

д.т.н., профессор Шинкевич Е.С.,

к.т.н., доцент Луцкин Е.С., к.т.н. Койчев А.А.

Одесская государственная академия строительства и архитектуры

к.т.н., доцент Мироненко И.Н.

Одесский национальный морской университет

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНО-СТАТИСТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ ЩЕЛОЧНОЙ АКТИВАЦИИ НА СВОЙСТВА СИЛИКАТНЫХ КОМПОЗИТОВ

Введение. Сохранение экосистемы Земли – одна из основных задач человечества. Стратегия развития многих стран сегодня немислима без экологически ориентированных технологий или так называемых "зеленых" технологий. Их целью является борьба с вредными выбросами, ресурсосбережение, управление отходами, повышение энергоэффективности производства и др. Приоритетным направлением развития промышленности строительных материалов Украины также является ресурсо- и энергосбережение. По совокупности качественных и стоимостных характеристик строительной продукции напрямую зависит конкурентоспособность предприятий строительной отрасли. Разработка и внедрение новых ресурсосберегающих технологий является одним из перспективных вариантов решения всегда актуального вопроса конкурентоспособности предприятий. Стоимость строительных материалов зависит от того, с какого сырья они изготавливаются, на сколько энергозатратной является технология их производства и на каком расстоянии от производства материалов находится сырьевая база. Существенно снизить стоимость строительных материалов и строительство в целом позволит изготовление строительных материалов на месте их применения из местного сырья и с использованием неавтоклавных [1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9] и безобжиговых [10, 11] технологий. Таким образом, для того что бы сохранить экосистему самой Земли, как планеты, необходима оптимизация в самом широком смысле ее понимания – это оптимизация системы "человек – эко- и энергосберегающие технологии – композиционные материалы – среда обитания". Именно такой подход, на наш взгляд, будет способствовать сохранению энергетических и материальных ресурсов планеты в целом.

В этих условиях перед технологами и производителями стоят задачи, охватывающие как экономические, так и эколого-технологические аспекты производства строительных материалов [12]. Одна из многочисленных задач, которая сегодня стоит перед технологами – это разработка облегченных технологий в плане нагрузки на экосреду, энергосистему и экономику.

Поэтому, производство эффективных стеновых изделий и материалов на безклинкерных вяжущих с использованием местного природного сырья в виде отходов камнепиления на основе эффективных ресурсосберегающих технологий является перспективным направлением строительной отрасли. К

одному из экологически чистых, качественных, комфортных и востребованных стеновых строительных материалов относятся изделия на основе известесодержащего вяжущего. В общем объеме производства стеновых материалов силикатные материалы занимают значительный объем.

В рамках основного направления развития силикатного производства сокращение расходов энергии, как на стадии производства, так и на стадии эксплуатации продукции, а также рост объемов выпуска и повышение ее качества, могут быть достигнуты путем разработки и внедрения современных прогрессивных технологических приемов.

В качестве **прогрессивных технологических приемов** следует отметить возможность использования различных видов активации [13], которые способствуют снижению затрат электроэнергии и позволяют управлять процессом структурообразования таким образом, чтобы обеспечить требуемые и прогнозируемые физико-механические свойства материалов, изделий и конструкций [14].

Силикатные композиты становятся сегодня особенно привлекательными для производителей и потребителей данного вида продукции, так как научные исследования последних десятилетий показали широкий спектр нереализованных потенциальных возможностей, реализация которых позволит снизить себестоимость их производства, сведя к минимуму вредное воздействие на экосистему.

Действующие заводы по производству силикатобетонных изделий располагают потенциальными возможностями для их технической модернизации при наладке современных технологических линий с минимальными капитальными вложениями и достаточно низкой себестоимостью продукции, которая удовлетворит интересы потребителей.

Простота и малогабаритность разработанной технологической линии позволит ее совмещать с существующими производственными мощностями на действующих силикатобетонных заводах. Создание на действующих заводах дополнительных малогабаритных новых высокотехнологических линий по выпуску широкой номенклатуры силикатных изделий тепловлажностного твердения, в том числе стеновых, и внедрение таких прогрессивных технологических линий позволит сократить расход удельного топлива на 42-45%, электроэнергии – на 50-60%, а также энергозатраты на отопление зданий из данных материалов на 40-50%.

Эти изделия отличаются пониженной плотностью при достаточно высокой прочности, высокими водо-, морозо- трещиностойкостью и теплоемкостью, благодаря которым создаются в жилых помещениях комфортные условия со стабильным температурным режимом в течении суток независимо от сезона.

В работе представлены разработки материалов нового поколения на основе комплексно активированной силикатной смеси, которые сочетают в себе комплекс свойств, которые обеспечивают комфорт и высокое качество жилых

помещений и производятся по литейной технологии с применением современных нанотехнологических приемов [1, 2, 3, 4, 5, 6, 15].

При разработке строительных композитов необходимо выявить факторы, управляющие процессами структурообразования на всех уровнях, включая нанокристаллический. Разрабатываемые на основе созданных композитов на силикатной матрице материалы должны отличаться следующими нестандартными свойствами:

- возможность к активной регенерации: самовосстановление и самозалечивание трещин, самоочистка поверхности, аккумуляция внешней энергии, естественное "дыхание" ограждающих конструкций и т.д.;

- многофункциональность конструктивных решений при наличии многообразия форм для формования изделий, деталей интерьеров, малых архитектурных форм на одной технологической линии;

- адаптация эксплуатационных свойств и структуры к различным климатическим зонам Украины, местным сырьевым материалам и минеральным отходам камнепиления, наличие которых отрицательно сказывается на состоянии экосистемы и человека.

Актуальность внедрения данных "облегченных" технологических линий заключается в том, что сегодня наблюдается повсеместный интерес экономически активной части населения к малоэтажным застройкам индивидуального типа. Технологические линии могут эксплуатироваться как сопутствующих основному производству силикатных изделий, так и как самостоятельные, малогабаритные, мобильные производства. Предлагаемый материал может производиться различной конфигурации и назначения: стеновой, отделочный, облицовочный, архитектурные детали и элементы садово-паркового дизайна, что немаловажно для актуальной сегодня комплексной коттеджной застройки больших территорий.

Постановка задачи. Одна из задач исследования заключается в выявлении общих закономерностей формирования структуры и свойств силикатных композитов неавтоклавно твердения с целью установления и использования на практике наиболее эффективных и экономически выгодных рецептурно-технологических факторов в производственном процессе.

Щелочная активация добавками, способствующими поризации. Щелочная активация будет способствовать образованию активных центров в виде дополнительных точечных дислокаций (вакансий и замещений) на зерне кварца и более длительному времени их существования в смесителе активаторе: время изменяется от $\tau=10^{-3}$ до $\tau=10^{-2}$ сек⁻¹. Косвенным доказательством возможности образования замещений в узлах кристаллических решеток может служить образование в шлакощелочных вяжущих сложных соединений вида Me·N [16, 17].

По плану 1 установлены оптимальные составы вяжущего и смеси, а также режимы активации и твердения [1, 2, 3, 4, 5] для получения поризованных композитов (табл. 1).

Таблица 1

Исследуемые факторы и уровни их варьирования

ПЛАН I			
№ п/п	Варьируемые факторы	Уровни варьирования факторов	
		кодиро- ванное	в натуральных величинах
1.	Удельная поверхность компонента вяжущего – трепела	v_1 v_2 v_3	$S_1=350 \text{ м}^2/\text{кг}$ $S_2=425 \text{ м}^2/\text{кг}$ $S_2=500 \text{ м}^2/\text{кг}$
2.	Длительность предварительного выдерживания (п.в.) в нормальных условиях	x_4	$\tau_{п.в.}=(0...12)\text{час}$
3.	Длительность тепловлажностной обработки (ТВО) при $T=85^{\circ}\text{C}$	x_5	$\tau_{ТВО}=(10..18)\text{час}$
4.	Содержание добавки гипса	x_6	$c_{г}=(0...5)\%$

Интерес к материалам с использованием жидкого стекла определяется экологической чистотой и биологической устойчивостью получаемых материалов. Совместное ведение добавок щелочи NaOH и жидкого стекла $\text{Na}_2\text{O} \cdot n\text{SiO}_2 + m\text{H}_2\text{O}$ в известково-кремнеземистую смесь способствует ее поризации и снижению плотности [6].

Анализ изменения структуры и свойств поризованных композитов проведен по экспериментально-статистическим (ЭС) моделям, рассчитанным по результатам шестифакторного натурального эксперимента, который поставлен по 24-точечному плану II (табл. 2) типа MTQ [18].

Таблица 2

Исследуемые факторы и уровни их варьирования

ПЛАН II			
№ п/п	Варьируемые факторы	Уровни варьирования факторов	
		кодиро- ванное	в натуральных величинах
1.	Удельная поверхность компонента вяжущего – трепела	v_1 v_2 v_3	$S_1=400 \text{ м}^2/\text{кг}$ $S_2=500 \text{ м}^2/\text{кг}$ $S_2=600 \text{ м}^2/\text{кг}$
2.	Содержание добавки NaOH	x_4	$c_{\text{NaOH}}=(0.5..1.0)\%$
3.	Содержание добавки жидкого стекла	x_5	$c_{\text{ж.ст.}}=(1.0...5.0)\%$
4.	Содержание добавки гипса	x_6	$c_{г}=(2...4)\%$

На основе установленного оптимального состава смеси изготовлены образцы, на которых определены основные характеристики структуры и свойства силикатной матрицы и поризованных композитов на ее основе: прочность при сжатии $R_{сж}$, плотность ρ , коэффициент теплопроводности λ , критический коэффициент интенсивности напряжений k_{Ic} , водостойкость k_p , морозостойкость F , пористости общая $\Pi_{общ}$, открытая $\Pi_{отк}$, закрытая $\Pi_{закр}$, относительный средний размер капилляров d_k и коэффициент распределения капилляров по размерам α_k .

Введение добавок щелочи и жидкого стекла способствует увеличению объема смеси в 1.2-1.4 раза. Плотность материала, содержащего добавки щелочи и жидкого стекла, составляет 1300-1450 кг/м³, что на 20-23% ниже плотности матричного материала без этих добавок. С другой стороны, плотность материалов без добавок на 28-30% ниже плотности автоклавного силикатного бетона. Прочность при сжатии изменяется от 120 до 185 кг/см², что всего на 5-10% ниже прочности матричного материала.

По ЭС моделям (1) и (2) установлено существенное влияние добавок щелочи и жидкого стекла на критический коэффициент интенсивности напряжений k_{Ic} и коэффициент теплопроводности λ соответственно.

$$\begin{aligned}
 k_{Ic} = & \begin{array}{l} \boxed{1.26v_1 - 0.453v_1v_2} \\ \boxed{+1.18v_2 + 0.376v_1v_3} \\ \boxed{+1.30v_3 + 0.624v_2v_3} \end{array} + \\
 & \begin{array}{l} \boxed{\pm 0 v_1x_4 \quad \pm 0 v_1x_5 \quad \pm 0 v_1x_6} \\ \boxed{+ \pm 0 v_2x_4 \quad -0.046v_2x_5 \quad -0.096v_2x_6} \\ \boxed{-0.087v_3x_4 \quad -0.032v_3x_5 + 0.050v_3x_6} \end{array} + \\
 & \begin{array}{l} \boxed{-0.127x_4^2 - 0.087x_4x_5} \\ \boxed{+ 0.108x_5^2 - 0.048x_4x_6} \\ \boxed{-0.040x_6^2 \quad \pm 0 x_5x_6} \end{array} \quad (1)
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \lambda = & \begin{array}{l} \boxed{0.46v_1 + 0.002v_1v_2} \\ \boxed{+ 0.44v_2 - 0.201v_1v_3} \\ \boxed{+ 0.46v_3 - 0.001v_2v_3} \end{array} + \\
 & \begin{array}{l} \boxed{+ 0.04v_1x_4 + 0.048v_1x_5 \quad \pm 0 v_1x_6} \\ \boxed{+ -0.04v_2x_4 + 0.018v_2x_5 + 0.027v_2x_6} \\ \boxed{+ \pm 0 v_3x_4 \quad + 0.011v_3x_5 \quad -0.013v_3x_6} \end{array} + \\
 & \begin{array}{l} \boxed{-0.024x_4^2 - 0.009x_4x_5} \\ \boxed{+ \pm 0 x_5^2 \quad \pm 0 x_4x_6} \\ \boxed{+ \pm 0 x_6^2 \quad + 0.018x_5x_6} \end{array} \quad (2)
 \end{aligned}$$

Так, при фиксированном значении добавки гипса 4% ($X_6=+1$) k_{Ic} – от 0.8 до 1.62 МПа·м^{-0.5}, а коэффициент λ изменяется от 0.24 до 0.51 Вт/м·К, т.е. более чем в 2 раза (рис. 1). Минимальное значения коэффициента теплопроводности получено на составах, содержащих 0.5% NaOH и 1% жидкого стекла, на смеси частиц трепела с удельной поверхностью $S_{уд1}=400$ и $S_{уд3}=600$ м²/кг в равном соотношении.

Полученные материалы характеризуются коэффициентом размягчения больше чем 0.9, то есть материал водостойкий. На коэффициент размягчения k_p влияние добавок иное: максимальное значение $k_p=1$ получено при содержании 0.75% NaOH и 5% жидкого стекла на удельной поверхности трепела $S_{уд1}=400$ м²/кг.

Следует отметить, что максимальные значения критического коэффициента интенсивности напряжений $k_{Ic}=1.64$ МПа·м^{-0.5} поризованных композитов равно значению k_{Ic} матричного материала, а минимальные значения

$k_{Ic}=0.91 \text{ МПа}\cdot\text{м}^{-0.5}$ поризованных композитов в два раза выше значений k_{Ic} матричного материала. При этом максимальные и минимальные значения k_{Ic} для поризованного композита и матричного материала получены на различной величине удельной поверхности трепела. Так, максимум k_{Ic} для поризованных композитов получен на $S_{уд3}=600 \text{ м}^2/\text{кг}$, а для матричного материала – на смеси $S_{уд1}=350$ и $S_{уд3}=500 \text{ м}^2/\text{кг}$ в равном соотношении, что может быть связано с плотностью упаковки частиц в объеме и в стесненных условиях поризации.

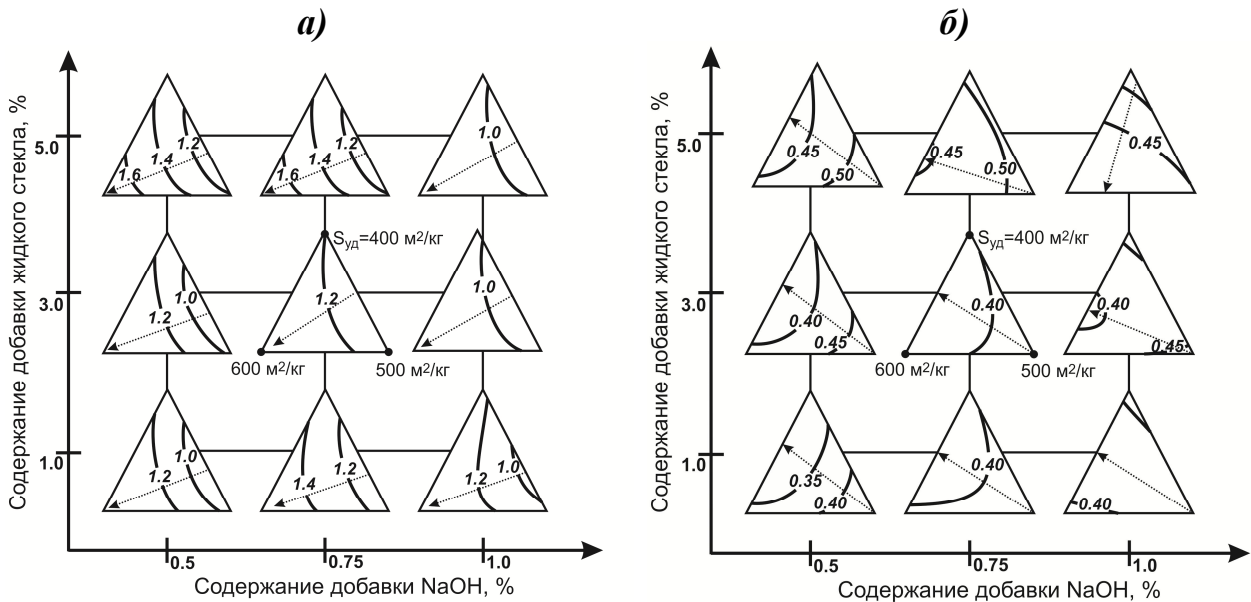


Рис. 1. Изменение k_{Ic} (а) и коэффициента теплопроводности λ (б) под влиянием добавок NaOH и жидкого стекла при фиксированном содержании добавки гипса 4%

Для анализа влияния характеристик структуры на свойства рассчитаны ЭС закономерности изменения пористости общей, открытой и закрытой, а также параметры капиллярной пористости, которые оценивались относительным средним размером капилляров и коэффициентом однородности распределения их по размерам.

Относительное влияние удельной поверхности трепела и его сравнение с влиянием других исследуемых факторов на изменение свойств и параметров структуры силикатной матрицы и поризованных композитов визуализировано в виде столбчатых диаграмм.

Показано, что на изменение свойств силикатной матрицы влияние удельной поверхности трепела **равнозначно** влиянию условий твердения (длительность предварительного выдерживания в н.у. и длительность ТВО) (рис.2). На изменение свойств поризованных композитов влияние удельной поверхности трепела **равнозначно** влиянию двух щелочесодержащих добавок (рис. 3). Следует отметить, что если влияние удельной поверхности трепела значительно превышает влияние условий твердения по отдельности для силикатной матрицы и влияние каждой из щелочесодержащих добавок в

отдельности для поризованных композитов, то взаимодействие удельной поверхности трепела с этими же факторами многократно усиливает их влияние на структуру и свойства силикатной матрицы и поризованных композитов.

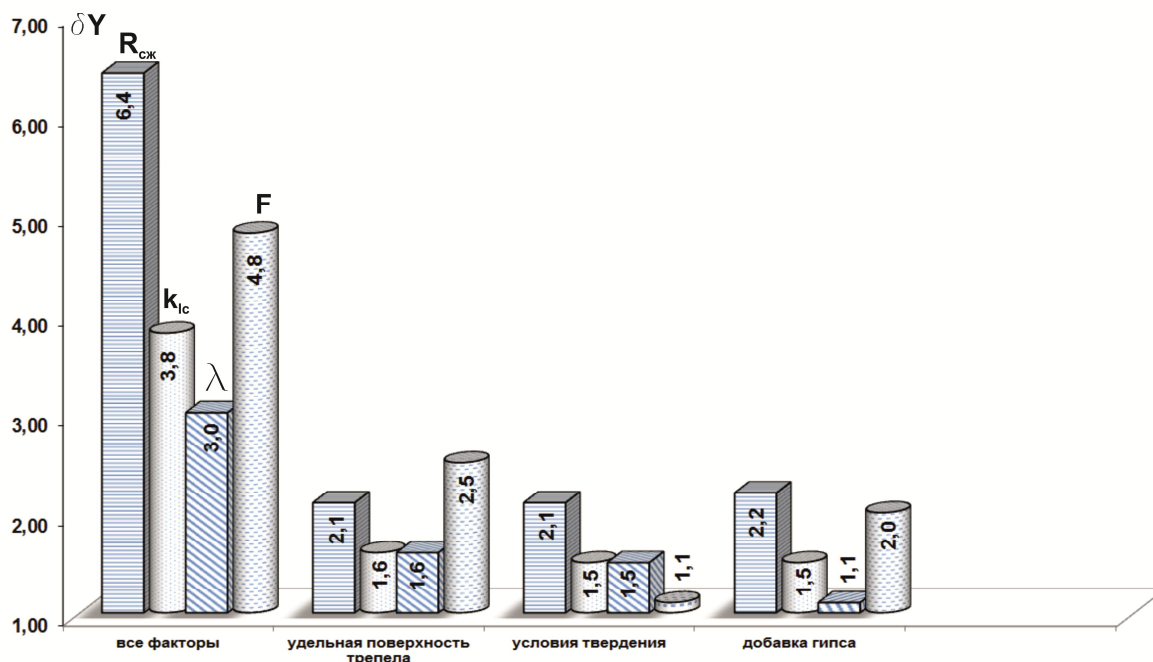


Рис. 2. Относительное влияние исследуемых факторов и их взаимодействий на изменение свойств силикатной матрицы.

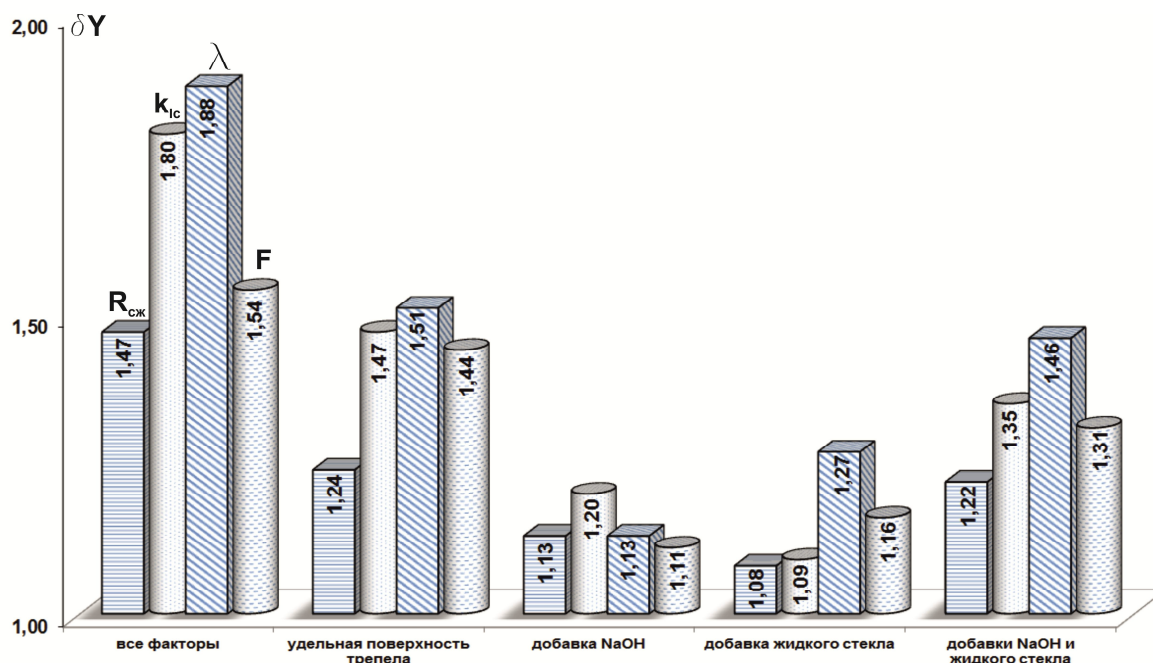


Рис. 3. Относительное влияние исследуемых факторов и их взаимодействий на изменение свойств поризованных композитов.

На основании проведенного анализа предложен и обоснован механизм формирования структуры и свойств силикатной матрицы. Показано, что

частицы трепела способствуют «физическому» уплотнению структуры силикатной матрицы и образования прерывистой структуры капилляров, в том числе за счет собственной микропористости. Кроме того, в результате высокой сорбционной способности поры трепела являются матрицей для формирования гидросиликатов ультрадисперсных размеров, свойства которых отличаются от свойств гидросиликатов кальция, образовавшихся в свободном пространстве смеси, что способствует получению поризованных композитов с высокими физико-механическими свойствами.

Таким образом, трепел выполняет многофункциональную роль. На основе анализа результатов экспериментально-статистических моделей установлено существенное влияние удельной поверхности трепела, которое сравнимо с воздействием для силикатной матрицы условий твердения, в том числе ТВО, а для поризованных композитов на ее основе – со щелочной активацией смеси. Выполняя роль «физически активного» компонента, трепел обеспечивает снижение плотности и теплопроводности материала. Как компонент вяжущего, обладающего ультрадисперсной пористостью, трепел влияет на механизм формирования структуры и свойств композита и их изменение во времени, являясь при этом нанореактором для образования и роста ультрадисперсных гидросиликатов кальция внутри частиц трепела.

Изопараметрический анализ влияния щелочесодержащих добавок.

На следующем этапе исследований проведен сравнительный анализ изменения свойств и характеристик структуры материалов с щелочными добавками, способствующими поризации и без них. Анализ проводился в условиях изопараметрии [19] при постоянной общей пористости.

На первом этапе с использованием вычислительных экспериментов по соответствующим ЭС моделям определены составы и режимы формирования структуры с общей пористостью $P_{\text{общ}} = \text{const} = 40\%$ с добавками и без них и определены основные свойства и характеристики структуры материалов с заданной пористостью.

Установлено, что при постоянной общей пористости $P_{\text{общ}} = \text{const} = 40\%$ поризованные материалы характеризуются $k_{\text{тс}} = 1.2-1.3 \text{ МПа} \cdot \text{м}^{-0.5}$, что не более чем 1.2 раза выше, чем у матричного материала, коэффициент теплопроводности поризованных композитов в 1.8-2.8 раза ниже, чем у матричного материала, морозостойкость поризованных композитов более 25 циклов, что выше морозостойкости матричного материала ($F < 25$). Коэффициент размягчения поризованных материалов составляет $k_{\text{р}} \geq 0.95$, что выше коэффициента размягчения матричного материала (рис. 4).

Данное улучшение свойств может быть связано с изменением параметров структуры. Так, в композитах с щелочесодержащими добавками по сравнению с композитами без добавок, снижено в 3.5 раза соотношение открытых и закрытых пор и более чем в 3 раза меньше относительный средний размер капилляров. Аналогичный сравнительный анализ проведен также для материалов с постоянной прочностью при сжатии $R_{\text{сж}} = \text{const} = 15.0 \text{ МПа}$ (рис. 4).

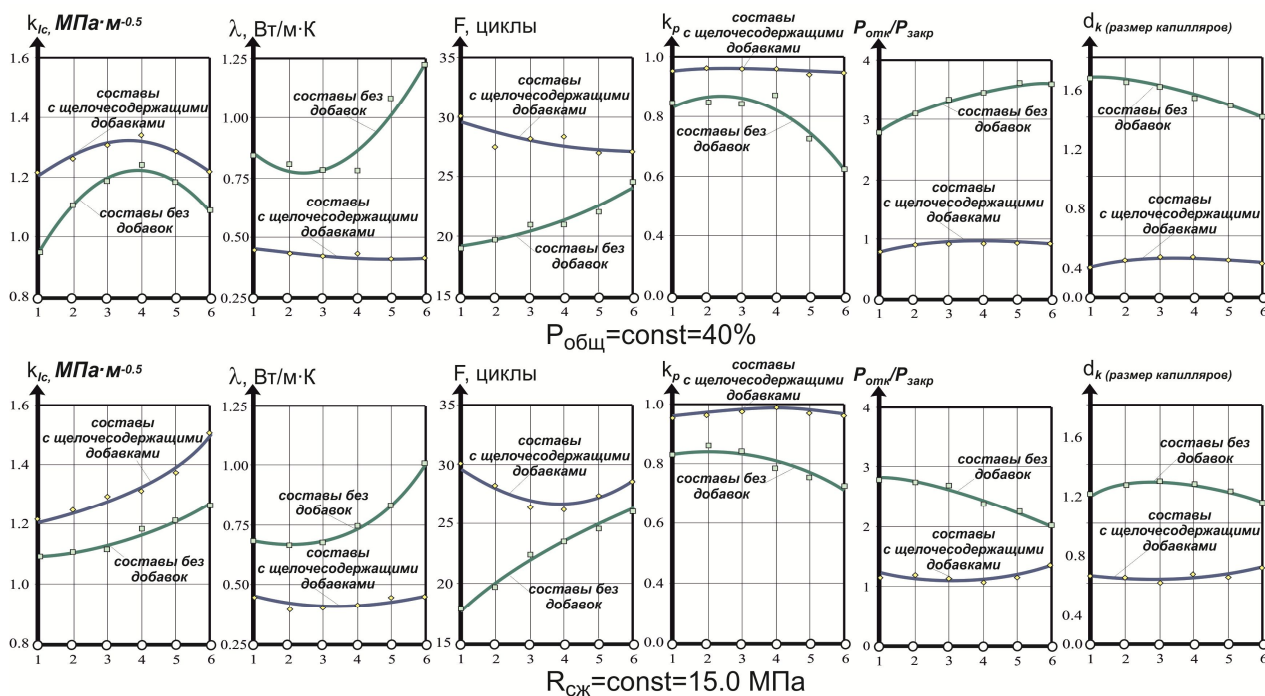


Рис. 4. Изопараметрический анализ изменения свойств и характеристик структуры материалов с добавками, способствующих поризации, и без них при постоянной общей пористости и постоянной прочности при сжатии

Таблица 3

Сравнительный анализ свойств и характеристик структуры силикатной матрицы и поризованных композитов при одинаковых условиях твердения

Исследуемые параметры	ПЛАН I	ПЛАН II
	Силикатная матрица	Поризованные композиты
$R_{сж}$, МПа	15.0	13.0÷16.0
ρ , кг/м ³	1600	1400÷1500
k_p	0.83	0.84÷0.93
λ , Вт/м·К	0.75	0.38÷0.45
Мрз, циклы	20	25÷28
$k_{ис}$, МПа·м ^{-0.5}	1.20	0.9÷1.2
$R_{изг}$, МПа	3.0	3.1÷4.1
$P_{общ}$, %	37	38÷44
$P_{отк}/P_{закр}$	2.2	0.9÷1.2
α_k	0.24	0.5÷0.75
d_k	1.0	0.24÷0.6

Выводы

Показана возможность применения комплексной активации, которая может быть реализована в виде последовательного цикла элементарных технологических приемов, что способствует разработке и внедрению в

практику строительства ресурсосберегающих литевых технологий производства эффективных силикатных стеновых изделий неавтоклавного твердения.

Установлено, что введение в силикатные композиты тепловлажностного твердения в оптимальном количестве добавок NaOH и жидкого стекла позволяет снизить коэффициент теплопроводности более, чем в 2 раза и повысить коэффициент размягчения композитов до $k_p \geq 0.95$ при тех же прочностных характеристиках и показателях трещиностойкости, которыми характеризуется матричный материал.

При этом необходимо учитывать, что составы для поризованных композитов и матричного материала, которые обеспечивают оптимум свойств, отличаются величиной удельной поверхности трепела и содержанием добавки гипса.

1. Shinkevich, E. The Influence of Modification of the Structure of Silicate Materials on Their Properties After Non-autoclaved Hardening / E. Shinkevich, E. Lutskin, et al. // Proc. of the 8th Int. Symp. Brittle Matrix Composites 8. – Warsaw, 2006. – P. 517-525.
2. Патент на изобретение 64603 А Украина, МКИ 7 C04B28/20. Сырьевая смесь для получения модифицированных силикатных материалов и способ ее приготовления / Е.С. Шинкевич, Н.В. Сидорова, Е.С. Луцкин, В.И. Сидоров, С.И. Политкин. Заявл. 15.07.2003. Опубл. 16.02.2004. Бюллетень № 2.
3. Шинкевич Е.С. Описание и оценка основных процессов гидратации активированных известково-кремнеземистых смесей на основе математических моделей различных видов / Е.С. Шинкевич // Материалы XV академических чтений РААСН. – Казань, 2010. – т.1. – С. 174-180.
4. Shinkevich E. Kinetic-mathematical model of hydration of lime-silica binder, which activated together with a fine-grained filler / E. Shinkevich // Proceeding of 13th Int. Congress on the Chemistry of Cement. – Madrid, Spain, 2011. – P.351-358.
5. Шинкевич О.С. Розвиток наукових основ отримання вапняно-кремнеземистих будівельних композитів неавтоклавного твердіння: автореф. дис. на здобуття наук. ступеня докт. тех. наук: спец. 05.23.05 "Будівельні матеріали та вироби" / Шинкевич О.С. – Одеса, 2008. – 32 с.
6. Lutskin, Y. Aerated Complex Activated Composites on Silicate Matrix of Thermal-moisture Hardening / Y. Lutskin, E. Shinkevich // Proceeding of 14th Int. Congress on the Chemistry of Cement / Abstract Book. – Beijing, China, 2015. – Volume 2. – P.632.
7. Vinnichenko, V. Theoretical and experimental research into manufacturing of silicate products without thermal treatment / V. Vinnichenko, A. Krot, N. Vitsenko // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. Technology organic and inorganic substances, 2016. – Vol 5, No 6 (83). – P. 29-36. режим

доступа: <http://journals.uran.ua/eejet/article/view/79465>.

8. Артамонова О.В. Концепции и основания технологий наномодифицирования структур строительных композитов. Часть 1: общие проблемы фундаментальности, основные направления исследований и разработок / О.В. Артамонова, Е.М. Чернышов // Строительные материалы. – 2013. – № 9. – С. 82 – 95.
9. Davidovits, J. Geopolymer Chemistry and Applications. 3rd edition / J. Davidovits. – 2011. Saint-Quentin, France. – 610 p.
10. Вандаловский А.Г. Экологически чистый строительный материал для малоэтажного строительства / А.Г. Вандаловский, Е.А. Григоренко // Науковий вісник будівництва. – Харьков, 2013. – №72. – С. 228-233.
11. Бабушкин В.И. Термодинамика силикатов / В.И. Бабушкин, Г.М. Матвеев, О.П. Мчедлов-Петросян. – М.: Стройиздат, 1986. – 407 с.
12. Бабушкина М.И. Жидкое стекло в строительстве / М.И. Бабушкина. – Кишинев, 1971. – 223с.
13. Бабушкин В.И. Влияние активных поверхностных центров на прочность всежеотформованных мелкозернистых бетонов / В.И. Бабушкин, А.А. Плугин, Т.А. Костюк, В.А. Матвиенко // Науковий вісник будівництва. – Харьков, 1998. – №5. – С. 85-88.
14. Шинкевич О.С. Аналіз впливу параметрів стану сумішей на властивості комплексно-активованих силікатних композитів тепловологісного твердіння / О.С. Шинкевич, Ю.В. Доценко, Н.В. Сидорова, О.О. Койчев, І.Н. Міроненко // Сборник научных трудов SWorld – Выпуск №44, 2016. // С 84-87. режим доступа: <http://sworld.com.ua/ntsw/316-5.pdf>.
15. Чернышов Е.М. Высокотехнологичные высокопрочные бетоны: вопросы управления их структурой Современные проблемы строительного материаловедения и технологии / Е.М. Чернышов, Д.Н. Коротких // М-лы. межд. конгресса "Наука и инновации в строительстве". – 2008 – Т.1, кн. 2. – С. 616-620.
16. Глуховский В.Д. Вяжущие и композиционные материалы контактного твердения / В.Д. Глуховский, Р.Ф. Рунова, С.Е. Максунув. – Киев, 1991. – 242 с.
17. Кривенко П.В. Долговечность шлакощелочного бетона / П.В. Кривенко, Е.К. Пушкарева. – Киев: Будивэльник, 1993. – 224 с.
18. Вознесенский В.А. ЭВМ и оптимизация композиционных материалов / В.А. Вознесенский, Т.В. Ляшенко, Я.П. Иванов, И.И. Николов. – Киев: Будивэльник, 1989. – 240 с.
19. Чернышев Е.М. Системные исследования и изопараметрическая оптимизация структуры ячеистых силикатных композитов / Е.М. Чернышев, Е.С. Шинкевич, В.Я. Керш, Н.В. Хлыцов // В кн.: Механика и технология композиционных материалов: Труды III конференции Болгарской АН. – София, 1982. – С. 217-225.