



ISSN 1819-432X print / ISSN 1993-3495 online

СУЧАСНЕ ПРОМИСЛОВЕ ТА ЦИВІЛЬНЕ БУДІВНИЦТВО  
СОВРЕМЕННОЕ ПРОМЫШЛЕННОЕ И ГРАЖДАНСКОЕ СТРОИТЕЛЬСТВО  
MODERN INDUSTRIAL AND CIVIL CONSTRUCTION

2011, ТОМ 7, НОМЕР 4, 205–213

УДК 666.965(063):519.2

## ТРІЩИНОСТІЙКІСТЬ І ДЕФОРМАТИВНІСТЬ КОМПЛЕКСНО АКТИВОВАНИХ ВАПНЯНО-КРЕМНЕЗЕМИСТИХ КОМПЗИТИВ

**О. С. Шинкевич**

*Одеська державна академія будівництва та архітектури,  
вул. Дідріхсона, 4, м.Одеса, Україна, 65029.*

*E-mail: elena\_shinkevich@ukr.net*

*Отримана 7 вересня 2011; прийнята 25 листопада 2011.*

**Анотація.** Робота спрямована на вивчення і регулювання властивостей, включаючи параметри механіки руйнування, в комплексно активованих вапняно-кремнеземистих композитах для отримання стінових виробів за литвєвою енергозберігаючою технологією. На основі експериментально-статистичної моделі встановлена пропорційна залежність критичного коефіцієнта інтенсивності напружень ( $k_{lc}$ ) від вмісту дрібнозернистого заповнювача для вапняно-кремнеземистих дрібнозернистих бетонів, що свідчить про можливу ідентичність механізмів тріщиноутворення в цементних і вапняно-кремнеземистих композитах. Показано, що зі збільшенням кількості дрібнозернистого заповнювача зростає ймовірність гальмування мікротріщин зернами заповнювача. Встановлено залежність з локальним оптимумом критичного коефіцієнта інтенсивності напружень під впливом режимів твердіння:  $k_{lc}$  зростає до максимального значення, потім знижується. Відхилення від оптимальних значень режимів твердіння і складів ведуть до зниження  $k_{lc}$ , що пов'язано з формуванням у цих умовах зони передруйнування на контакті матриці з заповнювачем. Проаналізовано вплив факторів складу та технології на модуль пружності. Показана доцільність застосування комплексу показників якості, включаючи тріщиностійкість і деформативність, при оптимізації складів і режимів твердіння активованих дрібнозернистих вапняно-кремнеземистих композитів.

**Ключові слова:** тріщиностійкість, критичний коефіцієнт інтенсивності напружень, вапняно-кремнеземисті композити, експериментально-статистичне моделювання, активація, модуль пружності.

## ТРЕЩИНОСТОЙКОСТЬ И ДЕФОРМАТИВНОСТЬ КОМПЛЕКСНО АКТИВИРОВАННЫХ ИЗВЕСТКОВО-КРЕМНЕЗЕМИСТЫХ КОМПЗИТИВ

**Е. С. Шинкевич**

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

*E-mail: elena\_shinkevich@ukr.net*

*Получена 7 сентября 2011; принята 25 ноября 2011.*

**Аннотация.** Работа направлена на изучение и регулирование свойств, включая параметры механики разрушения, в комплексно активированных известково-кремнеземистых композитах для получения стеновых изделий по литвєвой энергосберегающей технологии. На основе экспериментально-статистической модели установлена пропорциональная зависимость критического коэффициента интенсивности напряжений ( $k_{lc}$ ) от содержания мелкозернистого заполнителя для известково-кремнеземистых мелкозернистых бетонов, что свидетельствует о возможной идентичности механизмов трещинообразования в цементных и известково-кремнеземистых композитах. Показано, что с увеличением количества мелкозернистого заполнителя возрастает вероятность торможения микротрещин зернами

заполнителя. Установлена зависимость с локальным оптимумом критического коэффициента интенсивности напряжений под влиянием режимов твердения:  $k_{Ic}$  возрастает до максимального значения, затем снижается. Отклонения от оптимальных значений режимов твердения и составов ведут к снижению  $k_{Ic}$ , что связано с формированием в данных условиях зоны предразрушения на контакте матрицы с заполнителем. Проанализировано влияние факторов состава и технологии на модуль упругости. Показана целесообразность применения комплекса показателей качества, включая трещиностойкость и деформативность, при оптимизации составов и режимов твердения активированных мелкозернистых известково-кремнеземистых композитов.

**Ключевые слова:** трещиностойкость, критический коэффициент интенсивности напряжений, известково-кремнеземистые композиты, экспериментально-статистическое моделирование, активация, модуль упругости.

## CRACK RESISTANCE AND DEFORMABILITY OF COMPLEX-ACTIVATED CALCAREOUS AND SILICEOUS COMPOSITES

Olena Shynkevych

*Odessa State Academy of Civil Building and Architecture,  
4, Didrikhsona Str., Odessa, Ukraine, 65029.  
E-mail: elena\_shinkevich@ukr.net*

*Received 7 September 2011; accepted 25 November 2011.*

**Abstract.** The paper is focused on the study and properties control, containing parameters of mechanics of failure in complex activated calcareous and siliceous composites to fabricate wall injection molding products by casting energy conservation technique. The proportional dependence of the critical stress intensity factor ( $k_{Ic}$ ) from fine aggregate content of calcareous and siliceous fine-grained concrete has been set up on the basis of the test and statistic pattern indicating the possible identity of the cracking mechanisms in cement and calcareous and siliceous composites. The findings have shown that with increasing of the fine aggregate content, the probability of microcracks retardation by filling grains have been grown. The subordination to the local optimum of the critical stress intensity factor when affected by hardening conditions has been set up:  $k_{Ic}$  increases to its maximum, then decreases. The deviation from the optimal values of hardening conditions and compositions leads to reduction of  $k_{Ic}$  connecting with the formation of prerupture zone on the contact of a matrix with a filler in these conditions. The impact of composition factors and technique on the modulus of elasticity has been analyzed. The expediency of application of the set of quality indicators, including crack resistance and deformability at compositional optimization and hardening conditions of activated fine calcareous and siliceous composites.

**Keywords:** crack resistance, critical stress intensity factor, calcareous and siliceous composites, test and statistic modelling, activation, modulus of elasticity.

Дефицит энергетических и минеральных ресурсов требует разработки малоэнергоёмких и прогрессивных технологий производства строительных материалов и изделий. При производстве материалов и изделий на безклинкерных вяжущих веществах применяется широкий спектр видов активации процессов их твердения. Известно, что различные методы активации в той или иной мере положительно отражаются на повышении прочностных свойств материалов и изделий. Отличие их заключается в различной энергоёмкости и техно-

логической сложности использования в строительной практике. Прочность силикатных изделий с модифицированными наполнителями на 20–25 % выше по сравнению с бетонами на немодифицированных заполнителях. Экономическая эффективность за счет отказа от дорогого цемента составляет 32 %. Применение безавтоклавной технологии для производства изделий на активированных вяжущих и заполнителях обеспечивает снижение энергетических расходов на производство на 20–30 %, а себестоимость – на 15–20 % [1].

Однако до настоящего времени отсутствуют общие закономерности влияния на свойства твердеющих и затвердевших композитов остаточных изменений объема активированного известково-кремнеземистого вяжущего. Кроме того, при достаточно значительных исследованиях прочности безклинкерных бетонов, мало изучены их деформационные свойства и параметры механики разрушения, которые, как известно, влияют на деструктивную стойкость материалов и изделий всех видов [2, 3].

Для получения многокомпонентного известково-кремнеземного вяжущего использованы: воздушная известь, молотая совместно с кварцевым песком в заданном соотношении; отдельно до заданной удельной поверхности измельчаются горные породы аморфной структуры, в частности трепел.

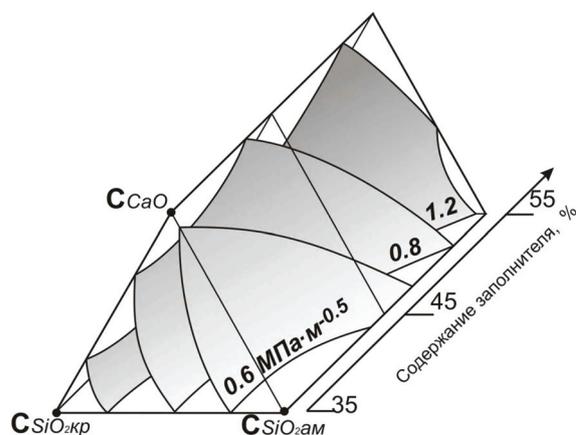
При изготовлении композитов применена комплексная активация известково-кремнеземистых смесей [4]. Одним из примененных видов комплексной активации является гидроактивация. Она является разновидностью механохимической активации, осуществляется в жидкой среде, происходит без размельчения частиц и сопровождается снижением вязкости смеси.

Для оценки влияния состава вяжущего и смеси на трещиностойкость и микротвердость был проведен натурный эксперимент. Эксперимент поставлен по четырехфакторному D-оптимальному плану (1) типа МТQ [5], в котором одновременно изменяются три зависимых фактора смеси и один независимый фактор. В качестве факторов смеси варьировался состав композиционного вяжущего, которое состоит из молотой негашеной извести ( $v_1$ ), кремнеземистого компонента аморфной структуры в виде трепела ( $v_2$ ) и молотого кварцевого песка ( $v_3$ ). Эти факторы связаны линейной зависимостью ( $v_1 + v_2 + v_3 = 1$ ) и интерпретируются в виде треугольных диаграмм. В качестве независимого фактора варьировалось количество заполнителя в составе известково-кремнеземистой смеси ( $x_4$ ).

По результатам натурального эксперимента рассчитаны четырехфакторные экспериментально-статистические (ЭС) модели, которые описывают изменение трещиностойкости и микротвердости под влиянием перечисленных факторов (рис. 1).

На основании установленного количественного состава вяжущего и смеси, исследованы основные характеристики структуры и свойства композитов: прочность при сжатии  $R_{сж}$ , трещиностойкость, которая характеризовалась коэффициентом интенсивности напряжений  $k_{Ic}$ . Установлено, что с увеличением количества мелкозернистого заполнителя значения  $k_{Ic}$  возрастают до величины  $1,5 \text{ МПа} \cdot \text{м}^{-0,5}$ , что выше известного значения  $k_{Ic} = 1$  для цементных мелкозернистых бетонов. Пропорциональная зависимость критического коэффициента интенсивности напряжений  $k_{Ic}$  от содержания мелкозернистого заполнителя для известково-кремнеземистых и цементных мелкозернистых бетонов свидетельствует о возможной идентичности механизмов трещинообразования в этих композитах [2]. С увеличением количества мелкозернистого заполнителя возрастает вероятность торможения микротрещин зернами заполнителя.

В следующем эксперименте, поставленном по шестифакторному двадцатичетырехточечному D-оптимальному плану (2) варьировались следующие факторы: удельная поверхность одного из компонентов вяжущего (трепела)  $v_1 - S_{\text{тр}1} = 350 \text{ м}^2/\text{кг}$ ,  $v_2 - S_{\text{тр}2} = 425 \text{ м}^2/\text{кг}$ ,  $v_3 - S_{\text{тр}3} = 500 \text{ м}^2/\text{кг}$ , условия твердения: длительность предварительного выдерживания в н.у.  $x_4 - \tau_{\text{п.в.}} = (6 \pm 6)$  часов, длительность ТВО при  $T = 85^\circ\text{C}$   $x_5 - \tau_{\text{ТВО}} = (10 \pm 4)$  часов и содержание добавки гипса  $x_6 - C_r = (2,5 \pm 2,5) \%$ .



**Рисунок 1.** Изменение критического коэффициента интенсивности напряжений  $k_{Ic}$  под влиянием состава и содержания известково-кремнеземистого вяжущего.

По ЭС моделям установлено, что значение рецептурно-технологических факторов, которые обеспечивают максимальные значения прочности, трещиностойкости и микротвердости, не совпадают [6, 7, 8, 9]. Полученные ЭС модели позволяют оценить влияние технологических факторов и составов в количественном выражении как независимо друг от друга, так и с учетом их взаимодействия (табл. 1).

Проанализировано влияние факторов состава и технологии на критический коэффициент интенсивности напряжений  $k_{lc}$ . Так, изменение коэффициента интенсивности напряжений  $k_{lc}$  описывает ЭС модель (1) (рис. 2а). Коэффициент интенсивности напряжений под влиянием всех шести факторов изменяется в 3,8 раза, причем влияние длительности предварительного выдерживания практически равнозначно влиянию длительности ТВО.

Под влиянием длительности предварительного выдерживания и длительности ТВО кри-

тический коэффициент интенсивности напряжений возрастает до максимального значения  $k_{lc} = 1,61 \text{ МПа}\cdot\text{м}^{0.5}$ , затем снижается. Максимальной трещиностойкостью обладают образцы, обработанные при  $\tau_{п.в.} = (1,0...1,5)$  час и  $\tau_{ТВО} = (12...14)$  час на крупной удельной поверхности  $S_{тр1} = 350 \text{ м}^2/\text{кг}$ , что, по-видимому, может свидетельствовать о возможном торможении микротрещин частицами трепела крупной фракции (рис. 3а).

С другой стороны, увеличение длительности предварительного выдерживания и длительности ТВО сверх оптимальных значений и уменьшение размера частиц до удельной поверхности  $S_{тр3} = 500 \text{ м}^2/\text{кг}$  ведет к снижению критического коэффициента интенсивности напряжений  $k_{lc}$ , что может быть связано, как показывают электронно-микроскопические исследования, с формированием в данных условиях зоны предразрушения на контакте матрицы с наполнителем (рис. 3б).

Таблица 1. Относительное изменение свойств под влиянием состава и условий твердения

Группы факторов		R <sub>сж</sub>	k <sub>lc</sub>	H	E	
1.	Размер удельной поверхности трепела Si	2,1	1,6	2,6	1,25	
2.	Условия твердения:	$\tau_{п.в.}$	1,15	1,1	1,6	1,1
		$\tau_{ТВО}$	1,15	1,1	1,5	1,1
3.	Условия твердения $\tau_{п.в.}$ , $\tau_{ТВО}$ с учетом взаимодействий	2,1	1,5	2,2	1,2	
4.	Все факторы $S_b$ , $\tau_{п.в.}$ , $\tau_{ТВО}$ , $C_r$	6,4	3,8	3,0	1,25	

а)

$$k_{lc} = \begin{matrix} 0.82v_1 & \pm 0v_1v_2 \\ +1.02v_2 & +0.86v_1v_3 \\ +1.04v_3 & \pm 0v_2v_3 \end{matrix} + \begin{matrix} -0.04 v_1x_4 & \pm 0v_1x_5 & +0.12v_1x_6 \\ \pm 0v_2x_4 & -0.067 v_2x_5 & +0.13v_2x_6 \\ +0.04v_3x_4 & -0.050 v_3x_5 & +0.20v_3x_6 \end{matrix} + \begin{matrix} +0.089x_4^2 & \pm 0x_4x_5 & +0.09x_4^2 \\ -0.081x_5^2 & -0.04x_4x_6 & -0.08x_5^2 \\ -0.195x_6^2 & +0.03x_5x_6 & -0.19x_6^2 \end{matrix} \quad (1)$$

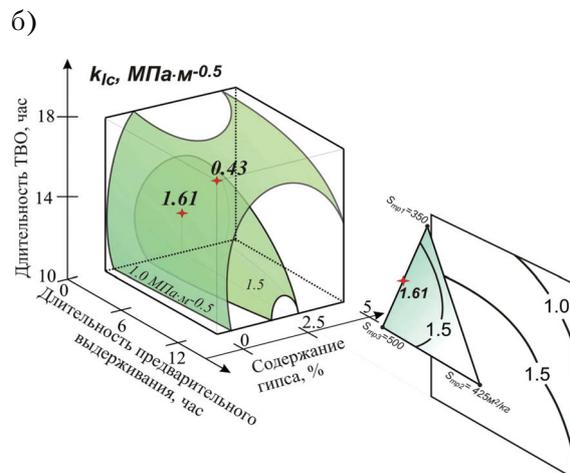


Рисунок 2. Экспериментально-статистическая модель изменения критического коэффициента интенсивности напряжений  $k_{lc}$  под влиянием рецептурно-технологических факторов – (а) и ее графический образ – (б).

Кроме того, микроструктура с максимальным значением микротвердости  $H$  не обеспечивает максимальное значение  $k_{ic}$ , что также является косвенным показателем того, что развитие трещин идет по контактной зоне «матрица-заполнитель». Таким образом, кроме известных факторов угловатости и шероховатости поверхности, на качество сцепления заполнителя с матричным материалом оказывают влияние и технологические факторы: длительность предварительного выдерживания и длительность ТВО.

Кроме того, оптимальная структура, которая обеспечивает максимальное значение  $k_{ic}$ , не обеспечивает максимальное значение микротвердости  $H$  (рис. 4а), что также является косвенным показателем того, что развитие трещин происходит на контакте матрицы с заполнителем. Ус-

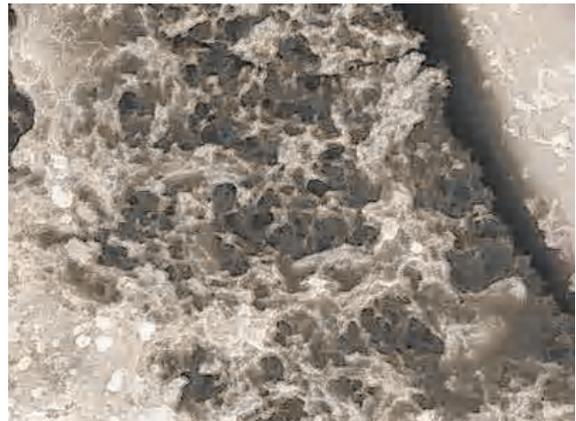
тановлено, что гидроактивация поверхности мелкозернистого заполнителя способствует повышению микротвердости безглинкерной матрицы вяжущего в 1,3 раза по сравнению с неактивированным заполнителем.

На основе вычислительных экспериментов [5, 10, 11] установлено, что влияние на прочность при сжатии длительности предварительного выдерживания и режимов ТВО в количественном выражении равнозначно. Общее влияние этих факторов обеспечивает увеличение прочности в 2,1 раза, под влиянием каждого фактора отдельно  $\tau_{п.в.}$  и  $\tau_{ТВО}$  прочность при сжатии увеличивается в 1,15 раза. Максимальное значение прочности при сжатии  $R_{сж} = 22,3$  МПа достигнуто при длительности предварительного выдерживания 1,5 часа и длительности ТВО 11 часов.

а)

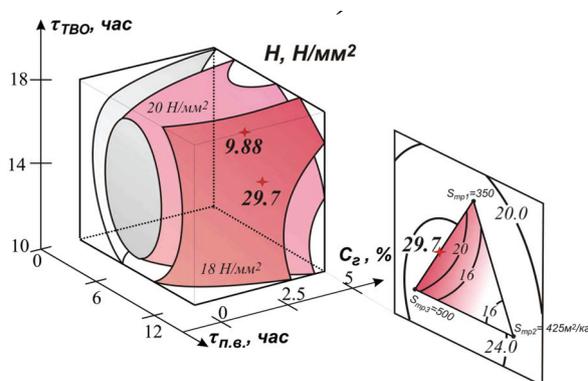


б)

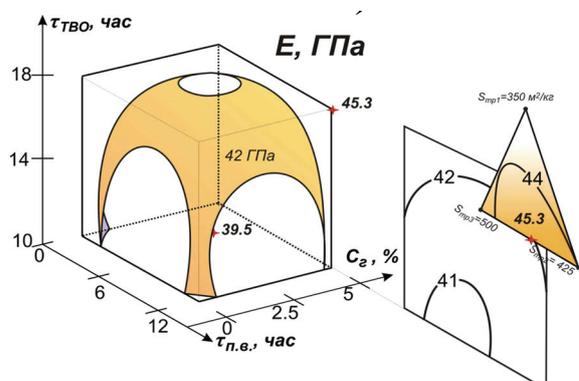


**Рисунок 3.** Электронные микрофотографии образцов с различными условиями твердения: а) –  $t_{п.в.} = 6$  час,  $t_{ТВО} = 10$  час  $t_{п.} = 0$ ; б) –  $t_{п.в.} = 0$  час,  $t_{ТВО} = 10$  час.

а)



б)



**Рисунок 4.** Изменение микротвердости  $H$  (а) и модуля упругости  $E$  (б) под влиянием рецептурно-технологических факторов.

Оптимальное содержание добавки гипса 4 %. Рост прочности сопровождается увеличением в твердой фазе минерала фошагита и оптимальным соотношением гиллебрандита В и С (образование этих видов ГСК идет практически без увеличения объема твердой фазы).

Установлено влияние факторов состава и технологии на модуль упругости (рис. 4б). Модуль упругости изменяется в 1,2 раза [12]. Влияние длительности ТВО и длительности предварительного выдерживания в н.у. на модуль упругости  $E$  также как и на прочность при сжатии  $R_{ск}$  – равнозначное, однако оптимальное содержание добавки гипса для максимального значения модуля упругости составляет 5 %. Значение модуля упругости, которое отвечает значению модуля упругости для мелкозернистых цементных бетонов  $E = 25$  ГПа, достигается при  $\tau_{п.в.} = 6$  часов и  $\tau_{ТВО} = 10$  часов, при том же содержании добавки гипса. А значение  $E = 35$  ГПа, которое отвечает значению модуля упругости для обычных тяжелых бетонов [3], достигается при тех же значениях  $\tau_{п.в.}$  и  $\tau_{ТВО}$ , но на смеси кремнеземистого компонента из удельной поверхностью трепела  $S_{тр2}$  и  $S_{тр3}$  в равных количествах (рис. 4б).

Эти составы отличаются характером пористости: относительный средний размер капилляров в первом случае

$$d_k (E = 35 \text{ ГПа}) = 0,85 > d_k (E = 25 \text{ ГПа}) = 0,60,$$

коэффициент однородности распределения капилляров по размерам:

$$\alpha_k (E = 35 \text{ ГПа}) = 0,2 < \alpha_k (E = 25 \text{ ГПа}) = 0,38,$$

при этом содержание тоберморитового геля в этих составах составляет 15 %. Максимальное значение  $E = 45,2$  ГПа достигнуто при  $\tau_{п.в.} = 12$  часов и  $\tau_{ТВО} = 18$  часов.

В исследуемом диапазоне варьирования всех шести факторов связь прочности и модуля упругости имеет выраженный нелинейный характер. В исследуемой области изменению прочности при сжатии в 6,4 раза соответствует изменение модуля упругости в 1,2 раза, то есть изменение прочности при сжатии  $\delta R_{ск}$  в 5 раз превышает изменение модуля упругости  $\delta E$ . Рассчитано, что под влиянием условий твердения и режимов ТВО при постоянной  $R_{ск} = \text{const} = 20$  МПа значения  $\Delta E$  составляет 10 % ( $39,1 \div 43,6 \cdot 10^3$  МПа), при низких значениях  $R_{ск} = \text{const} = 15$  МПа значения  $\Delta E$  составляет 12 % при неизменной прочности  $R_{ск} = 15$  МПа, при одновременном

варьировании факторов состава и технологии  $\Delta E = 5$  %. Таким образом, технологические режимы необходимо назначать с учетом формирования оптимальных структур для комплекса анализируемых свойств и необходимых требований к материалу.

Проведенные исследования показывают, что комплексную оптимизацию составов рационально проводить с учетом закономерностей изменения трещиностойкости и модуля упругости, что позволит прогнозировать качество изделий с высокой степенью достоверности. Модуль упругости, который обычно нормируется в практических расчетах конструкций, также может быть использован при оптимизации составов известково-кремнеземистых смесей для прогноза стойкости композитов. Модуль упругости через 2,5 года повышается на 10–20 % или может снижаться на данную величину в зависимости от состава, то есть, изменение эксплуатационных свойств во времени может лимитировать стойкость бетонов. Поэтому данные показатели необходимо учитывать при оптимизации составов и режимов [10].

## Выводы

1. Проанализировано влияние факторов состава и технологии на критический коэффициент интенсивности напряжений в комплексно активированных известково-кремнеземистых композитах. Выявлено, что с увеличением количества мелкозернистого заполнителя значения критического коэффициента интенсивности напряжений возрастают до величины  $k_{ic} = 1,5 \text{ МПа} \cdot \text{м}^{-0,5}$ , что выше известного значения  $k_{ic} = 1 \text{ МПа} \cdot \text{м}^{-0,5}$  для мелкозернистых бетонов на цементном вяжущем. Пропорциональная зависимость  $k_{ic}$  от содержания мелкозернистого заполнителя для известково-кремнеземистых и цементных мелкозернистых бетонов свидетельствует о возможной идентичности механизмов трещинообразования в этих композитах. Установлено, что гидроактивация поверхности мелкозернистого заполнителя способствует повышению микротвердости безклинкерной матрицы вяжущего в 1,3 раза по сравнению с неактивированным заполнителем.
2. Проанализировано влияние факторов состава и технологии на модуль упругости. Мо-

дуль упругости  $E$  изменяется в 1,2 раза под влиянием шести факторов. Влияние длительности ТВО и длительности выдерживания в н.у. на модуль упругости равнозначно. Значение модуля упругости  $E = 25$  ГПа для известково-кремнеземистых композитов, которое соответствует значению модуля упругости для цементных мелкозернистых бетонов, достигается при  $t_{п.в.} = 6$  часов и  $t_{ТВО} = 10$  часов и удельной поверхности трепела  $S_{уд1} = 350$  м<sup>2</sup>/кг; а значение модуля упругости  $E = 35$  ГПа, которое отвечает значению модуля упругости для обычных тяжелых бетонов, достигается при тех же значениях  $t_{п.в.}$  и  $t_{ТВО}$ , но на смеси кремнеземистого компонента с удельными поверхностями  $S_{уд2} = 425$  м<sup>2</sup>/кг и  $S_{уд3} = 500$  м<sup>2</sup>/кг в равном соотношении. Эти составы отличаются характером пористости: относительный средний размер капилляров в первом случае  $d_k (E = 35 \text{ ГПа}) = 0,85 > d_k (E = 25 \text{ ГПа}) = 0,6$ , коэффициент однородности распределения капилляров по размерам выше:

$$a_k (E = 35 \text{ ГПа}) = 0,2 < a_k (E = 25 \text{ ГПа}) = 0,38.$$

3. Проведен сравнительный анализ влияния на свойства известково-кремнеземистых ком-

позитов состава и режимов технологии. Установлено, что качественный состав смеси влияет на критический коэффициент интенсивности напряжений  $k_{Ic}$ , микротвердость  $H$ , модуль упругости  $E$  существеннее, чем условия предварительного выдерживания и режимы ТВО совместно, а для прочности при сжатии  $R_{сж}$  – влияние данных факторов равнозначно: за счет их варьирования  $R_{сж}$  изменяется в 2,1 раза. При этом влияние  $\tau_{п.в.}$  и  $\tau_{ТВО}$  без учета их взаимодействия между собой предопределяет изменение  $R_{сж}$  в 1,15 раза. Максимальное значение  $R_{сж} = 22,3$  МПа достигнуто при  $\tau_{п.в.} = 1,5$  часа и  $\tau_{ТВО} = 11$  часов.

4. Показана целесообразность применения комплекса показателей качества, включая трещиностойкость и деформативность, при оптимизации составов и режимов твердения активированных мелкозернистых известково-кремнеземистых композитов. Использование такого комплекса является основой для сравнения и выбора оптимальных конкурирующих вариантов решений, что позволит с высокой степенью достоверности гарантировать необходимый уровень качества в период эксплуатации изделий.

## Литература

1. Стеновые силикатные материалы безавтоклавного твердения с улучшенными теплоизоляционными свойствами. Перспективні напрямки проектування житлових та громадських будівель [Текст] / Е. С. Шинкевич, Г. Г. Бондаренко, С. И. Политкин [и др.] // Зб. наук. праць. Спеціальний випуск «Енергозберігаючі технології в будівництві та архітектурі». – К. : КиївЗНДІЕП, 2004. – С. 138–143.
2. Зайцев, Ю. В. К нормированию значений KIC для мелкозернистых бетонов [Текст] / Ю. В. Зайцев, М. Б. Казацкий, Г. Ф. Цава // Бетон и железобетон. – 1984. – № 6. – С. 23–24.
3. Зайцев, Ю. В. Моделирование деформаций и прочности бетона методами механики разрушения [Текст] / Ю. В. Зайцев. – М. : Стройиздат, 1982. – 196 с.
4. Анализ связи структуры и свойств в активированных известково-кремнеземистых композитах на основе методов компьютерного материаловедения [Текст] / Е. С. Шинкевич, Е. С. Луцкий, Г. Г. Бондаренко, А. А. Койчев // Достижения и проблемы материаловедения и модернизации строительной индустрии : Материалы XV акаде-

## References

1. Shinkevich, Ye. S.; Bondarenko, G. G.; Politkin, S. I. Wall silicate materials of non-autoclave hardening with enhanced heat-insulating properties. In compendium *Energy-saving technologies in civil engineering and architecture*. Kyiv: KyivZNDIEP, 2004, p. 138–143. (in Russian)
2. Zaitsev, Yu. V.; Kazatsky, M. B.; Tsaava, G. F. Rating of KIC values for fine-grained concrete. In *Concrete and reinforced concrete*, 1984, No. 6, p. 23–24. (in Russian)
3. Zaitsev, Yu. V. Simulation of concrete strain and durability by mechanics of failure methods. Moscow: Stroyizdat, 1982. 196 p. (in Russian)
4. Shinkevich, Ye. S.; Lutskin, Ye. S.; Bondarenko, G. G.; Koichev, A. A. Analytical treatment of structure and characteristics linkage in complex-activated calcareous and siliceous composites by software materials methods. In *Achievements and problems of materials and updating of building industry: Materials of the XVth Academic Lecturing of the Civil Engineering and Architectural Academy of Russia*. Kazan, 2010. Vol. 2, p. 93–97. (in Russian)
5. Lyashenko, T. V. Property fields concept is processing principle of information extract from ES-patterns

- мических чтений Российской академии архитектуры и строительных наук – Международной научно-технической конференции / КГАСУ. – Казань, 2010. – Том 2. – С. 93–97.
5. Ляшенко, Т. В. Концепция полей свойств – методическая основа извлечения информации из ЭС-моделей в компьютерном материаловедении [Текст] / Т. В. Ляшенко // Вісник Одес. ДАБА. – Одеса : Місто майстрів, 2003. – Вип. 12. – С. 171–179.
  6. Механические характеристики силикатных неавтоклавных материалов [Текст] / Г. Г. Бондаренко, Е. С. Шинкевич, П. М. Довгань [и др.] // 36. наук. праць ЛНАУ. – Луганськ, 2007. – Вип. 71(94). – С. 145–152.
  7. Шинкевич, Е. С. Влияние модификации структуры на деформационные свойства силикатных материалов неавтоклавного твердения [Текст] / Е. С. Шинкевич, Ю. В. Чесский, Г. Г. Бондаренко // Материалы к МОК'44. – Одесса, 2005. – С. 17–18.
  8. Шинкевич, Е. С. Влияние модификации структуры на микротвердость силикатных систем [Текст] / Е. С. Шинкевич, Г. Г. Бондаренко, И. В. Шкрабик // Материалы к МОК'45. – Одесса, 2006. – С. 33–35.
  9. Исследование структуры ультразвуковым методом силикатных материалов неавтоклавного твердения [Текст] / Ю. В. Чесский, Е. С. Шинкевич, Е. С. Луцкий [и др.] // Ультразвук и ультразвуковые технологии : Сборник трудов XVIII сессии Российского акустического общества. – Москва, 2006. – Т. 2. – С. 122–126.
  10. Шинкевич, Е. С. Методы компьютерного материаловедения при анализе процесса структурообразования, структуры и свойств силикатных материалов безавтоклавного твердения [Текст] / Е. С. Шинкевич, Г. Г. Бондаренко // Вісник Донбаської держ. академії будівництва і архітектури : зб. наук. праць / М-во освіти і науки України, ДонДАБА. – Макіївка, 2004. – Вип. 2004-1(43) : Композиційні матеріали для будівництва. Т. 1. – С. 165–170.
  11. Вознесенский, В. А. Методы компьютерного материаловедения и технология бетона [Текст] / В. А. Вознесенский, Т. В. Ляшенко // Будівельні конструкції : Міжвід. наук.-техн. зб. – К. : НДІБК, 2002. – Вип. 56 : Сучасні проблеми бетону та його технологій. – С. 217–226.
  12. Регулирование деформационных свойств модифицированных силикатных материалов неавтоклавного твердения [Текст] / Е. С. Шинкевич, Е. С. Луцкий, Г. Г. Бондаренко [и др.] // Вестник ОГАСА. – Одесса, 2004. – Вып. № 15. – С. 353–358.
  - in software materials. In *Bulletin of the Odesa State Academy of Civil Engineering and Architecture*, 2003, No. 12, p. 171–179. (in Russian)
  6. Bondarenko, G. G.; Shinkevich, Ye. S.; Dovgan, P. M. et al. Speed-torque characteristics of silicate non-steam-cured materials. In the *compendium of the Lugansk National Agrarian University*, 2007, No. 71(94), p. 145–152. (in Russian)
  7. Shinkevich, Ye. S.; Chessky, Yu. V.; Bondarenko, G. G. Effect of structural adaptation on straining properties of silicate materials of non-steam-cured hardening. In the *papers of IOC'44*. Odessa, 2005, p. 17–18. (in Russian)
  8. Shinkevich, Ye. S.; Bondarenko, G. G.; Shkrabik, I. V. Effect of structural adaptation on microhardness of silicate systems. In the *papers of IOC'44*. Odessa, 2006, p. 33–35. (in Russian)
  9. Chessky, Yu. V.; Shinkevich Ye. S.; Lutskin, Ye. S. et al. Structural study of silicate non-steam-cured materials by ultrasound technique. In the *compendium of XVIIIth Session of the Acoustics Society of Russia «Ultrasound and ultrasound processing and techniques»*. Moscow, 2006, Vol. 2, p. 122–126. (in Russian)
  10. Shinkevich, Ye. S.; Bondarenko, G. G. Software materials methods while analyzing of structural forming process, structures and properties of silicate non-steam-cured hardening materials. In *Proceeding of the Donbas State Academy of Civil Engineering and Architecture*, 2004, Issue 2004-1(43): Composite building materials, Vol. 1, p. 165–170. (in Russian)
  11. Voznesensky, V. A.; Lyashenko, T. V. Software materials methods and concrete technique. In the *compendium Building structures*, 2002, Issue 56: Contemporary problems of concrete and its techniques, p. 217–226. (in Russian)
  12. Shinkevich, Ye. S.; Lutskin, Ye. S.; Bondarenko, G. G. et al. Control of strained properties of adapted silicate non-steam-cured hardening materials. In *Bulletin of the OSACEA*, 2004, Issue No. 15, p. 353–358. (in Russian)

**Шинкевич Олена Святославівна** – доктор технічних наук, завідувач кафедри процесів та апаратів у технології будівельних матеріалів Одеської державної академії будівництва та архітектури. Наукові інтереси: розвиток наукових основ отримання вапняно-кремнеземних композитів неавтоклавного твердження на основі ресурсо- і енергоощадних технологій.

**Шинкевич Елена Святославовна** – доктор технических наук, заведующий кафедрой процессов и аппаратов в технологии строительных материалов Одесской государственной академии строительства и архитектуры. Научные интересы: развитие научных основ получения известково-кремнеземистых композитов неавтоклавно-го твердения на основе ресурсо- и энергосберегающих технологий.

**Olena Shynkevych** – DSc (Eng.), the Chair of the Production Processes and Devices of Building Materials Department of the Odessa State Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: development of scientific bases of production of the calcareous and siliceous composites of non-autoclave hardening on the basis of resource-saving and energy-saving processes.