих заданный уровень свойств и отвечающих дополнительным требованиям, которые определяют не только качество, но и долговечность, экологичность, обеспечивают снижение энерго- и материалоемкости производства.

**Обзор литературы.** Начало промышленному производству автоклавных силикатных бетонов положил патент Михаэлиса 1880г. С начала XX века этот материал широко применяется в качестве стенового, однако он имеет ряд





недостатков. В производство внедрены были, в основном, технологии, основанные на прессовании. Отсюда – высокая плотность и теплопроводность, низкая водостойкость. Некоторые недостатки были исправлены развитием производства газо- и пеносиликатов автоклавного твердения. Часто на украинском рынке приходится пользоваться услугами иностранных фирм, которые в данных изделиях утилизируют полимерсодержащие и техногенные материалы других производств, тем самым они уже не соответствуют термину «экологичные».

Традиционно получение силикатных материалов осуществляется в автоклавах при повышенной температуре и давлении, что необходимо для повышения растворимости кремнеземистого компонента. Следующий этап в технологии силикатных материалов начался с использования и внедрения в практику разных видов активаций и различных способов их реализации: термическая и ее разновидности [1]; химическая – за счет добавок различного вида и назначения [2]; щелочная и щелочеземельная – за счет введения компонентов и добавок, которые повышают щелочность среды [3,4]; механическая и механохимическая (МХ) обработка – специальные способы помола и обработки сырьевых компонентов и другие виды активаций [5, 6].

В ОГАСА была разработана литьевая технология производства комплексно-активированных силикатных плотных и поризованных композитов тепловлажностного твердения (ТВТ) при  $T=85^{\circ}\text{C}$  [7]. По сравнению с технологией прессования литьевая технология имеет ряд преимуществ, включая пониженную энерго- и материалоемкость.

**Входные данные и методы.** Комплексная активация представляет собой последовательный цикл различных видов активаций компонентов вяжущего и смеси и включает механическую, механохимическую, химическую, щелочеземельную, щелочную, сульфатную и термоактивации.

Для решения поставленных задач были реализованы 12 экспериментов, серии которых дублировались по соответствующим одинаковым планам. В первой серии два дублируемых эксперимента отличались видом кремнеземистого компонента (песок и трепел). Во второй серии – видом МХ обработки смеси (помол и помол с активацией в смесителе-активаторе). В третьей серии четыре дублируемых эксперимента отличаются видом (первые два эксперимента) и содержанием извести (вторые два). В четвертой серии четыре дублируемых эксперимента отличаются видом щелочесодержащих добавок и сравниваются с бездобавочными составами.

В качестве основных контролируемых показателей использованы активность ( $A$ , мг/г) и водородный показатель pH смесей. Для анализа этих показателей и систематизации полученных по экспериментально-статистическим (ЭС) моделям результатов разработана информационно-аналитическая схема. В рамках анализа предусмотрено также проведение по ЭС моделям вычислительных экспериментов для определения значений относительных показателей  $A$  и pH. Всего рассмотрено 48 абсолютных показателей и 34 относительных показателя смеси. Основные сведения представлены в таблице 1.



### Результаты. Обсуждение и анализ.

Для определения вклада химической активации за счет замены песка трепелом было проведено 2 аналогичных эксперимента на известково-кремнеземистом и известково-трепельном вяжущем с различной  $S_{уд}$  кремнеземистого компонента по 24-точечному 6-факторному плану. В качестве трех независимых факторов в экспериментах варьировались содержание добавок щелочи –  $C_{щ}=(0,5\div 1)\%$ , жидкого стекла  $C_{ж.ст.}=(1\div 5)\%$  и гипса  $C_{г.}=(2\div 4)\%$ . В качестве трех зависимых смесевых факторов фиксировалась площадь удельной поверхности  $S_{уд}$  отдельно трепела и отдельно песка на одних и тех же уровнях: 400, 500 и 600 м<sup>2</sup>/кг. На первом этапе эти системы не подвергались МХ обработке.

По результатам двух экспериментов были рассчитаны ЭС модели [8] и построены диаграммы, которые описывают изменение абсолютных активностей смесей на песке (рис. 1а), трепеле (рис. 1б) и изменение относительной активности смеси за счет замены песка трепелом с различной удельной поверхностью (рис. 1в). В зависимости от вида кремнеземистого компонента, активность смесей изменяется в широких диапазонах, в частности, на трепеле – от 96 до 152 мг/г – в 1,6 раза, на песке – от 48 до 60 мг/г – в 1,25 раза. В результате, за счет полной замены песка трепелом, активность смеси может быть увеличена до 3-х раз (рис. 1в). Помол трепела до заданной удельной поверхности (отдельно от песка и извести) позволяет дополнительно регулировать активность смесей (треугольные диаграммы на рис 1 б) в интервале от 20 до 30%.

Таблица 1.

### Оценка влияния отдельных видов активаций на активность и pH смесей

Расшифровка условных обозначений	Условные обозначения	$S_{уд}$ , м <sup>2</sup> /кг трепела (песка)/pH(рН)		
		400	500	600
<b>Химическая активация</b>				
1 Активность трепела молотого - $A_{тр}$	$A_{тр}$	152	146/5,64	152
2 Активность песка немолотого - $A_{пнм}$	$A_{пнм}$		38/5,21	
3 Активность песка молотого - $A_{п}$	$A_{п}$	51	53/5,21	58
4 Относительное изменение $A$ за счет замены песка трепелом – $\delta A^{тр/п} = A_{тр}/A_{п}$	$\delta A^{тр/п}$	3,0	2,8/(1,1)	2,6
<b>Механохимическая активация трепела</b>				
1 $A_{тр}$ после МХ обработки - $A_{тр}^{мхо}$	$A_{тр}^{мхо}$	192	186/5,64	191
2 Относительное изменение $A_{тр}$ за счет МХ обработки - $\delta A_{тр}^{мха} = A_{тр}^{мхо}/A_{тр}$	$\delta A_{тр}^{мхо}$	1,34	1,3/(1)	1,25
<b>Механохимическая активация песка</b>				
1 $A_{п}$ после МХ обработки - $A_{п}^{мхо}$	$A_{п}^{мхо}$	68	72/5,26	70
2 $A_{пнм}$ после МХ обработки - $A_{пнм}^{мхо}$	$A_{пнм}^{мхо}$		44/5,26	
3 Относительное изменение $A_{п}$ за счет МХ обработки - $\delta A_{п}^{мхо} = A_{п}^{мхо}/A_{п}$	$\delta A_{п}^{мхо}$	1,51	1,63/(1,03)	1,42
4 Относительное изменение $A_{пнм}$ за счет МХ обработки - $\delta A_{пнм}^{мхо} = A_{пнм}^{мхо}/A_{пнм}$	$\delta A_{пнм}^{мхо}$		1,16/(1,03)	
<b>Щелочеземельная активация</b>				
1 Активность вяжущего (И=20%) - $A_{в}$	$A_{в}$	145,9	134,8/9,8	140,9
2 Активность вяжущего (И=10%) - $A_{в(И=10\%)}$	$A_{в(И=10\%)}$	132,8	130,7/9,5	132



3	Относительное изменение $A_B$ за счет изменения содержания извести - $\delta A_{изв}^{шз} = A_{B(I=10\%)} / A_B$	$\delta A_{изв}^{шз}$	1,1	1,04/(1,05)	1,07
4	$A_B$ на негашеной извести (И= 20%) - $A_B$	$A_B$	145,9	134,8/9,8	140,9
5	$A_B$ на гашеной извести (И= 20%) - $A_{B(г.и)}$	$A_{B(г.и)}$	123,6	121,9/9,1	121,2
6	Относительное изменения $A_B$ за счет замены вида извести - $\delta A_{изв}^{шз} = A_B / A_{B(г.и)}$ (И=20%)	$\delta A_{изв}^{шз}$	1,18	1,11/(1,1)	1,16
<b>Щелочная активация*</b>					
1	$A_B$ с добавкой жидкого стекла - $A_{B+ж.ст.}$	$A_{B+ж.ст.}$	170,4	169,5/10,6	169,6
2	Относительное изменение $A_B$ за счет введения добавки ж.ст. - $\delta A_{ж.ст.}^{щел} = A_{B+ж.ст.} / A_B$	$\delta A_{ж.ст.}^{щел}$	1,18	1,26/(1,3)	1,21
3	$A_B$ с добавкой щелочи - $A_{B+NaOH}$	$A_{B+NaOH}$	179,3	179,4/10,9	178,7
4	Относительное изменение $A_B$ за счет введения добавки щелочи - $\delta A_{NaOH}^{щел} = A_{B+NaOH} / A_B$	$\delta A_{NaOH}^{щел}$	1,25	1,33/(1,32)	1,27
5	$A_B$ с добавками жидкого стекла и щелочи - $A_{B+ж.ст.+NaOH}$	$A_{B+ж.ст.+NaOH}$	182	176,5/12,1	177,5
6	Относительное изменение $A_B$ за счет совместного введения щелочесодержащих добавок - $\delta A_{щел}^{щел} = A_{B+ж.ст.+NaOH} / A_B$	$\delta A_{щел}^{щел}$	1,26	1,33/(1,36)	1,25

\* в таблице представлены максимальные значения  $A$ , pH

Из изложенного следует, что химическая активация в виде замены песка трепелом является эффективным способом повышения активности смесей и, как технологический прием, способствует снижению энергоемкости производства, так как энергозатраты на помол трепела в 8-10 раз меньше, чем кварцевого песка.

На следующем этапе определено влияние МХ обработки на эти же известково-кремнеземистые и известково-трепельные смеси. Влияние МХ обработки оценивалось как отношение значений активностей и водородных показателей механоактивированных смесей к необработанным.

По аналогии с предыдущим этапом, по результатам экспериментов были рассчитаны ЭС модели. Анализ ЭС моделей показал, что активность МХ обработанных известково-трепельных смесей изменялась от 152 до 192 мг/г, а МХ обработанных известково-кремнеземистых – от 51 до 68 мг/г. За счет полной замены песка трепелом в МХ обработанных смесях их активность максимально увеличивается до 2,1 раза, а в неактивированных, как было показано ранее, – до 3,0 раз. Интервал изменения ( $\Delta A = A_{max} - A_{min}$ ) активностей систем на трепеле после МХ обработки сокращается, а на песке – увеличивается, т.е. МХ обработка изменяет состояние смеси таким образом, что интервал изменения активности на трепеле меньше в 1,8 раза, чем на песке. Абсолютное значение максимальной активности МХ обработанных смесей, по сравнению с необработанными, также увеличивается меньше на трепеле чем на песке: на трепеле – до 34% и на песке - до 63%. Из изложенного следует, что замена песка трепелом эффективнее для необработанных смесей. Но реализовать замену песка трепелом возможно только в условиях МХ обработки за счет снижения вязкости смеси, поэтому МХ обработка - это важный технологический прием, который, в первую очередь, обеспечивает без

повышения водотвердого отношения возможность введения трепела.

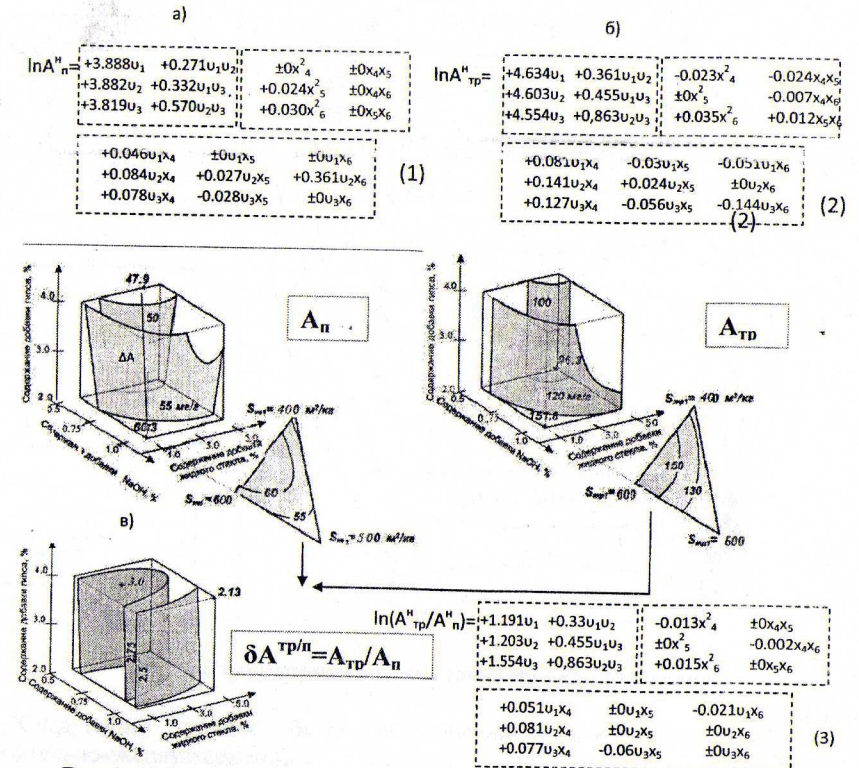


Рис.1. Изменение абсолютных значений активностей необработанных в смесителе-активаторе смесей с заданной  $S_{уд} = 400, 500$  и  $600$  м<sup>2</sup>/кг кремнеземсодержащих компонентов: а) на песке, б) на трепеле, в) изменение относительной активности смесей за счет замены песка трепелом.

В работе для повышения щелочности среды использован важный технологический прием - замена гашеной извести на негашеную. Сравнительный анализ активностей смесей на гашеной и негашеной извести показал, что активность вяжущего на негашеной извести в сравнении с гашеной на 11-18% больше. Увеличение содержания извести в два раза повышает активность только до 10%, а замена вида извести и увеличении ее содержания активность увеличивается на 18%, что не может являться причиной повышения прочности до 15 раз, следовательно, можно предположить, что повышение прочности, в первую очередь, связано с экзозэффектом негашеной извести.





Применение негашеной извести взамен гашеной и увеличение ее содержания в 2 раза приводит к повышению pH с 9,1 до 9,8, но еще не достигает рекомендуемого уровня значений. Для повышения pH смеси были введены добавки щелочесодержащего жидкого стекла и щелочи. Анализ их влияния на активность рекомендованного к внедрению вяжущего, состоящего из извести, песка и трепела в заданном соотношении, показал, что если активность вяжущего составляет 146 мг/г, то введение добавки жидкого стекла способствует увеличению активности до 170 мг/г, т.е. на 26%, добавки щелочи - до 180 мг/г, т.е. на 33%, а за счет совместного введения этих добавок - на 33%. Однако именно совместное использование этих двух добавок обеспечивает требуемое значение водородного показателя  $\text{pH} \geq 12$ . Увеличение  $S_{\text{уд}}$  трепела также способствует увеличению pH, но не более чем на 5%, и это следует учитывать при подборе оптимального количества щелочесодержащих добавок. Значения pH смесей на  $S_{\text{уд}} = 500 \text{ м}^2/\text{кг}$  для каждого вида активаций приведены в таблице 1.

Применение негашеной извести взамен гашеной, увеличение ее содержания в вяжущем, с учетом существенного влияния экзотермического эффекта на прочность, введение щелочных добавок в повышенных по сравнению с необработанными смесями количествах и проведение совместной активации вяжущего с мелкозернистым (МЗ) заполнителем может быть обеспечено только в условиях МХ активации. Поэтому МХ обработка - это важный технологический прием, который, кроме возможности введения трепела взамен части песка, обеспечивает возможность применения негашеной извести и щелочесодержащих добавок в повышенных количествах.

Можно заключить, что при изготовлении силикатных изделий рационально корректировать состав смеси по pH применением щелочесодержащих и щелочных добавок как по литьевой технологии, так и по традиционной технологии прессования с обработкой смесей в скоростных смесительных агрегатах.

Таким образом, разные виды и способы активации вносят различный вклад в комплексную, сопровождаются своими важными, положительными технологическими эффектами, которые взаимообуславливают возможность проведения комплексной активации. Причем, вклад отдельных видов активации должен оцениваться не только величиной активности и pH дисперсных систем, а порой, в первую очередь, сопутствующими технологическими эффектами, которые сопровождают данный вид активации и обеспечивают возможность реализации последующих видов активации.

Анализ влияния технологических процессов и сопутствующих им эффектов и оценка их роли в общем процессе активации показал, что все явления и процессы взаимообусловлены и связаны и представляют собой комплекс (рис.2).

Таким образом, регулируя вклад разных видов активаций всеми исследуемыми факторами в комплексную, с учетом сопутствующим им технологических эффектов, можно целенаправленно управлять свойствами силикатобетонных смесей и композитов на их основе.

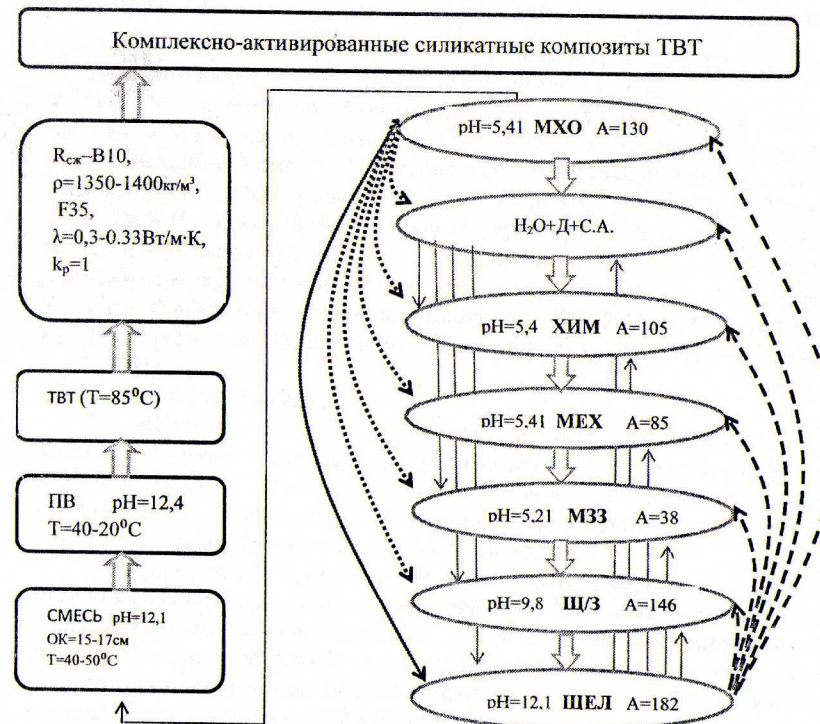


Рис.2. Структурная модель комплексной активации

Следующим этапом было исследование физико-механических и строительно-эксплуатационных свойств полученных комплексно-активированных композитов [9,10]. В результате анализа ЭС моделей, которые описывают изменения физико-механических и строительно-эксплуатационных свойств композитов, рассчитанных по описанному выше плану, установлено, что: прочность при сжатии  $R_{сж}$  под влиянием исследуемых факторов изменяется от 138 до 181 кгс/см<sup>2</sup>. Водостойкость характеризовалась коэффициентом размягчения:  $k_p \geq 0,9$  ( $k_p^{\text{max}} = 1$ ). Морозостойкость  $F \geq 35$  циклов. Плотность  $\rho = 1350 \pm 1500 \text{ кг/м}^3$ . Теплопроводность  $\lambda = 0,3 \pm 0,4 \text{ Вт/м·К}$ . Влажность  $W_{\text{сорб}} \leq 15\%$ . Трещиностойкость характеризовалась критическим коэффициентом интенсивности напряжений  $k_{Ic}$ ,  $k_{Ic} = 0,91 \pm 1,64 \text{ МПа·м}^{-0,5}$ . Усадка  $\varepsilon < 0,3 \text{ мм}$ . Степень карбонизации изменяется незначительно - на 10%. Пористость общая  $P_{\text{общ}} = 38 \pm 44\%$ , а  $P_{\text{отк}} = 19 \pm 26\%$ . Величина pH изменяется от 11,5 до 12,1.

В настоящем исследовании проведена многокритериальная оптимизация составов комплексно-активированных силикатных композитов тепловлажностного твердения для эффективных стеновых изделий.

Многокритериальная оптимизационная задача (табл. 2) заключается в





следующем: получить эффективные и условно-эффективные стеновые материалы и изделия нормированных марок по плотности, прочности, морозостойкости с учетом параметров состояния, структуры и стойкости. Рассмотрены 3 задачи, которые обеспечивают получение условно-эффективных стеновых блоков класса В15 и эффективных стеновых блоков класса В10 с  $k_p=1$  ( $\lambda \geq 0,34 \text{ Вт/м} \cdot \text{°C}$ ) и с  $\lambda \leq 0,33 \text{ Вт/м} \cdot \text{K}$  ( $k_p < 1$ ) с улучшенными показателями усадки, трещино-, карбонизационной стойкости и др.

Таблица 2  
Многокритериальная оптимизация свойств по условиям получения эффективных стеновых изделий

Алгоритм и основные этапы многокритериальной оптимизации						
	Критерии качества		Обоснование	Условия оптимизации		
				$R_{сж}^{\max}$	$\lambda^{\min}$	$k_p^{\max}$
1-ый этап	Основные критерии	$R_{сж}$ , МПа	Нормативные документы ДСТУ Б В.2.7-36:2008	B15	B7,5	B10
		$F$ , цикл		F35	$F \geq 50$	$F \geq 50$
		$\rho$ , кг/м <sup>3</sup>		1500	1350	1350
		$\lambda$ , Вт/м·К		0,38	0,32	0,34
2-ой этап	Дополнительные критерии	$\epsilon$ , мм/м	Нормативные документы ДСТУ Б	0,3	0,3	0,2
		$W_{сорб}$ , %		12	12	12
		$W_{отт}$ , %		18	18	18
		Сроки схватывания		ДСТУ Б В.2.7-24-95 Начало - не ранее 30 мин Конец - не позднее 12 часов		
3-ий этап	Вспомогательные критерии	$k_{ic}$ , МПа·м <sup>-0,5</sup>	Научно-исследовательские изыскания	1,6	1,5	1,5
		$k_p$		0,95	0,98	1
		$K_{см}$		42	40	40
		$P_{отк}$ , %		24	20	20
		$P_{общ}$ , %		38	42	42
		$A$ , мг/г		175	182	182
		$pH$		11,5 ≤ pH ≤ 12,5		

Для решения многокритериальной задачи предложен следующий алгоритм поэтапной оптимизации. Первый этап – это выделение комплекса основных критериев качества на основе действующей нормативно-технической документации. В настоящем исследовании анализировались следующие показатели качества:  $R_{сж}$ ,  $F$ ,  $\lambda$ ,  $\rho$ . Второй этап – это дополнительные критерии качества на основе действующей нормативно-технической документации. Анализировались:  $\epsilon$ ,  $W_{сорб}$  и  $W_{отт}$ , сроки схватывания. На третьем этапе было проведено обоснование вспомогательных критериев качества и направлений их оптимизации, которые определяются научными исследованиями. Данный этап обеспечивает улучшения качества изделий за счет учета не входящих в действующие стандарты показателей при сравнении конкурирующих вариантов решений. В качестве дополнительной информации на третьем этапе анализировались параметры, определяющие деформационные свойства



силикатных композитов ТВТ, а также параметры структуры и состояния силикатобетонной смеси на стадии приготовления смеси.

На основании проведенных исследований разработаны оптимальные составы, которые обеспечивают получение стеновых изделий с улучшенными физико-механическими и строительно-эксплуатационными свойствами. Эффективные полнотелые блоки:  $R_{сж}$ –В10,  $\rho=1350\text{--}1400 \text{ кг/м}^3$ , F50,  $\lambda=0,33 \text{ Вт/м} \cdot \text{K}$ ,  $k_p=1$ ; дополнительные критерии качества:  $k_{ic}=1,5 \text{ МПа} \cdot \text{м}^{-0,5}$ ,  $W=12\%$ ,  $\epsilon=0,3 \text{ мм/м}$ ,  $pH \approx 12$  и пустотелые блоки:  $R_{сж}$ –В7,5,  $\rho=1250 \text{ кг/м}^3$ , F50,  $\lambda \leq 0,32 \text{ Вт/м} \cdot \text{K}$ ,  $k_p=0,95$ ; дополнительные критерии:  $W=12\%$ ,  $\epsilon=0,2 \text{ мм/м}$ ,  $pH \approx 12$ . Условно-эффективные полнотелые блоки:  $R_{сж}$ –В12.5-15,  $\rho=1450\text{--}1550 \text{ кг/м}^3$ , F35,  $\lambda=0,38 \text{ Вт/м} \cdot \text{K}$ ,  $k_p=0,95$ , дополнительные критерии:  $W=13\%$ ,  $\epsilon=0,3 \text{ мм/м}$ ,  $pH \approx 12$ ,  $k_{ic}=1,3 \text{ МПа} \cdot \text{м}^{-0,5}$ .

#### Заключение и выводы

1. Получены новые, прогрессивные, экологически чистые, низкоэнергоемкие силикатные композиты с улучшенными физико-механическими и строительно-эксплуатационными свойствами на основе предложенной комплексной активации мелкозернистой силикатобетонной высокоподвижной смеси по литьевой технологии.

2. Теоретически обоснована и экспериментально подтверждена целесообразность применения предложенных видов активаций, дана оценка количественного вклада отдельных видов активаций и сопутствующих им технологических эффектов в комплексную для получения силикатных композитов пониженной энергоемкости. Показано, что предложенные виды активаций представляют собой комплекс.

3. На основании проведенных исследований разработана технология и рекомендованы составы для получения эффективных и условно-эффективных стеновых блоков пониженной энергоемкости с улучшенными физико-механическими и строительно-эксплуатационными свойствами.

#### Литература:

1. Казаков Е.Г. Высокотемпературная тепловая обработка силикатных бетонов в закрытом формовочном оборудовании. – М.: Стройиздат, 1973. – 167с.
2. Будников П.П. и др. К теории интенсификации производства силикатных стройматериалов с помощью добавок кристаллогидратов // Доклады АН СССР, 1952. – т. 84. – С.1021-1024.
3. Глуховский В.Д., Рунова Р.Ф., Максунев С.Е. Вяжущие и композиционные материалы контактного твердения. – Киев, 1991. – 242с.
4. Кривенко П.В., Пушкарьова К.К. Довговічність шлаколужного бетону. – К.: Будівельник, 1993. – 224с.
5. Крот О.Ю. Научные основы создания оборудования на базе валковых механических активаторов для производства кирпича // Вестник Харьковского НАДУ. – Харьков, 2012. – №57. – С.154-160
6. Чернышов Е.М. Управление процессами структурообразования и качеством силикатных автоклавных материалов // Автореферат дис... д.т.н. 05.23.05. – Ленинград, 1988. – 45с.