

УДК 691.175

**В. И. ВИННИЧЕНКО, А. Ю. КРОТ, Н. Ю. ВИЦЕНКО****ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ПРОИЗВОДСТВА СИЛИКАТНЫХ ИЗДЕЛИЙ**

Показано причины підвищеної енергосмності існуючих технологій виробництва пресованих силікатних виробів. Обґрунтовано проведення хімічних реакцій утворення гідросилікатів кальцію в одну стадію. При цьому буде використано тепло, яке виділяється реакціями, для утворення гідросилікатів. Досліджено поєднання механічної і хімічної активації для збільшення питомої поверхні суміші, істинної щільності і міцності на стиск сформованих зразків. Запропоновано нову енергозберігаючу технологію. Представлені порівняльні показники витрат енергетичних ресурсів за існуючою технологією і запропонованою.

**Ключові слова:** силікатні матеріали, цегла, гідросилікати кальцію, теплова енергія, механічна активація, хімічна активація, вапно, кварцовий пісок, попереднє гасіння, питома поверхня, дійсна густина, безавтоклавне твердіння.

Показаны причины высокой энергоёмкости существующих технологий производства прессованных силикатных изделий. Обосновано проведение химических реакций образования гидросиликатов кальция в одну стадию. При этом будет использовано выделяемое реакциями тепло для образования гидросиликатов. Исследовано совмещение механической и химической активации для увеличения удельной поверхности смеси, истинной плотности и прочности сформованных образцов. Предложена энергоэкономная технология. Представлены сравнительные показатели расхода энергетических ресурсов по существующей технологии и предлагаемой.

**Ключевые слова:** силикатные материалы, кирпич, гидросиликаты кальция, тепловая энергия, механическая активация, химическая активация, известь, кварцевый песок, предварительное гашение, удельная поверхность, истинная плотность, безавтоклавное твердение.

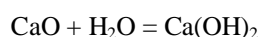
Was shown the reasons for the increased power consumption of the existing production technologies of pressed silicate products. It proves the correctness of carrying out chemical reactions of calcium Hydrosilicates formation in a single step. If the process is carried out in a single step, the heat that is released will be used for the formation of calcium silicate. In experiments combined mechanical activation with the chemical activation lime is not subjected to the preliminary damping. The effect of mechanical activation to the specific surface of the mixture, the density and strength of the obtained samples. A power-saving and resource-saving technology. Presents energy consumption figures for a final product on the Normal and technology offered. It is found that the quality of the existing bricks meets standards. It was shown that the deletion of thermal energy flow from outside into the process is possible to obtain a quality product.

**Keywords:** silicate materials, brick, calcium hydrosilicates, process, thermal energy, mechanical activation, chemical activation, lime, silica sand, lime-silica mixture, prequenching, specific surface area, true density, energy-saving technology, non-autoclave curing.

**Введение.** Среди стеновых строительных материалов кирпич традиционно занимает одно из ведущих мест. Причина кроется в целом наборе преимуществ, которыми он обладает: технологичность укладки, продолжительный срок службы, экологическая безопасность, высокая прочность, хорошие теплоаккумулирующие свойства, презентабельный внешний вид. Однако при производстве силикатного кирпича наиболее актуальна проблема снижения энергозатрат.

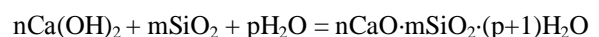
**Постановка проблемы.** В настоящее время изготовление силикатных изделий осуществляется с применением автоклавной тепловой обработки при твердении. В реально существующих технологиях тепловая энергия, которая выделяется при реакциях взаимодействия компонентов, напрасно теряется в окружающую среду. А процесс протекания химических реакций разделен на две стадии.

На первой стадии в отдельных агрегатах протекает экзотермическая реакция гашения извести



Тепло, которое выделяется, является утраченным для процесса потому, что смесь выдерживают до

окончания реакции, а потом ее транспортируют и за этот промежуток времени вся выделенная тепловая энергия теряется из материала в окружающую среду. Вторая стадия процесса – это использование в смеси гашеной извести и диоксида кремния для получения гидросиликатов кальция. Процесс осуществляют в автоклаве. А поскольку образование гидросиликатов кальция из гашеной извести и кварцевого песка – это эндотермический процесс, то на этой стадии подают извне тепловую энергию.



Тепловлажностная обработка в автоклаве является энергоёмким процессом, а поскольку стоимость энергетических ресурсов постоянно растет, то синтез силикатного кирпича становится нерентабельным. Основным решением этой проблемы при производстве силикатного кирпича является исключение автоклавной обработки изделий, как наиболее затратной статьи в себестоимости готовой продукции.

**Анализ литературных данных.** Большинство проводимых исследований посвящены повышению удельной поверхности песка – механическая актива-

ция [1] или химической активации при помощи добавок [2 – 6], причем, эти методы, как правило, не совмещают. Результатом исследований является создание энергосберегающей технологии за счет уменьшения времени автоклавной обработки или замены автоклава ямной пропарочной камерой.

**Теоретический подход.** Термодинамическим анализом установлено, что при осуществлении химических реакций в системе  $\text{Ca}(\text{OH})_2 - \text{SiO}_2 - \text{H}_2\text{O}$  образование таких гидросиликатов как тоберморит, риверсидит, афвиллит, ксонотлит и гиллебрандит возможно только при подводе энергии к системе [7], поскольку реакции являются эндотермическими. Применение негашеной извести вместо гашеной позволяет направить процесс образования этих гидросиликатов по экзотермическому принципу – они образуются с выделением тепла.

В результате теоретического анализа энергетики химических реакций образования гидросиликатов в системе  $\text{CaO} - \text{SiO}_2 - \text{H}_2\text{O}$ , показано, что ту тепловую энергию, которая выделяется при взаимодействии, можно применить в технологическом процессе без добавления энергии извне.

**Экспериментальные исследования.** При проведении экспериментальных исследований мы совместили механическую активацию с химической, а известь не подвергалась предварительному гашению. Смесь, которая состояла из кварцевого песка, негашеной извести и добавки, подвергали механической активации в активаторе.

Механическая активация ведёт к увеличению удельной поверхности всей смеси, изменению поверхностной структуры частиц, возникновению физических дефектов в подрешетках и решетках минералов, ускоряющих элементарные взаимодействия поверхностного слоя с водой [8]. Поэтому реакции образования гидросиликатов кальция протекают легче и быстрее. При обычном же смешении известь не покрывает равномерным слоем поверхность зерен мелкозернистого песка.

На рисунке 1 показана зависимость прочности образцов в трехсуточном возрасте при различном времени активации: 5, 6, 8, 10 и 11 мин. При этом изменялось процентное содержание извести и добавки.

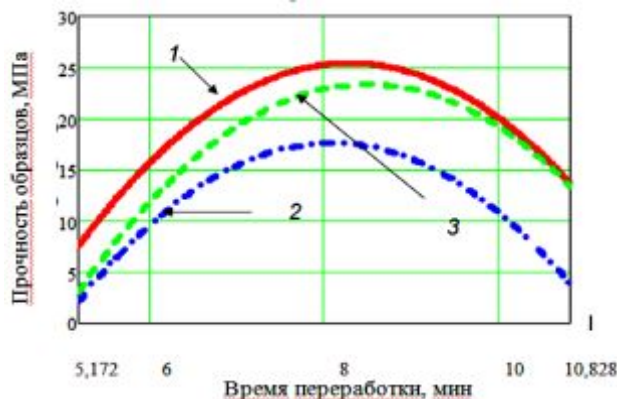
Наибольшее значение прочности около 25 МПа отмечено кривой под № 1 (при содержании извести и добавки шесть и восемь процентов соответственно).

Что касается длительности переработки, то следует отметить, что при активации в пять минут прочность составляла 7,5 МПа, при дальнейшей активации в шесть минут прочность увеличилась в два раза

(15 МПа).

При активации в восемь минут показания увеличились до 25 МПа и остались таковыми же и при девяти минутах.

После которых замечено снижение до 20 МПа при десяти минутах, а к одиннадцати до 14 МПа.



- 1 – при процентном содержании извести 6 % и добавки 8 %  
 2 – при процентном содержании извести 5 % и добавки 6 %  
 3 – при процентном содержании извести 7 % и добавки 10 %

Рис. 1 – Зависимость прочности на сжатие от времени переработки в возрасте 3-х суток для безавтоклавных образцов из силикатной смеси с добавкой

Удельная поверхность силикатной смеси определялась физическим способом методом воздухопроницаемости. Метод основан на зависимости сопротивления, оказываемого столбиком порошка прохождению через него воздуха, от величины суммарной поверхности зерен [9].

Исследовались такие смеси: обычная заводская силикатная смесь Купянского завода силикатных изделий и три смеси с добавкой фосфогипса, но с различным временем активации: 3, 7 и 20 минут.

Проводилось измерение удельной поверхности, истинной плотности смесей и прочности на сжатие.

Полученные данные приведены в таблице 1.

Удельная поверхность силикатной смеси без активации составляет  $320 \text{ см}^2/\text{г}$ , а плотность  $2,25 \text{ г}/\text{см}^3$ .

Воздействие активацией продолжительностью в 3 минуты увеличивает значение до  $413,38 \text{ см}^2/\text{г}$ , плотность при этом составляет  $2,47 \text{ г}/\text{см}^3$ .

Активация продолжительностью в 7 минут незначительно увеличивает удельную поверхность до  $416,72 \text{ см}^2/\text{г}$ , значение плотности:  $2,28 \text{ г}/\text{см}^3$ . Увеличение удельной поверхности до  $737,34 \text{ см}^2/\text{г}$  наблюдалось при активации в течении 20 минут, плотность составила  $2,34 \text{ г}/\text{см}^3$ .

Данные результаты показывают, что сама активация и ее продолжительность незначительно влияют на истинную плотность смеси, а удельная поверхность

увеличивается на 29 % при активации 3 мин, при 7 мин на 30 %, а при 20 мин на 130 %.

Таблица 1 – Влияние времени механической активации смеси

№ п/п	Вид силикатной смеси	Значение удельной поверхности смеси, см <sup>2</sup> /г	Значение истинной плотности, г/см <sup>3</sup>	Прочность при сжатии образцов в возрасте 7 суток, МПа
1	Обычная «заводская» силикатная смесь	320	2,25	15,0
2	Смесь с добавкой и активацией 3 мин	413	2,47	25,7
3	Смесь с добавкой и активацией 7 мин	416	2,28	26,0
4	Смесь с добавкой и активацией 20 мин	737	2,34	41,0

Прочность же образцов, сформованных из данных смесей прямо пропорционально зависит от удельной поверхности.

Проведенные исследования позволили получить силикатный строительный материал безавтоклавного твердения, который не уступает характеристикам обычного силикатного кирпича автоклавного твердения.

После семи суток твердения (время активации – 3 мин, количество извести в смеси – 5 %, содержание добавки в смеси – 10 %) при нормальных условиях получены образцы со следующими характеристиками: морозостойкость – F50; водопоглощение – 8 %; предел прочности при сжатии – 25 МПа; средняя плотность – 1650 кг/м<sup>3</sup>.

На основании результатов проведенных исследований предложена энергосберегающая и ресурсосберегающая технология.

Технологическая схема представлена на рисунке 2.

Со складов хранения материалы (известь, песок, добавка) транспортируются для взвешивания, причем количество извести и песка корректируется исходя из содержания активного СаО в извести.

Смесь поступает в бункер-накопитель, куда подается вода, в объеме, учитывающем влажность смеси.

Из бункера смесь подается в смесительное отделение, где производится тщательное перемешивание и активация.

Активированная смесь направляется в бункер пресса, где формируется сырец.

Прессованный кирпич-сырец автоматом-укладчиком пакуется на поддоны вагонеток и транспортируется на склад готовой продукции.



Рис. 2 – Технологическая схема

По сравнению с общепринятой технологией, представленная не требует такого оборудования как шаровая мельница; смеситель перед гашением известково-песчаной смеси и гасильный барабан, так как отсутствует операция гашения.

Энергоемкий и металлоемкий автоклав также отсутствует в технологической линии, поскольку отпадает необходимость в тепловлажностной обработке изделий при помощи пара.

Предлагаемая технология позволяет экономить материально-энергетические ресурсы при производстве прессованного неавтоклавного силикатного кирпича путем совместного применения механической и химической активации известково-кремнеземистой смеси.

**Основные преимущества разработанной технологии:** отличается от известных меньшими расходами топлива, сниженным расходом электроэнергии, пониженной металлоемкостью, полной безотходностью технологии, снижением выбросов парниковообразующих газов в атмосферу, уменьшением трудоемкости и производственной площади.

В технологической линии Куряжского завода силикатных изделий расход электроэнергии на 1 тысячу штук условного кирпича составляет – 40 кВт·час на 1000 шт, расход пара – 0,9 т. на 1000 шт.

В предлагаемом варианте расход пара нулевой, а расход электроэнергии 22 кВт·час на 1000 шт.

#### Выводы.

Выполнен анализ современного автоклавного производства прессованных силикатных изделий.

Показана нерациональность производства с точки зрения энергетических затрат.

Экспериментальными исследованиями подтвер-

ждена гипотеза о возможности перехода на одностадийный характер осуществления реакций образования гидросиликатов кальция из негашеной извести, кварцевого песка и добавки с использованием активации.

Установлено, что исключив подачу тепловой энергии извне в процесс, возможно получение качественного продукта за счет рационального подбора компонентов смеси, применения механической активации и использования внутреннего тепла химических реакций.

Приведены сравнительные характеристики энергозатрат существующей технологии и энергосберегающей.

#### Список литературы

1. Hint J. *Über den Wirkungsgrad der mechanischen Aktivierung. Einige Ergebnisse der Aktivierung von Feststoffen mittels grosser mechanischer Energien.* Zeitschrift "Aufbereitungs-Technik", 1971, No 2, pp. 3 – 10.
2. Shabanova G. N., Kiseleva S. A., Shabanov D. N. *Intensification of Phase Formation in the CaO – SiO<sub>2</sub> – H<sub>2</sub>O System.* 18 International Baustofftagung, Weimar, Bundesrepublik, Deutschland, 2012. Band 2, pp. 1248 – 1253.
3. Shinkevich E., Lutskin E., Tchesskii Yu., Bondarenko G. *Researches and mathematic modelling structure and properties of cellular silicate compositionc.* 2-nd International Symposium Non-Traditional Cement & Concrete, Brno University of Technology Publ., 2005, pp. 148 – 153.
4. Shinkevich E. Lutskin E. *The Influence of Structure Modification of Silicate Materials after Hardening in Non-autoclave Conditions on Their Coefficient of Heat Conductivity.* Proceeding of International Conference "Alkali Activated Materials – Research, Production and Utilization", Prague, 2007, pp. 621 – 635.
5. Hien Thi Thu HIEN, Takashi SHIRAI, Masayoshi FUJI. *Mechanical modification of silica powders.* Journal of the Ceramic Society of Japan, 2012, No 120, pp. 429 – 435.
6. Avvakumov E. G., Senna M., Kosova N. V. *Soft mechanochemical synthesis. A basis for new chemical technologies.* Kluwer Academic Publishers., Hardboun, The Netherlands, 2001, 216 p.
7. Vinnichenko V. Krot A., Vitsenko N. *Theoretical and experimental research into manufacturing of silicate products without thermal treatment.* Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. Technology organic and inorganic substances,

2016, Vol. 5, No 6(83), pp. 29 – 36.

8. Хинт Й. А. Опыт завода «Кварц» по дезинтеграторному способу подготовки сырья для производства силикатных изделий. – М.: Промстройиздат, 1952. – 12 с.
9. Буров Ю. С. Минеральные вяжущие вещества: лабораторный практикум / Ю. С. Буров, В. С. Колокольников. – М.: Стройиздат, 1974. – 180 с.

#### References (transliterated)

1. Hint J. *Über den Wirkungsgrad der mechanischen Aktivierung. Einige Ergebnisse der Aktivierung von Feststoffen mittels grosser mechanischer Energien.* Zeitschrift "Aufbereitungs-Technik", 1971, No 2, pp. 3 – 10.
2. Shabanova G. N., Kiseleva S. A., Shabanov D. N. *Intensification of Phase Formation in the CaO – SiO<sub>2</sub> – H<sub>2</sub>O System.* 18 International Baustofftagung, Weimar, Bundesrepublik, Deutschland, 2012. Band 2, pp. 1248 – 1253.
3. Shinkevich E., Lutskin E., Tchesskii Yu., Bondarenko G. *Researches and mathematic modelling structure and properties of cellular silicate compositionc.* 2-nd International Symposium Non-Traditional Cement & Concrete, Brno University of Technology Publ., 2005, pp. 148 – 153.
4. Shinkevich E. Lutskin E. *The Influence of Structure Modification of Silicate Materials after Hardening in Non-autoclave Conditions on Their Coefficient of Heat Conductivity.* Proceeding of International Conference "Alkali Activated Materials – Research, Production and Utilization", Prague, 2007, pp. 621 – 635.
5. Hien Thi Thu HIEN, Takashi SHIRAI, Masayoshi FUJI. *Mechanical modification of silica powders.* Journal of the Ceramic Society of Japan, 2012, No 120, pp. 429 – 435.
6. Avvakumov E. G., Senna M., Kosova N. V. *Soft mechanochemical synthesis. A basis for new chemical technologies.* Kluwer Academic Publishers., Hardboun, The Netherlands, 2001, 216 p.
7. Vinnichenko V. Krot A., Vitsenko N. *Theoretical and experimental research into manufacturing of silicate products without thermal treatment.* Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. Technology organic and inorganic substances, 2016, Vol. 5, No 6(83), pp. 29 – 36.
8. Hint J. A. *Opyt zavoda «Kvarts» po dezintegratornomu sposobu podgotovki syr'ya dlya proizvodstva silikatnykh izdeliy.* Moscow, Promstroyizdat, 1952, 12 p.
9. Burov Y. S., Kolokol'nikov V. S. *Laboratornyy praktikum po kursu mineral'nyye vyazhushchiye veshchestva.* Moscow, Stroyizdat, 1974, 172 p.

Поступила (received) 14.12.16

#### Бібліографічні описи / Библиографические описания / Bibliographic descriptions

**Енергозберігаюча технологія виробництва силікатних виробів / В. І. Вінниченко, О. Ю. Крот, Н. Ю. Віценко // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Хімія, хімічна технологія та екологія. – Х.: НТУ «ХПІ», 2016. – № 35 (1207). – С. 3 – 7. – Бібліогр.: 9 назв. – ISSN 2079-0821.**

**Энергосберегающая технология производства силикатных изделий / В. И. Винниченко, А. Ю. Крот, Н. Ю. Виценко // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Хімія, хімічна технологія та екологія. – Х.: НТУ «ХПІ», 2016. – № 35 (1207). – С. 3 – 7. – Бібліогр.: 9 назв. – ISSN 2079-0821.**

**Energy saving technology of production of silicate products / V. I. Vinnichenko, A. Y. Krot, N. Y. Vitsenko // Bulletin of NTU "KhPI". – Series: Chemistry, chemical technology and ecology. – Kharkov: NTU "KhPI", 2016. – No. 35 (1207). – P. 3 – 7. – Bibliogr.: 9 names. – ISSN 2079-0821.**

*Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors*

**Вінниченко Варвара Іванівна** – доктор технічних наук, професор, Харківський національний університет будівництва та архітектури, професор кафедри механізації будівельних процесів; тел.: (050) 167-97-05; e-mail: vvinnichenko@ukr.net.

**Винниченко Варвара Ивановна** – доктор технических наук, профессор, Харьковский национальный университет строительства и архитектуры, профессор кафедры механизации строительных процессов; тел.: (050) 167-97-05; e-mail: vvinnichenko@ukr.net.

**Vinnichenko Varvara Ivanovna** – Doctor of Technical Sciences, Full Professor, Kharkov National University of Civil Engineering and Architecture, Professor at the Department of mechanization of construction processes; tel.: (050) 167-97-05; e-mail: vvinnichenko@ukr.net.

**Крот Олександр Юлійович** – доктор технічних наук, доцент, Харківський національний університет будівництва та архітектури, професор кафедри механізації будівельних процесів; тел.: (057) 700-02-32; e-mail: tank\_tank@i.ua.

**Крот Александр Юльевич** – доктор технических наук, доцент, Харьковский национальный университет строительства и архитектуры, профессор кафедры механизации строительных процессов; тел.: (057) 700-02-32; e-mail: tank\_tank@i.ua.

**Alexander Krot Yul'evich** – Doctor of Technical Sciences, Docent, Kharkov National University of Civil Engineering and Architecture, Professor at the Department of mechanization of construction processes; tel.: (057) 700-02-32; e-mail: tank\_tank@i.ua.

**Виценко Наталія Юрійвна** – кандидат технічних наук, Придніпровська державна академія будівництва і архітектури, старший науковий співробітник кафедри технології будівельних матеріалів, виробів та конструкцій; тел.: (095) 789-21-07; e-mail: vitsenko.n@ukr.net.

**Виценко Наталья Юрьевна** – кандидат технических наук, Приднепровская государственная академия строительства и архитектуры, старший научный сотрудник кафедры технологии строительных материалов, изделий и конструкций; тел.: (095) 789-21-07; e-mail: vitsenko.n@ukr.net.

**Vitsenko Natalia Yur'evna** – Candidate of Technical Sciences (Ph. D.), Prydniprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture, Senior Research Officer at the Department of Technology of building materials, products and structures; tel.: (095) 789-21-07; e-mail: vitsenko.n@ukr.net.