

**Губская Алла Геннадьевна**, канд. техн. наук, заведующий научно-исследовательской лабораторией физико-химических и теплофизических исследований, ГП «Институт НИИСМ» (г. Минск, Беларусь)

**Воловик Татьяна Валерьевна**, инженер, научно-исследовательская лаборатория физико-химических и теплофизических исследований, ГП «Институт НИИСМ» (г. Минск, Беларусь)

**Гапотченко Анжелика Петровна**, инженер, научно-исследовательская лаборатория физико-химических и теплофизических исследований, ГП «Институт НИИСМ» (г. Минск, Беларусь)

**Горбач Ирина Никитична**, инженер, научно-исследовательская лаборатория физико-химических и теплофизических исследований, ГП «Институт НИИСМ» (г. Минск, Беларусь)

## **УТИЛИЗАЦИЯ ОТХОДОВ ГОМЕЛЬСКОГО ХИМИЧЕСКОГО ЗАВОДА С ПОЛУЧЕНИЕМ ТОВАРНОЙ ПРОДУКЦИИ**

© РУП «Институт БелНИИС», 2019  
Institute BelNIIS RUE, 2019

### **АННОТАЦИЯ**

*Статья посвящена актуальной проблеме переработки техногенных отходов, образующихся на ОАО «Гомельский химический завод». Одним из видов многотоннажных отходов является фосфогипс – отход производства экстракционной фосфорной кислоты. Авторы приводят результаты исследований получения искусственного гипсового камня на основе нейтрализованного фосфополугидрата сульфата кальция – отхода производства экстракционной фосфорной кислоты – полугидратным способом. На основе экспериментальных данных установлена возможность замены импортного природного гипсового камня искусственным на основе фосфополугидрата сульфата кальция при производстве цемента на основе клинкеров белорусских цементных заводов и его влияния на гидратацию клинкерных минералов. Авторами рассмотрены результаты исследований еще одного вида техногенных отходов,*

образуемых на ОАО «Гомельский химический завод» – кремнегеля, являющегося отходом производства фтористого алюминия. Сдерживающим фактором, ограничивающим его использование, является высокая влажность, достигающая 70 %. В статье приводятся результаты исследований получения на основе кремнегеля естественной влажности натрий- или калий-силикатного связующего, являющегося аналогом жидкого стекла. Показана возможность получения натрий- или калий-силикатного связующего безварочным способом, что позволяет значительно сократить энергозатраты на технологический процесс за счет исключения стадии варки силикат-глыбы, которая является обязательной в традиционной технологии получения жидкого стекла (натриевого или калиевого). Авторы приводят результаты исследований, показывающие возможность получения на основе натрий- или калий-силикатного связующего на основе кремнегеля окрасочных покрытий для силикатного кирпича. В качестве красителей при проведении исследований использовали минеральные пигменты на основе оксидов железа: желтый железистый и красный железистый и их сочетание. Установлено, что получаемое окрасочное покрытие является морозо- и атмосферостойким.

**Ключевые слова:** искусственный гипсовый камень на основе фосфополугидрата, цемент, кремнегель, жидкое стекло, силикатный кирпич, окрасочное покрытие.

**Для цитирования:** Губская, А. Г. Утилизация отходов Гомельского химического завода с получением товарной продукции / А. Г. Губская, Т. В. Воловик, А. П. Гапотченко, И. Н. Горбач // Проблемы современного бетона и железобетона : сб. науч. тр. / Ин-т БелНИИС; редкол.: О. Н. Лешкевич [и др.]. – Минск, 2019. – Вып. 11. – С. 89–107. <https://doi.org/10.35579/2076-6033-2019-11-07>

**Alla Gubskaya**, PhD in Engineering Science, Head of the Research Laboratory of Physicochemical and Thermophysical Research, State Enterprise «Institute of Building Materials» (Minsk, Belarus)

**Tatiana Volovik**, Engineer, Research Laboratory of Physicochemical and Thermophysical Research, State Enterprise «Institute of Building Materials» (Minsk, Belarus)

**Angelica Gapotchenko**, Engineer, Research Laboratory of Physicochemical and Thermophysical Research, State Enterprise «Institute of Building Materials» (Minsk, Belarus)

**Irina Gorbach**, Engineer, Research Laboratory of Physicochemical and Thermophysical Research, State Enterprise «Institute of Building Materials» (Minsk, Belarus)

## **UTILIZATION OF WASTES OF GOMEL CHEMICAL PLANT WITH RECEIPT OF COMMODITY PRODUCTS**

### **ABSTRACT**

*The article is devoted to the actual problem of processing of man-made waste generated by JSC “Gomel chemical plant”. One of the many types of tonnage of waste is phosphogypsum – waste production of wet-process phosphoric acid. The authors present the results of studies of artificial gypsum-based neutralized factological calcium sulphate – waste production of wet-process phosphoric acid by the hemihydrate method. On the basis of the experimental data revealed the possibility of replacing imported natural gypsum artificial stone on the basis of phosphopantothenate of calcium sulfate in the production of cement based on clinkers Belarusian cement plants and its impact on the hydration of clinker minerals. The authors consider the results of studies of another type of man-made waste generated by JSC “Gomel chemical plant” - silica gel, which is a waste of aluminum fluoride production. The limiting factor for its use is high humidity, which reaches 70 %. The article presents the results of studies on the basis of silica gel natural moisture sodium - or potassium-silicate binder, which is an analogue of liquid glass. The possibility of obtaining sodium - or potassium-silicate binder in a non-welding way, which can significantly reduce the energy consumption of the process by eliminating the stage of cooking silicate, which is mandatory in the traditional technology of producing liquid glass (sodium or potassium). The authors present the results of studies showing the possibility of obtaining on the basis of sodium - or*

*potassium-silicate binder based on silica gel paint coatings for silicate bricks. Mineral pigments based on iron oxides: yellow iron oxide and red iron oxide and their combination were used as dyes in the research. It is established that the resulting coating is frost-and weather-resistant.*

**Keywords:** artificial gypsum-based phosphopantothenate, cement, the silica gel, water glass, silicate bricks, paint coating.

**For citation:** Gubskaya A., Volovik T., Gapotchenko A., Gorbach I. Utilization of wastes of Gomel chemical plant with receipt of commodity products. *Contemporary Issues of Concrete and Reinforced Concrete: Collected Research Papers*. Minsk. Institute BelNIIS. Vol. 11. 2019. pp. 89–107. <https://doi.org/10.35579/2076-6033-2019-11-07> (in Russian)

## **ВВЕДЕНИЕ**

Развитие промышленного производства неизбежно приводит и к увеличению объема техногенных отходов. Такая тенденция характерна для большинства развитых стран, включая Республику Беларусь. Накопление промышленных отходов приводит к нарушению экологического равновесия и загрязнению окружающей среды из-за образования отвалов, свалок, шламохранилищ и, как следствие, увеличению выбросов в окружающую среду.

Именно такая проблема характерна для г. Гомеля. За время работы Гомельского химического завода в отвалах скопилось более 14 млн т отходов, в основном фосфогипса, и их количество продолжает постоянно увеличиваться. В настоящее время под отвалы занята территория площадью более 70 га. По результатам исследований Гомельского университета район хвостохранилища характеризуется высоким уровнем загрязнения грунтовых вод. Под цехами завода и отвалами сформировалась единая зона загрязнения до 7 квадратных километров, представленная сильноминерализованными водами (общее солесодержание от 8 до 31,5 г/л) с превышающими ПДК значениями по фтор-, фосфат- и сульфат-ионам. Отмечается загрязнение II и III водоносных эксплуатируемых горизонтов на глубине до 40 м. Происходит загрязнение и воздушной среды.

Из вышеизложенного видна важность утилизации техногенных отходов для улучшения экологической обстановки в г. Гомеле.

Государственным предприятием «Институт НИИСМ» совместно с ОАО «Гомельский химический завод» проведены исследования по разработке технологий переработки наиболее крупнотоннажных отходов, образуемых на заводе: фосфогипса – отхода производства экстракционной фосфорной кислоты – и кремнегеля – отхода производства фтористого алюминия – с целью использования в производстве строительных материалов.

### **1. ЗАМЕНА ПРИРОДНОГО ГИПСОВОГО КАМНЯ ИСКУССТВЕННЫМ НА ОСНОВЕ ФОСФОЛУГИДАТА ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ ЦЕМЕНТА**

Основным видом сырья для производства строительных конструкций, используемых в массовом домостроении, был и остается портландцемент. Увеличение объемов производства цемента, обусловленное увеличением темпов строительства, неизбежно приводит к увеличению объемов необходимых для его производства сырьевых материалов, в частности, гипсового камня. Гипсовый камень применяется в основном в качестве регулятора сроков схватывания цемента и вводится в его состав путем совместного помола с клинкером. Согласно ГОСТ 10178-85 «Портландцемент и шлако-портландцемент. Технические условия», содержание гипса в цементе не должно превышать 4 % (в пересчете на серный ангидрид), что соответствует 8,6 % гипсового камня ( $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ). При производстве высокомарочных цементов с удельной поверхностью 350–400 м<sup>2</sup>/кг оптимум гипса оценивается величиной 4,5–6 % по серному ангидриду или 13 % по  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ .

В Республике Беларусь природный гипсовый камень не добывается. Единственное разведанное месторождение природного гипсового камня расположено в Петриковском районе Гомельской области. Глубина залегания кровли гипсоносной толщи – 152,460,3 м, в среднем – 112,9 м. Гипсоносная толща представлена чередующимися слоями гипса, гипсово-ангидритовой

породы, карбонатных глин и мергелей с прослоями известняков, доломитов, реже песчаников и алевритов. Сложность залегания гипсоносной породы и, как следствие, большие расходы на разработку месторождения не позволяют надеяться на быстрый ввод карьера по добыче природного гипсового сырья.

В настоящее время весь объем гипсового камня, необходимый для производства портландцемента, импортируется. Основными поставщиками гипсового сырья являются организации, расположенные на территории Украины, Молдавии и России. Поэтому для обеспечения объемов выпуска цемента актуальным является вовлечение в переработку гипсосодержащих отходов, имеющих на территории республики, с целью покрытия потребностей цементной промышленности в гипсовом камне. Из гипсосодержащих отходов наиболее перспективным является фосфогипс – отход производства экстракционной фосфорной кислоты на ОАО «Гомельский химический завод».

В Европе при производстве цемента широко используется REA – гипс, получающийся при очистке отходящих газов ТЭЦ от серосодержащих примесей. Фосфогипс используется в меньших объемах. Наиболее стабильную поставку фосфогипсового камня на цементные заводы осуществляет фирма ПРАЙОН со своего завода в г. Анжи (Бельгия).

В зависимости от условий получения экстракционной фосфорной кислоты отход ее производства – фосфогипс – может быть получен в виде дигидрата сульфата кальция ( $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ) (дигидратный процесс) или полугидрата сульфата кальция ( $\text{CaSO}_4 \cdot 0,5\text{H}_2\text{O}$ ) (полугидратный процесс). Основными факторами, сдерживающими широкое использование фосфогипса в цементной промышленности, являются примеси фосфатов и фторидов, оказывающих негативное влияние на твердение портландцемента, а также необходимость кондиционирования отходов для обеспечения перевозки, хранения и ввода в портландцемент [1–3].

В настоящее время на ОАО «Гомельский химический завод» проведена реконструкция с переходом переработки фосфорного сырья на полугидратный процесс. В результате получаемый фосфогипс-полугидрат будет схватываться и твердеть за счет

присутствующей в нем физической (свободной) влаги, приобретаемая прочность, необходимую для его транспортирования. Для связывания примесей предусмотрен ввод нейтрализующего реагента – порошкообразной гидратной извести. Твердение фосфополугидрата происходит в буртах в уплотненном состоянии.

Исследования показывают, что во время хранения нейтрализованного фосфополугидрата происходит связывание водорастворимых фосфорных и фтористых соединений. Наиболее активно этот процесс происходит для водорастворимых фосфорных соединений: к 14 суткам все водорастворимые фосфаты переходят в трехзамещенный фосфат кальция. Полного связывания водорастворимых фторидов при твердении не происходит, однако их содержание снижается в несколько раз (таблица 1).

Таблица 1

**Свойства фосфополугидрата сульфата кальция**

Компоненты	Содержание, % по массе	
	Исходный фосфополугидрат	Искусственный гипсовый камень на основе фосфополугидрата
рН	3,4	7,35
Влажность	17,17	7,66
P2O5 общ.	0,91	0,87
P2O5 водораствор.	0,43	Не обнаружен
F общ.	0,384	0,382
F водораствор.	0,0696	0,00295

Одновременно со связыванием водорастворимых фторидов и фосфатов при хранении происходит уплотнение и упрочнение структуры искусственного гипсового камня на основе фосфополугидрата, прочность которого становится сопоставима с прочностью природного гипсового камня (таблица 2, рисунок 1).

**Прочность гипсового камня**

Вид материала	Время твердения, сут.	Предел прочности при сжатии, МПа
Природный гипсовый камень	-	15,5
Искусственный гипсовый камень на основе фосфополугидрата	14	6,6
	30	9,8
	45	14,9

**Рисунок 1.** Структура искусственного гипсового камня на основе фосфополугидрата

Искусственный гипсовый камень на основе фосфополугидрата должен соответствовать требованиям ТУ ВУ 400069905.047–2019 «Искусственный гипсовый камень. Технические условия» (таблица 3).

**Требования к искусственному гипсовому камню на основе фосфополугидрата**

Наименование показателя	Значение
Содержание основного вещества – дигидрата сульфата кальция ( $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ), %, не менее	90
Общее содержание фосфатов в пересчете на $\text{P}_2\text{O}_5$ , %, не более, в том числе	0,8
содержание водорастворимых фосфатов	Не допускается
Общее содержание фтора, %, не более, в том числе	0,40
содержание водорастворимого фтора (фтор-иона), %, не более	0,005
Активность водородных ионов (рН)	От 7,0 до 8,0



Исследования влияния фосфогипса на физико-механические свойства цемента проводятся уже на протяжении более 50 лет, однако единого мнения о его влиянии на механизм твердения цемента до сих пор не выработано.

Механизм влияния на сроки схватывания цемента как природного гипсового камня, так и фосфогипса одинаковы, поскольку основной их кристаллической фазой является  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ . Однако примеси, содержащиеся в фосфогипсе, могут влиять на процессы твердения и прочностные характеристики цемента.

Ряд исследователей считает, что растворимые фосфаты, содержащиеся в фосфогипсе, замедляют схватывание и процесс роста прочности. Растворимые фториды, наоборот, ускоряют схватывание, но снижают плотность и прочность образцов. Установлено, что степень гидратации алита, белита и алюмината кальция в фосфорсодержащих цементах значительно ниже в первые часы их взаимодействия с водой, чем у обычного цемента при прочих равных условиях [1, 4, 5]. В результате непосредственной близости от поверхности гидратирующихся цементных зерен образуются малорастворимые фосфаты, которые подобно гидросульфоалюминату блокируют цементные зерна. Влияние фосфора на физико-механические свойства цемента определяется влиянием состава оболочки, содержащей фосфаты кальция, на скорость и степень гидратации цемента. Оно будет тем больше, чем больше фосфатов в составе экранирующих оболочек, и зависит от содержания фосфорсодержащих фаз в клинкере, растворимых в щелочной жидкой фазе цементноводной суспензии. При гидратации фосфорсодержащих цементов, изготовленных с добавкой гипса, экранирующие оболочки на цементных зернах складываются как гидросульфоалюминатами, так и фосфатами кальция. Чем больше в цементе  $\text{P}_2\text{O}_5$ , тем позже наступает разрушение этих оболочек, что и является причиной понижения ранней прочности фосфорсодержащих цементов [5–7].

В Государственном предприятии «Институт НИИСМ» проведены исследования влияния искусственного гипсового камня на основе нейтрализованного фосфополугидрата на твердение цемента. Исследования проведены на клинкерах ОАО «Белорусский цементный завод» и ОАО «Кричевцементношифер» (таблица 4).

**Влияние замены природного гипсового камня искусственным на основе фосфополугидрата сульфата кальция на прочность цемента**

Замена природного гипсового камня искусственным, %	Удельная поверхность цемента, см <sup>2</sup> /г	Прочность образцов в возрасте 2 сут., МПа		Прочность образцов в возрасте 28 сут., МПа		Класс цемента
		Ризг	Рсж	Ризг	Рсж	
Клинкер ОАО «Кричевцементношифер»						
0	3306	5,4	25,5	8,4	53,3	класс 52,5Н
50	3237	5,0	24,1	7,9	50,9	класс 42,5Н
75	3280	5,2	26,0	7,9	52,8	класс 52,5Н
100	3185	4,9	24,0	8,1	52,7	класс 52,5Н
Клинкер ОАО «Белорусский цементный завод»						
0	3317	5,5	28,0	8,3	52,9	класс 52,5Н
50	3284	5,9	26,7	7,8	52,5	класс 52,5Н
75	3286	6,2	28,1	8,0	51,7	класс 52,5Н
100	3197	6,1	27,7	9,1	52,5	класс 52,5Н

Результаты рентгенофазового анализа показывают, что замена природного гипсового камня искусственным на основе фосфополугидрата сульфата кальция не приводит к изменению количественного и качественного состава новообразований. Уже с ранних сроков твердения (2 суток) на дифрактограммах цементов с использованием природного гипсового камня и искусственного на основе фосфополугидрата отчетливо видны отражения гидросиликатов кальция:

$C_5S_2H - Ca_5(SiO_4)_2(OH)_2$  d/n = 3,07; 2,85; 2,80; 2,20; 1,83 ... А°;  
 $C - S H (II) (1.5-2)CaO SiO_2 (1-4)H_2O$  d/n = 3,346; 3,04; 2,91; 2,818; 2,78; 2,20; 2,05; 1,689; 1,537 ... А°;

$C_2SH - Ca_2SiO_4 \cdot H_2O$  – гиллебрандита d/n = 3,34; 2,1; 2,82; 2,77; 2,63; 2,05; 1,92 ... А°.

Количество новообразований увеличивается со сроком твердения, при этом интенсивность линий соответствующих минералов при замене природного гипсового камня искусственным практически не изменяется. Это подтверждает данные

физико-механических испытаний цементов, приведенные в таблице 4.

На основании проведенных исследований установлена возможность замены 100 % природного гипсового камня искусственным на основе фосфополугидрата сульфата кальция при сохранении физико-технических свойств цемента.

## 2. ТЕХНОЛОГИЯ ПОЛУЧЕНИЯ НАТРИЙ-СИЛИКАТНОГО СВЯЗУЮЩЕГО БЕЗВАРОЧНЫМ СПОСОБОМ ИЗ КРЕМНЕГЕЛЯ

Побочным продуктом производства фтористого алюминия на ОАО «Гомельский химический завод» является кремнегель (рисунок 2), который в настоящее время практически не используется и вывозится в отвалы, загрязняя окружающую среду. В значительной степени это связано с высокой влажностью кремнегеля (около 70 %), а также наличием примесей, в основном фторида алюминия. Содержание основного вещества – оксида кремния  $\text{SiO}_2$  – в кремнегеле колеблется в пределах 85–90 %. Химический состав кремнегеля представлен в таблице 5, а его структура на рисунке 2.

Таблица 5

### Химический состав кремнегеля

Оксиды	Содержание оксидов, % по массе
$\text{SiO}_2$	82,92–90,45
$\text{Al}_2\text{O}_3$	1,55–1,94
$\text{Fe}_2\text{O}_3$	0,06–0,11
$\text{TiO}_2$	0,08–0,10
$\text{P}_2\text{O}_5$	0–0,01
CaO	0,95–1,04
MgO	0,65–0,74
SO <sub>3</sub>	0,30–0,39
П.п.п.	5,15–7,13
$\text{Na}_2\text{O}$	0,10–0,16
$\text{K}_2\text{O}$	0–0,01
F	1,20–1,28
влажность	63,61–69,96



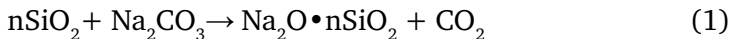
**Рисунок 2.** Структура кремнегеля

Высокое содержание основного вещества – диоксида кремния ( $\text{SiO}_2$ ) – в кремнегеле дает основание использовать его в качестве основного компонента для получения силикатного связующего, являющегося аналогом жидкого стекла.

Впервые жидкое стекло получил в 1818 году немецкий химик и минеролог Ян Непомук фон Фукс действием щелочей на кремневую кислоту.

В настоящее время основным способом производства жидкого стекла, реализуемым в промышленных масштабах, является варка стекла – силикат-глыбы – и ее растворение. При этом в качестве основного компонента для получения жидкого стекла используется кварцевый песок, так же, как и кремнегель, содержащий в качестве основного вещества диоксид кремния.

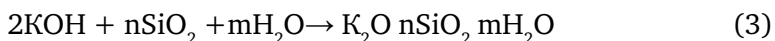
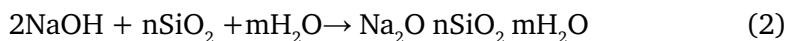
Силикатообразование происходит при температуре 1300–1350 °С по реакции (1):



Получение же самого жидкого стекла осуществляется в автоклаве при давлении 1 атм. На производство 1 т силикат-глыбы необходимо 230 кг у. т. Однако практический расход топлива составляет 410–430 кг у. т.

При проведении исследований в Государственном предприятии «Институт НИИСМ» была реализована идея Яна Непомук фон

Фукса путем прямой реакции силикатообразования кремнегеля со щелочами по реакциям (2) и (3):



Кремнегель при проведении экспериментальных работ использовали с естественной влажностью (66–69 %), что позволило использовать свойство мелкодисперсных материалов – способность тиксотропно разжижаться, – которое сопровождается увеличением текучести: переходом материала из сыпучего состояния в вязкую суспензию.

В качестве щелочесодержащих компонентов можно использовать гранулированные гидроксид натрия или гидроксид калия. Однако их высокая стоимость будет негативно влиять на стоимость готового продукта. Поэтому при проведении экспериментальных работ нами были использованы растворы щелочей (NaOH и KOH), образуемые в качестве побочного продукта ОАО «Беларуськалий», с концентрацией 37–39 %.

Экспериментально установлено, что оптимальная температура, при которой происходит реакция силикатообразования, составляет (90–95) °С. При уменьшении температуры увеличивается время, необходимое для протекания реакции, при увеличении могут происходить процессы коагуляции, ухудшающие качество готового продукта.

Сравнительный анализ традиционной технологии получения жидкого стекла и безварочной технологии на основе кремнегеля приведен в таблице 6.

По физико-техническим свойствам полученное натрий(калий)-силикатное связующее близко к жидкому стеклу, получаемому по традиционной технологии путем варки силикат-глыбы и ее растворения. Однако использование в качестве основного компонента техногенных отходов, а также его получение по технологии с низкими энергозатратами позволяет значительно снизить стоимость продукта.

**Сравнительный анализ традиционной технологии  
получения жидкого стекла и безварочной технологии  
на основе кремнегеля**

Наименование сырья		Продукт	Энергозатраты
<b>I. Традиционная технология получения жидкого стекла</b>			
1.1	Песок кварцевый	Силикат-глыба	430 кг у. т.
1.2	Сода		
1.3	Вода		
1.4	Силикат-глыба	Жидкое стекло	14–18 кг у. т.
<b>II Безварочная технология получения натрий(калий)-силикатного связующего на основе кремнегеля</b>			
2.1	Кремнегель	Натрий(калий)-силикатное связующее	17–18 кг у. т.
2.2	Натрия (калия) гидроксид		
2.3	Вода		
2.1	Кремнегель		

Экономически целесообразно использование полученного на основе кремнегеля натрий(калий)-силикатного связующего не в качестве жидкого стекла, а для получения других видов строительных материалов, в частности, окрашивающих покрытий.

**3. ТЕХНОЛОГИЯ ПОЛУЧЕНИЯ ОКРАСОЧНЫХ СОСТАВОВ ДЛЯ  
СИЛИКАТНОГО КИРПИЧА ИЗ НАТРИЙ(КАЛИЙ)-СИЛИКАТНОГО  
СВЯЗУЮЩЕГО НА ОСНОВЕ КРЕМНЕГЕЛЯ**

Силикатный кирпич получил по-настоящему широкое распространение в конце XX столетия. Новый виток развитию силикатного кирпича дало применение различных технологий его окрашивания в массе щелочестойкими пигментами. Существует еще один способ окраски силикатного кирпича, который до последнего времени еще не нашел широкого применения – поверхностный. Для окраски силикатного кирпича рекомендуют использовать силикатные и цементные краски. В качестве связующего в

силикатных красках используют натриевое или калиевое жидкое стекло с различным модулем [8].

В Государственном предприятии «Институт НИИСМ» были проведены исследования по разработке технологии поверхностного нанесения окрашивающего покрытия на силикатный кирпич. В качестве связующего использовали натрий(калий)-силикатное связующее с низким модулем ( $M=1,5$ ). Плотность натрий-силикатного связующего –  $1,35-1,45 \text{ г/см}^3$ .

Для увеличения стойкости окрашенной поверхности к механическому воздействию в состав окрасочного покрытия необходимо вводить наполнитель. Основным же требованием к наполнителю является его высокая паропроницаемость, значение которой должно быть выше, чем паропроницаемости самого силикатного кирпича. Именно такими свойствами обладает ячеистый бетон. Как правило, на заводах, производящих силикатный кирпич, осуществляется выпуск и ячеистого бетона. Поэтому для получения наполнителя для окрашивающих покрытий для силикатного кирпича можно использовать молотый брак (бой) изделий. Экспериментально установлено, что дисперсность частиц ячеистого бетона не должна превышать  $250 \text{ мкм}$ . При увеличении величины зерен наблюдается расслаивание: наполнитель всплывает на поверхности связующего. Уменьшение тонины наполнителя неизбежно приведет к увеличению энергозатрат на его получение.

Из-за высокого значения рН окрасочного покрытия на основе натрий(калий)-силикатного связующего (12 и более единиц рН) в качестве пигментов возможно использовать только минеральные красители.

Экспериментально установлена возможность нанесения окрашивающего покрытия на силикатный кирпич методом распыления.

Глубина впитывания в тело силикатного кирпича составляет до  $3 \text{ мм}$ . Нанесение на поверхность второго окрашивающего слоя увеличивает яркость покрытия.

На рисунке 3 показана фактура поверхности силикатных материалов, окрашенных составами на основе натрий(калий)-силикатного связующего из кремнегеля. Свойства образцов приведены в таблице 7.

## Свойства образцов окрашенного силикатного кирпича

Показатели	Вид окрашивающего покрытия			Нормируемое значение показателя
	краска фасадная акриловая «Полицвет» водно-дисперсионная ВД-АК-11	на основе натрий-силикатного связующего из кремнегеля	на основе калий-силикатного связующего из кремнегеля	
Прочность сцепления окрашивающего покрытия с основанием, МПа	0,9	1,5	1,8	Не менее 0,6
Паропроницаемость силикатного кирпича с окрашивающим покрытием, мг/(м <sup>2</sup> •ч•Па)	0,006 7 %	0,067 75 %	0,068 76 %	Не менее 70 % от основания
Условная светостойкость покрытия (изменение коэффициента диффузного отражения), %	5,0	4,9	4,6	Не более 5,0
Морозостойкость, цикл.	3	50	50	Не менее 50

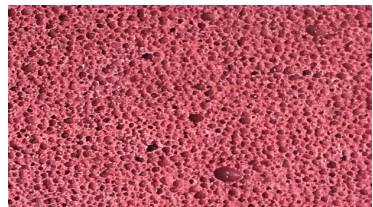


Рисунок 3. Фактура поверхности силикатных материалов

На основании результатов экспериментальных исследований установлена возможность получения окрашивающих покрытий



для силикатного кирпича на основе натрий(калий)-силикатного связующего из кремнегеля.

## **ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

Исследования, проведенные в Государственном предприятии «Институт НИИСМ», позволили установить возможность вовлечения в производство техногенных отходов, образуемых на ОАО «Гомельский химический завод». Установлена возможность замены 100 % импортного природного гипсового камня искусственным на основе фосфополугидрата сульфата кальция при сохранении физико-технических свойств цемента.

Разработана технология получения натрий(калий)-силикатного связующего безварочным способом на основе кремнегеля – отхода производства фтористого алюминия. По физико-техническим свойствам полученное связующее близко к жидкому стеклу, выпускаемому по традиционной технологии путем варки силикат-глыбы и ее растворения. Однако использование в качестве основного компонента техногенных отходов, а также его получение по технологии с низкими энергозатратами позволяет значительно снизить стоимость готового продукта.

На основании результатов экспериментальных исследований установлена возможность получения окрашивающих покрытий для силикатного кирпича на основе натрий(калий)-силикатного связующего из кремнегеля.

## **СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ**

1. Фосфогипс и его использование / В. В. Иваницкий, П. В. Классен, А. А. Новиков, С. Н. Стонис, С. Д. Эвенчик, М. Е. Яковлева; под ред. С. Д. Эвенчика, А. А. Новикова. – М: Химия, 1990. – 224 с.
2. Кержнер, А. М. Производственные и экологические аспекты использования фосфогипса в настоящее время / А. М. Кержнер, В. А. Терсин, М. А. Трошин, Е. Е. Нартова // Сб. докл. конф. РГА (Российская гипсовая ассоциация). – М., 2005. – С. 49–52.

3. Кочеткова, Р. Г. Вопросы экологии и ресурсосбережения при использовании в строительстве техногенных грунтов, содержащих фосфолугидрат сульфата кальция / Р. Г. Кочеткова // Строительные материалы, оборудование, технологии XXI века. – № 8. – 2003. – С. 22–24.
4. Султанходжаев, М. А. Исследование процессов гидратации и твердения специальных цементов / М. А. Султанходжаев, А. Ахмедов // Сб. науч. тр. ВНИИцемента. – М., 1980. – С. 91–108.
5. Васильев, А. В. Использование фосфогипса для регулирования сроков схватывания цемента / А. В. Васильев // Цемент. – 1974. – №4. – С. 13–14.
6. Бекмуратова, М. Г. Процессы схватывания и твердения цементов с фосфогипсом и золошлаками с дополнительной добавкой глиежа / М. Г. Бекмуратова, Н. Х. Талипов, Т. А. Атакузиев // Композиционные материалы. – 2009. – № 4. – С. 4–7.
7. Стануленис, О. М. Использование фосфогипса при производстве цемента / О. М. Стануленис, К. И. Саснаускас, Л. В. Урбонас // Цемент. – 1987. – № 2. – С. 18–19.
8. Климанова, Е. А. Силикатные краски / Е. А. Климанова, Ю. А. Барщевский, И. Я. Жилкин. – М. : Стройиздат, 1986. – 85 с.

Статья поступила: 18.11.2019

## REFERENCES

1. Ivanitskiy V., Klassen P., Novikov A., Stonis S., Evenchik S. *Fosfogips i yego ispolzovaniye* [Phosphogypsum and its use]. Moscow: «Chemistry», 1990. 224 p. (rus)
2. Kerzner A., Tersin V.A., Troshin M.A., Nartova E.E. *Sb. Dokl. Conf. RGA (Russian Gypsum Association)*. 2005. pp. 49–52. (rus)
3. Kochetkova R. G. *Construction materials, equipment, technologies of the XXI century*. 2003. No. 8. pp. 59–52. (rus)

4. Sultankhodzhaev M. A., Akhmedov A. *Collection of scientific papers of the All-Union Research Institute of Cement*. 1980. pp. 91–108. (rus)
5. Vasilev A.V. *Cement*. 1974. No. 4. pp. 13–14. (rus)
6. Bekmuratova G. M., Talipov N. H., Atakuziev T.A. *Composite materials*. 2009. No. 4. pp. 4–7. (rus)
7. Stanulonis O. M, Sasnauskas K. I., Urbonas, L. V. *Cement*. 1987. No. 2. pp. 18–19. (rus)
8. Klimanova E. A. *Silikatnyye kraski* [Silicate paint]. Moscow: «Stroyizdat», 1986. 85 p. (rus)

*Received: 18.11.2019*