

**ИЗВЕСТИЯ  
ВЫСШИХ  
УЧЕБНЫХ  
ЗАВЕДЕНИЙ**



**СТРОИТЕЛЬСТВО**

**6  
2017**

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ  
И НАУКИ РФ  
МЕЖДУНАРОДНАЯ ОБЩЕСТВЕННАЯ  
ОРГАНИЗАЦИЯ СОДЕЙСТВИЯ РАЗВИТИЮ  
СТРОИТЕЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ

**ИЗВЕСТИЯ ВЫСШИХ  
УЧЕБНЫХ ЗАВЕДЕНИЙ**

# СТРОИТЕЛЬСТВО

**№ 6 (702)**  
Июнь 2017 г.

**Научно-теоретический журнал**  
**Издается с марта 1958 г.**  
**Выходит один раз в месяц**

---

## РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

В.Н. Азаров, д-р техн. наук, проф., ВГТУ, Волгоград  
А.А. Афанасьев, чл.-кор. РААСН, д-р техн. наук, проф., НИУ МГСУ, Москва  
А.А. Волков, чл.-кор. РААСН, д-р техн. наук, проф., НИУ МГСУ, Москва  
В.А. Воробьев, чл.-кор. РААСН, д-р техн. наук, проф., МАДГТУ (МАДИ), Москва  
В.Г. Гагарин, чл.-кор. РААСН, д-р техн. наук, проф., НИИСФ, Москва  
М.А.о. Гаджиев, д-р техн. наук, проф., АУАС, Баку, Азербайджан  
У. Гайсбауэр, д-р – инж., Институт аэрогазодинамики, Университет Штутгарта, Германия  
В.В. Дегтярев, д-р техн. наук, проф., НГАСУ (Сибстрин), Новосибирск  
Й. Деспотович, PhD, проф., Университет Белграда, Сербия  
В.Т. Ерофеев, акад. РААСН, д-р техн. наук, проф., НИ МордГУ им. Н.П. Огарева, Саранск  
Г.В. Есаулов, акад. РААСН, д-р архитектуры, проф., МАРХИ, Москва  
В.И. Жаданов, д-р техн. наук, проф., ОГУ, Оренбург  
М. Иветич, PhD, проф., Университет Белграда, Сербия  
В.А. Игнатъев, д-р техн. наук, проф., ВГТУ, Волгоград  
В.И. Колчунов, акад. РААСН, д-р техн. наук, проф., Юго-ЗапГУ, Курск  
В.И. Костин, д-р техн. наук, проф. (*заместитель главного редактора*), НГАСУ (Сибстрин), Новосибирск  
Г.Б. Лебедев, канд. техн. наук, доц. (*заместитель главного редактора*), НГАСУ (Сибстрин), Новосибирск  
П. Либланг, д-р, проф., Высшая техническая школа, Университет прикладных наук, Кёльн, Германия  
Л.С. Ляхович, акад. РААСН, д-р техн. наук, проф., ТГАСУ, Томск  
В.М. Митасов, д-р техн. наук, проф., НГАСУ (Сибстрин), Новосибирск  
В.И. Морозов, чл.-кор. РААСН, д-р техн. наук, проф., СПбГАСУ, Санкт-Петербург  
Ж.С. Нугужинов, д-р техн. наук, проф., Казахстанский МИРП, КарГТУ, Караганда, Казахстан  
Ю.П. Панибратов, акад. РААСН, д-р экон. наук, проф., СПбГАСУ, Санкт-Петербург  
Г.И. Пустоветов, чл.-кор. РААСН, д-р архитектуры, проф., НГУАДИ, Новосибирск  
В.Г. Себешев, поч. чл. РААСН, канд. техн. наук, проф. (*главный редактор*), НГАСУ (Сибстрин), Новосибирск  
Ю.Л. Сколубович, чл.-кор. РААСН, д-р техн. наук, проф., НГАСУ (Сибстрин), Новосибирск  
Ю.А. Феофанов, д-р техн. наук, проф., СПбГАСУ, Санкт-Петербург  
Й.В. Ху, PhD, проф., Национальный университет г. Инчхон, Республика Корея  
Е.М. Чернышов, акад. РААСН, д-р техн. наук, проф., ВГТУ, Воронеж  
Е.Ч. Шин, PhD, проф., Национальный университет г. Инчхон, Республика Корея

Ответственный секретарь Н.В. Биткина

*Адрес редакции:*

630008, г. Новосибирск, ул. Ленинградская, 113

Тел./факс +7 (383) 266 28 59 [www.sibstrin.ru](http://www.sibstrin.ru) E-mail: [izvuz\\_str@sibstrin.ru](mailto:izvuz_str@sibstrin.ru)

## СОДЕРЖАНИЕ

### СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ И ИЗДЕЛИЯ

|                                                                                                                                                                                                                                 |    |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Ерофеев В.Т., Федорцов А.П., Богатов А.Д., Федорцов В.А.</b> Оценка и прогнозирование физико-химического сопротивления стеклощелочных композитов и методы его повышения .....                                                | 5  |
| <b>Бердов Г.И., Плетнев П.М., Бернацкий А.Ф., Хританков В.Ф., Виноградов С.А.</b> Исследование влияния дисперсных минеральных добавок на свойства строительных материалов на цементных вяжущих диэлькометрическим методом ..... | 15 |
| <b>Гныря А.И., Абзаев Ю.А., Коробков С.В., Бояринцев А.П., Мокшин Д.И., Гаусс К.С.</b> Исследование механических свойств твердеющего цементного камня при различных изотермических условиях .....                               | 23 |
| <b>Столбоушкин А.Ю., Фомина О.А., Акст Д.В.</b> Практическое использование метода компрессионных кривых для определения параметров прессования керамических изделий .....                                                       | 30 |

### ИНЖЕНЕРНЫЕ СИСТЕМЫ

#### ЖИЗНЕОБЕСПЕЧЕНИЯ НАСЕЛЕННЫХ МЕСТ, ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ.

#### ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ СТРОИТЕЛЬСТВА

|                                                                                                                                |    |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Зиганшин А.М., Бадыкова Л.Н.</b> Численное моделирование течения в профилированном вентиляционном тройнике на слияние ..... | 41 |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|

### ГИДРОТЕХНИЧЕСКОЕ СТРОИТЕЛЬСТВО,

#### ГИДРАВЛИКА И ИНЖЕНЕРНАЯ ГИДРОЛОГИЯ

|                                                                                                                                                    |    |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Шлычков В.А., Дегтярев В.В.</b> Обоснование параметров шугозащитных дамб у речных водозаборов с помощью численной модели плановых течений ..... | 49 |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|

### НАУЧНЫЕ ПРОБЛЕМЫ АРХИТЕКТУРЫ, ГРАДОСТРОИТЕЛЬСТВА И ЭКОЛОГИИ

|                                                                                                                                                           |    |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Молодин А.В.</b> К вопросу комфортных температурных условий эксплуатации традиционного чукотского жилища в условиях Крайнего Севера. Ч а с т ь 1 ..... | 60 |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|

### НАУЧНО-МЕТОДИЧЕСКИЙ РАЗДЕЛ

|                                                                                                                                                                                                                                     |     |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| <b>Герасимов С.И., Зиновьев В.Б., Попов А.М.</b> Экспериментально-расчетный метод учета нагрева тензодатчика при измерении деформации элементов конструкций .....                                                                   | 72  |
| <b>Гребенюк Г.И., Пуртов В.В., Павлик А.В., Кулешова Н.И.</b> Расчет предельных нагрузок на односрезные нагельные соединения растянутых деревянных элементов с использованием решений формируемых условно-экстремальных задач ..... | 81  |
| <b>Калугин Ю.Б., Клыков М.С., Тупицын Р.Ю.</b> Особенности применения двустепенного графа для определения минимального разреза сетевой модели .....                                                                                 | 94  |
| <b>Нуждин Л.В., Павлюк К.В.</b> Учет влияния деформационной анизотропии грунта при расчете осадок фундаментов .....                                                                                                                 | 101 |
| <b>Смолин Ю.П., Караулов А.М., Востриков К.В.</b> Решение задачи об определении осадки водонасыщенного анизотропного грунта, уплотняемого в условиях компрессии.....                                                                | 113 |

---

|                                                                           |     |
|---------------------------------------------------------------------------|-----|
| Памяти Дмитрия Георгиевича Копаницы, выдающегося ученого и педагога ..... | 122 |
|---------------------------------------------------------------------------|-----|

THE MINISTRY OF EDUCATION AND SCIENCE  
OF RUSSIAN FEDERATION

INTERNATIONAL PUBLIC ORGANIZATION  
“ASSOCIATION OF EDUCATIONAL  
CIVIL ENGINEERING INSTITUTIONS”

NEWS OF HIGHER EDUCATIONAL  
INSTITUTIONS

# CONSTRUCTION

No. 6 (702)

June 2017

Scientific-theoretical journal  
Published since March 1958  
Monthly

---

## EDITORIAL BOARD

V.N. Azarov, DSc (Eng), Prof., Volgograd  
A.A. Afanas'yev, Corr. Mem. RAACS, DSc (Eng), Prof., Moscow  
A.A. Volkov, Corr. Mem. RAACS, DSc (Eng), Prof., Moscow  
V.A. Vorob'yov, Corr. Mem. RAACS, DSc (Eng), Prof., Moscow  
V.G. Gagarin, Corr. Mem. RAACS, DSc (Eng), Prof., Moscow  
M.A.o. Hajiyev, DSc (Eng), Prof., Baku, Azerbaijan  
U. Gaisbauer, Dr. – Ing., Institut für Aerodynamik und Gasdynamik, Universität Stuttgart, Germany  
V.V. Degtyarev, DSc (Eng), Prof., Novosibirsk  
J. Despotović, PhD, Prof., University of Belgrad, Serbia  
V.T. Erofeev, Acad. RAACS, DSc (Eng), Prof., Saransk  
G.V. Esaulov, Acad. RAACS, DSc (Architecture), Prof., Moscow  
V.I. Zhadanov, DSc (Eng), Prof., Orenburg  
M. Ivetić, PhD, Prof., University of Belgrad, Serbia  
V.A. Ignat'yev, DSc (Eng), Prof., Volgograd  
V.I. Kolchunov, Acad. RAACS, DSc (Eng), Prof., Kursk  
V.I. Kostin, DSc (Eng), Prof. (*Deputy Edinor-in-Chief*), Novosibirsk  
G.B. Lebedev, PhD, Ass. Prof. (*Deputy Edinor-in-Chief*), Novosibirsk  
P. Lieblang, Dr., Prof., Technische Hochschule, Köln, Germany  
L.S. Lyakhovich, Acad. RAACS, DSc (Eng), Prof., Tomsk  
V.M. Mitasov, DSc (Eng), Prof., Novosibirsk  
V.I. Morozov, Corr. Mem. RAACS, DSc (Eng), Prof., Saint-Petersburg  
Zh. S. Nuguzhinov, DSc (Eng), Prof., Karaganda, Kazakhstan  
Yu.P. Panibratov, Acad. RAACS, DSc (Econ), Prof., Saint-Petersburg  
G.I. Pustovetov, Corr. Mem. RAACS, DSc (Architecture), Prof., Novosibirsk  
V.G. Sebeshev, Honour. Mem. RAACS, PhD, Prof. (*Edinor-in-Chief*), Novosibirsk  
Yu.L. Skolubovich, Corr. Mem. RAACS, DSc (Eng), Prof., Novosibirsk  
Yu. A. Feofanov, DSc (Eng), Prof., Saint-Petersburg  
Jong Wan Hu, PhD, Prof., Incheon National University, Republic of Korea  
Ye.M. Chernyshov, Acad. RAACS, DSc (Eng), Prof., Voronezh  
Eun Chul Shin, PhD, Prof., Incheon National University, Republic of Korea

Responsible secretary N.V. Bitkina

*The editorial office's address:*

113 Leningradskaya St. Novosibirsk 630008

Phone number/fax +7 (383) 266 28 59

www.sibstrin.ru E-mail: izvuz\_str@sibstrin.ru

## CONTENTS

### BUILDING MATERIALS AND PRODUCTS

|                                                                                                                                                                                                                              |    |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Erofeev V.T., Fedortsov A.P., Bogatov A.D., Fedortsov V.A.</b> Assessment and forecasting of physical and chemical resistance of glass alkali composites and methods of his increase .....                                | 5  |
| <b>Berdov G.I., Pletnev P.M., Bernatskiy A.F., Khritankov V.F., Vinogradov S.A.</b> High-frequency dielectrometrical control of influence of dispersed mineral additions quantity on properties of cement compositions ..... | 15 |
| <b>Gnyrya A.I., Abzaev Yu.A., Korobkov S.V., Boyarintsev A.P., Mokshin D.I., Gauss K.S.</b> Investigation of mechanical properties of hardening cement stone under different isothermal conditions .....                     | 23 |
| <b>Stolboushkin A.Yu., Fomina O.A., Akst D.V.</b> Practical use of the compression curves method for parameter determination of ceramic products compression .....                                                           | 30 |

### ENGINEERING LIFE SUPPORT SYSTEMS OF THE INHABITED PLACES, BUILDINGS AND STRUCTURES. ECOLOGICAL SAFETY OF CONSTRUCTION

|                                                                                                                    |    |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Ziganshin A.M., Badykova L.N.</b> Numerical investigation of flow in profiled ventilation tee at junction ..... | 41 |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|

### HYDROTECHNICAL CONSTRUCTION, HYDRAULICS AND ENGINEERING HYDROLOGY

|                                                                                                                                                                 |    |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Shlychkov V.A., Degtyarev V.V.</b> The rationale of parameters of frazil ice proof dams at river water intake using a numeral model of planned streams ..... | 49 |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|

### SCIENTIFIC PROBLEMS OF ARCHITECTURE, TOWN PLANNING AND ECOLOGY

|                                                                                                                                        |    |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Molodin A.V.</b> To the issue of comfort temperature conditions in traditional Chukotka's houses in Far North regions. Part 1 ..... | 60 |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|

### SCIENTIFIC AND METHODOLOGICAL SECTION

|                                                                                                                                                                                                                               |     |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| <b>Gerasimov S.I., Zinov'ev V.B., Popov A.M.</b> Evaluation of strain-measurement error caused by heating of strain gauge .....                                                                                               | 72  |
| <b>Grebenyuk G.I., Purtov V.V., Pavlik A.V., Kuleshova N.I.</b> Calculation of limit loads on single shear dowel connection compounds of tension wooden elements using solutions of formable condition-extreme problems ..... | 81  |
| <b>Kalugin Yu.B., Klykov M.S., Tupitsyn R.Yu.</b> Features use the dual graph to determine the minimum cut of the network schedule .....                                                                                      | 94  |
| <b>Nuzhdin L.V., Pavlyuk K.V.</b> Influence deformation anisotropy in the calculation of settlements of foundation.....                                                                                                       | 101 |
| <b>Smolin Yu.P., Karaulov A.M., Vostrikov K.V.</b> Consolidation process of saturated anisotropic clay soil during oedometric testing .....                                                                                   | 113 |

УДК 691.42 : 666.31

А.Ю. СТОЛБОВУШКИН, О.А. ФОМИНА, Д.В. АКСТ

**ПРАКТИЧЕСКОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МЕТОДА  
КОМПРЕССИОННЫХ КРИВЫХ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ  
ПАРАМЕТРОВ ПРЕССОВАНИЯ КЕРАМИЧЕСКИХ ИЗДЕЛИЙ\***

Показано, что метод полусухого прессования является перспективным для производства строительных керамических материалов из техногенного сырья и низкокачественных глин. Рассмотрены технологические факторы, влияющие на качество изделий, и выделены основные критерии, определяющие функциональную зависимость процесса прессования. Обозначены четыре стадии прессования керамических порошков, представляющих собой трехфазную систему. Приведены результаты использования метода по определению параметров прессования керамических изделий с применением установки для снятия компрессионных кривых. На примере умереннопластичного суглинка исследовано влияние влажности и давления прессования на осадку пресс-порошков и свойства изделий. Определены физико-механические свойства керамических образцов, отформованных при разном давлении, выбранном через небольшие равные промежутки. Выявлена зависимость их изменения от величины прикладываемого давления при различной формовочной влажности. Определены оптимальные значения параметров полусухого прессования керамического кирпича.

**К л ю ч е в ы е с л о в а:** давление прессования, влажность пресс-порошка, низкокачественные глины и суглинки, компрессионные кривые, керамические строительные материалы.

**Актуальность исследования.** Керамические изделия строительного назначения обычно получают методом пластической экструзии. При этом необходимо использовать качественные пластичные глины. В XXI в. керамическое производство все чаще сталкивается с проблемой сокращения их запасов. В мировом масштабе на фоне ухудшения экологии актуальным является расширение сырьевой базы производства керамического кирпича за счет использования техногенных и низкокачественных природных месторождений [1–7]. В этом случае способ полусухого прессования изделий менее требователен к формовочным свойствам сырья и является перспективным [8–12].

Прессование керамического кирпича – одна из наиболее ответственных технологических операций и необходимо для получения высокоплотного спрессованного сырца с равномерной структурой, определяющей в конечном итоге прочность и морозостойкость изделий [13].

**Постановка проблемы.** Процесс прессования ( $K$ ) можно представить в виде функциональной зависимости ( $f$ ) с множеством переменных. В общем

---

\* Работа выполнена в рамках госзадания Минобрнауки РФ, шифр проекта № 7.7285.2017/8.9 «Фундаментальные исследования в области строительных керамических композиционных материалов с матричной структурой на основе техногенного и природного сырья».

случае он зависит от вещественного состава и керамико-технологических свойств пресс-порошка ( $A$ ), его гранулометрического состава ( $G$ ), плотности ( $R$ ), влажности ( $W$ ), режимов прессования ( $L$ ), скорости сжатия ( $S$ ), способа приложения нагрузки ( $M$ ), источника создания прессующего усилия ( $T$ ), давления прессования ( $P$ ) и других факторов:

$$K = f(A, G, W, R, L, S, M, T, P). \quad (1)$$

Учесть одновременное влияние всех перечисленных факторов этого процесса достаточно сложно и, по мнению авторов, не является строго обязательным условием при определении параметров прессования изделий. Свойства сырья  $A, G, R$  будут оказывать влияние на всех этапах технологии, включая сушку и обжиг изделий. Влияние факторов  $L, S, M, T$  вполне однозначно и в принципе существенно не изменяет механизм действия всех переменных по отдельности или вместе взятых. Действительно, медленное многоступенчатое прессование малочувствительных к сушке и спекающихся масс всегда улучшает качество прессовок и готовых изделий. Приняв это за аксиому, указанные факторы соответственно можно представить в виде повышающих или понижающих коэффициентов ( $a, g, r$ ) и ( $l, s, m, t$ ), определяемых экспериментально для конкретного вида керамического сырья, и выразить обобщающим критерием  $E$ .

Таким образом, процесс прессования будет представлен зависимостью

$$K = Ef(W, P),$$

где  $W$  – влажность пресс-порошка;

$P$  – давление прессования.

В зависимости от величины сжимающего усилия процесс прессования керамических порошков представлен четырьмя стадиями: механическое сближение частиц и удаление воздуха из системы; их пластическая необратимая деформация; стадия упругой деформации; хрупкое механическое разрушение [14]. Несмотря на разнообразие пресс-масс, они представляют собой трехфазную систему, состоящую из твердой минеральной части, жидкой фазы и воздуха. Для получения высокоплотного спрессованного полуфабриката прикладываемое давление должно обеспечивать полное устранение расположенных между частицами свободных промежутков за счет пластической деформации частиц [15, 16].

**Возможное решение проблемы.** Ранее проведенные исследования показали, что избежать недостаточную компрессию, как и перепрессовку керамических порошков, можно только при рациональном соотношении давления прессования и влажности пресс-массы. При повышении давления прессования с переходом в область давлений, где упругие деформации становятся преобладающими, возможно снижение прочности как полуфабриката, так и обожженных изделий, несмотря на то, что плотность продолжает несколько возрастать или стабилизироваться.

С увеличением влажности возрастают интенсивность и величина осадки порошков при относительно низких давлениях прессования, однако избыточная влажность приводит к снижению плотности по сравнению с тем максимумом, который может быть достигнут при данном давлении. Кроме

того, избыток влажности приводит к появлению существенной воздушной усадки при сушке [17].

Очевидно, что для каждого вида керамического сырья существуют вполне определенные области значений влажности пресс-порошка ( $W$ ) и давления прессования ( $P$ ), при которых можно получить бездефектный сырец с плотной структурой, имеющий экстремальные значения механических свойств.

Определение оптимальных значений давления прессования в зависимости от влажности и вида сырья, обеспечивающих максимальные эксплуатационные характеристики керамики, очень трудоемко и требует изготовления в лабораторных условиях большого количества (часто достигающего десятков и сотен) керамических образцов.

Авторами была разработана методика определения процессов прессования керамических масс по компрессионным кривым [18] и по полученным результатам запатентован способ определения оптимальных параметров давления прессования и влажности пресс-порошка для получения керамических материалов [19].

**Цель и задачи исследования.** При разработке способа авторы исходили из того, что нецелесообразно прикладывать значительные прессовые усилия, приводящие к образованию трещин расслаивания в образце вследствие обратного последействия от упругих деформаций внутри трехфазной системы после снятия нагрузки. Использование прессовых давлений в области хрупкого разрушения частиц приводит к сильному уплотнению прессовки, повышению их средней плотности, что нежелательно для наружных стен, и повышенному износу заводского прессового оборудования. Таким образом, *цель настоящей работы* заключалась в определении оптимального давления прессования дисперсного материала с применением установки для снятия компрессионных кривых.

Основная задача сводилась к нахождению области прессового давления между второй и четвертой стадиями прессования. Оптимальные значения прессового усилия сугубо индивидуальны для каждого вида сырья и зависят, как уже отмечалось, прежде всего, от влажности порошка. При повышении влажности системы увеличивается площадь и толщина сольватных водных оболочек на поверхности глиняных частиц, обеспечивая более легкое их скольжение друг относительно друга при меньших значениях механической нагрузки на формовку. Вместе с тем излишнее переувлажнение также нежелательно, поскольку избыток влаги повышает открытую пористость, снижает после обжига прочность и морозостойкость изделий и приводит к возникновению технологических проблем при прессовании.

При проведении исследований в развитие способа проводилось определение физико-механических свойств керамических образцов, отформованных при разном давлении, выбранном через небольшие равные промежутки в интервале работы лабораторного гидравлического прессы.

**Объект исследования.** В качестве объекта исследования был выбран суглинок Новокузнецкого месторождения (Кемеровская обл.). Материал является типичным представителем пылеватого глинистого сырья, характерного для территории Западной Сибири и Дальнего Востока (Россия). Суглинок относится к умереннопластичному сырью с низким содержанием каменных включений.

**Методика исследования.** При выполнении экспериментальной части работы использовалось лабораторное оборудование, включающее щековую дробилку, двухкатковые бегуны, стержневую мельницу, сушильный шкаф, турболопастной смеситель-гранулятор, гидравлический пресс и муфельную печь для обжига.

Приготовление керамических образцов проводилось по стандартной методике полусухого прессования. Глинистое сырье высушивалось в сушильном шкафу при температуре 100–105 °С до постоянной массы. Высушенный материал подвергался грубому дроблению в лабораторной щековой дробилке до фракции – 10 мм и затем измельчался на бегунах в порошок до фракции – 1 мм. В высушенный измельченный суглинок добавлялась вода при температуре 20–22 °С из расчета формовочной влажности 6–12 %.

Для гомогенизации смеси увлажненный порошок перетирался через проволочное сито с размером ячейки 1,2 мм и далее для выравнивания влажности помещался в эксикатор, где выдерживался в течение 2–6 ч. Из полученного пресс-порошка на гидравлическом прессе формовались образцы-цилиндры диаметром 45 мм и высотой 40–50 мм. Сушка сырца проводилась ступенчато, по мягкому режиму при температуре 30–100 °С до остаточной влажности 1–2 %. Обжиг керамических образцов осуществлялся в течение 7 ч с часовой изотермической выдержкой при максимальной температуре 1000 °С.

При проведении исследований в соответствии с разработанной методикой были заданы три значения влажности пресс-порошка: 1 – 6–7 %; 2 – 9–10 %; 3 – 11–12 %. На запатентованной установке определена осадка порошка в форме и построены ее кривые в зависимости от влажности и прикладываемого давления (рис. 1).

Из полученных пресс-масс были отформованы три серии образцов. В процессе их изготовления в каждой серии последовательно менялось

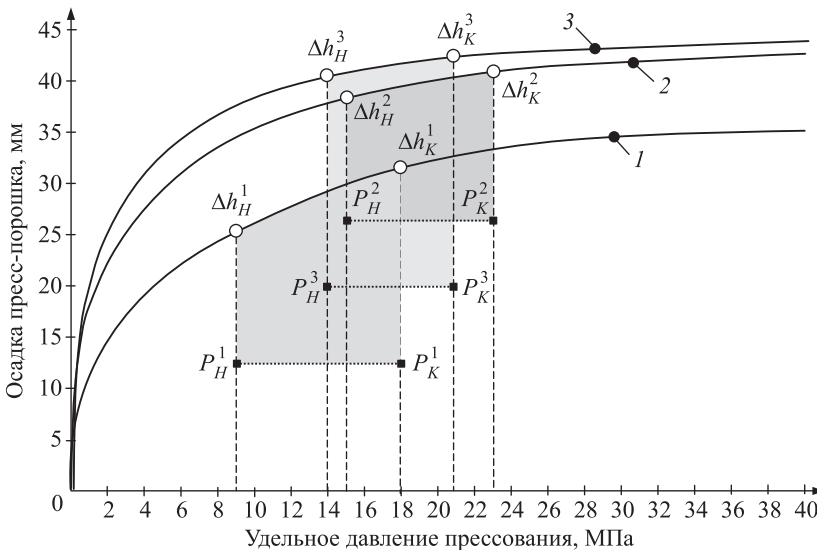


Рис. 1. Компрессионные кривые осадки керамических масс из суглинка с влажностью

1 – 5,7 %; 2 – 9,6 %; 3 – 11,9 %

прессовое давление в интервале от 4 до 26 МПа с шагом 2 МПа. Для определения физико-механических свойств и снижения риска случайной ошибки эксперимента при выбранных параметрах прессовалось по пять образцов.

**Результаты исследования.** При изготовлении первой серии образцов влажностью 5,7 % наблюдалась неудовлетворительная формовка изделий, связанная с недостатком влаги в пресс-порошке: при прессовых давлениях

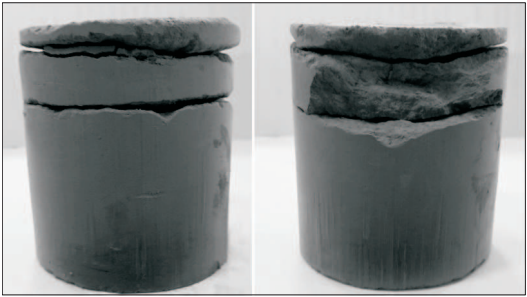


Рис. 2. Образцы-цилиндры полусухого прессования из суглинка с формовочной влажностью 5,7 %

от 4 до 8 МПа происходило рассыпание образцов; при давлениях от 10 до 16 МПа образцы имели низкую сырцовую порочность, их приповерхностная зона со стороны матрицы выкрашивалась во время выпрессовки изделий; при давлениях более 18 МПа образывались поперечные трещины расслаивания, которые нарушали целостность формовки (рис. 2). Таким образом, провести сравнительный анализ физико-механических

свойств и определение оптимального прессового давления для данной влажности не представлялось возможным.

При формовании образцов второй и третьей серии с влажностью соответственно 9,6 и 11,9 % проблем, отмеченных выше, не наблюдалось. Экспериментальные результаты имели схожий характер (см. таблицу).

**Физико-механические свойства керамических образцов из пресс-порошка**

| № п/п           | Давление прессования, МПа | Средняя плотность, кг/м <sup>3</sup> | Водопоглощение, % | Прочность при сжатии, МПа | Коэффициент конструктивного качества |
|-----------------|---------------------------|--------------------------------------|-------------------|---------------------------|--------------------------------------|
| 1               | 2                         | 3                                    | 4                 | 5                         | 6                                    |
| Влажность 9,6 % |                           |                                      |                   |                           |                                      |
| 1               | 4                         | 1500                                 | 28,5              | 6,3                       | 4,2                                  |
| 2               | 6                         | 1592                                 | 23,8              | 11,6                      | 7,3                                  |
| 3               | 8                         | 1650                                 | 20,7              | 20,0                      | 12,1                                 |
| 4               | 10                        | 1684                                 | 17,0              | 17,5                      | 10,4                                 |
| 5               | 12                        | 1749                                 | 16,6              | 28,1                      | 16,0                                 |
| 6               | 14                        | 1765                                 | 16,4              | 29,0                      | 16,5                                 |
| 7               | 16                        | 1728                                 | 16,0              | 29,1                      | 16,3                                 |
| 8               | 18                        | 1791                                 | 16,6              | 26,6                      | 14,9                                 |
| 9               | 20                        | 1791                                 | 16,8              | 30,5                      | 17,0                                 |
| 10              | 22                        | 1780                                 | 15,7              | 35,4                      | 19,8                                 |
| 11              | 24                        | 1811                                 | 16,7              | 25,0                      | 14,0                                 |
| 12              | 26                        | 1834                                 | 15,8              | 32,4                      | 17,6                                 |

Окончание табл.

| 1                       | 2  | 3    | 4    | 5    | 6    |
|-------------------------|----|------|------|------|------|
| <i>Влажность 11,9 %</i> |    |      |      |      |      |
| 1                       | 4  | 1723 | 23,8 | 11,1 | 6,4  |
| 2                       | 6  | 1777 | 20,6 | 12,5 | 7,1  |
| 3                       | 8  | 1859 | 19,8 | 13,6 | 7,3  |
| 4                       | 10 | 1902 | 17,3 | 25,3 | 13,3 |
| 5                       | 12 | 1850 | 15,4 | 30,2 | 16,3 |
| 6                       | 14 | 1943 | 15,1 | 38,9 | 20,0 |
| 7                       | 16 | 1949 | 15,3 | 34,5 | 17,6 |
| 8                       | 18 | 2031 | 13,7 | 31,1 | 15,6 |
| 9                       | 20 | 2021 | 14,3 | 42,2 | 21,0 |
| 10                      | 22 | 2053 | 10,9 | 46,2 | 23,1 |
| 11                      | 24 | 2019 | 12,3 | 63,5 | 31,8 |
| 12                      | 26 | 2049 | 11,8 | 77,6 | 38,8 |

Графическая интерпретация результатов оптимизации параметров прессования керамических образцов по значениям их физико-механических свойств представлена на рис. 3.

Анализируя изменение физико-механических свойств керамики из порошка влажностью 9,6 %, можно отметить, что в начальный период предел прочности при сжатии возрастает с ростом прессового давления и достигает экстремума при 16 МПа. В этом интервале происходит увеличение средней плотности и снижение водопоглощения образцов (рис. 3). Увеличение давления прессования в интервале 18–20 МПа приводит к ухудшению их физико-механических свойств, при этом наблюдается появление трещин расслаивания на поверхности образцов. Дальнейшее увеличение сжимающей нагрузки до 22 МПа приводит к росту прочности и падению водопоглощения керамического черепка.

Полученные данные свидетельствуют о том, что при прессовом давлении 15–16 МПа заканчиваются пластические и начинаются упругие деформации зерен порошка, что соответствует переходу от второй к третьей стадии процесса прессования. На компрессионной кривой осадки керамических масс влажностью 9,6 % (см. рис. 1) в этой области прессового давления наблюдается «затухание» значительного приращения деформаций трехфазной системы в пресс-форме. Начиная с области давления 22–23 МПа, осадка компрессионной кривой резко замедляется, что соответствует точке касательной к этой кривой при переходе от третьей к четвертой стадии прессования. В соответствии с принятыми положениями оптимальное давление прессования для порошка данной влажности составляет 16 МПа.

Схожие зависимости изменения физико-механических свойств прослеживаются и для керамических образцов, отпрессованных из глиняного пресс-порошка влажностью 11,9 %. На рис. 1, 3 отмеченные выше

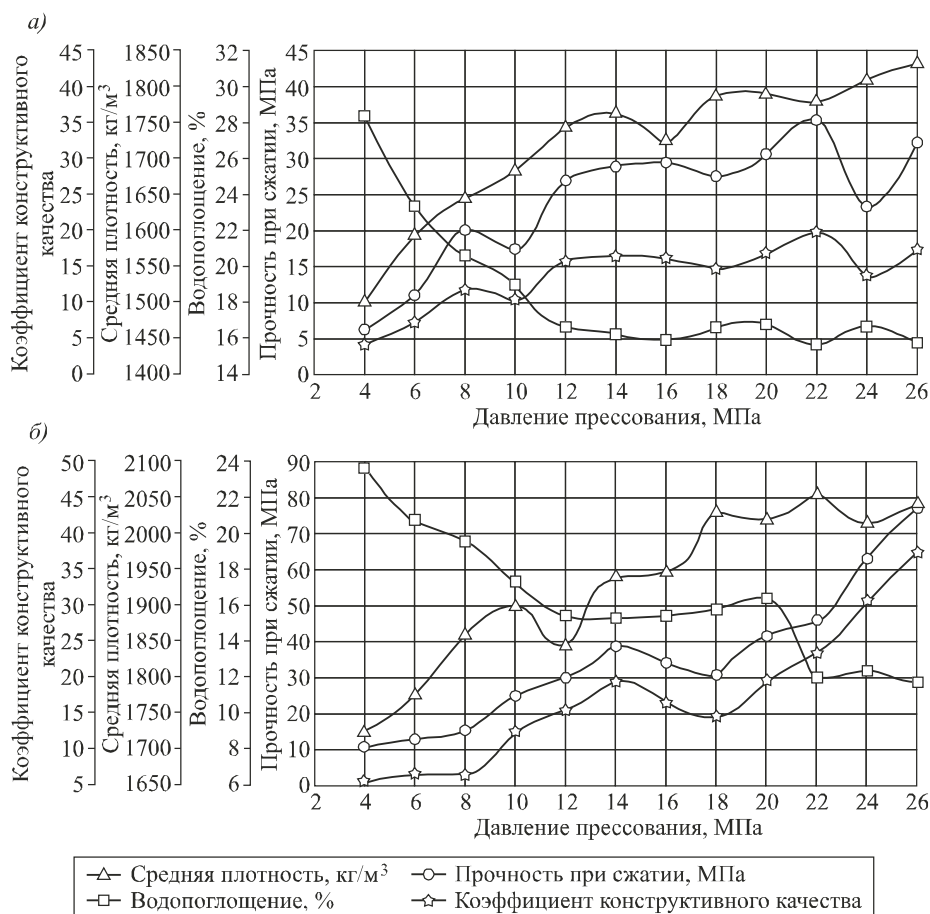


Рис. 3. Зависимость свойств керамических образцов из пресс-порошка влажностью 9,6 % (а) и 11,9 % (б) от давления прессования

процессы сдвигаются в область более низких давлений прессования. Если в первом случае экстремумы свойств наблюдаются при 15–16 МПа и 22–23 МПа, то во втором – соответственно при 14–15 МПа и 21–22 МПа. Незначительное смещение по прессовому давлению можно объяснить небольшой разницей в значениях формовочной влажности пресс-порошков (1–2 %).

**Обсуждение.** Использование метода определения параметров прессования керамических изделий с применением установки для снятия компрессионных кривых позволяет устанавливать значения прессового давления, при которых заканчиваются пластические и начинаются упругие деформации зерен глиняного порошка, и давления перехода от третьей к четвертой стадии прессования, характеризующейся разрушением их структуры.

Полученные зависимости осадки пресс-масс различной влажности от прикладываемого давления позволили значительно сократить количество экспериментальных исследований и установить оптимальные значения формования керамических изделий из шихты на основе умереннопластичных пылеватых суглинков. Давление прессования составляет 14–15 МПа при формовочной влажности 10–11 %.

**Закключение.** Практическое использование метода компрессионных кривых позволяет установить оптимальные значения прессования бездефектных изделий из различных керамических шихт с учетом индивидуальных особенностей слагающих их сырьевых материалов.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Сайбулатов С.Ж. Ресурсосберегающая технология керамического кирпича на основе зол ТЭС. М.: Стройиздат, 1990. 248 с.
2. Абдрахимова Е.С., Абдрахимов В.З., Абдрахимов Д.В., Абдрахимова А.В. Глинистая часть «хвостов» гравитации циркон-ильменитовых руд – сырье для производства керамических материалов // Огнеупоры и техн. керамика. 2005. № 5. С. 38–42.
3. Гурьева В.А., Прокофьева В.В. Строительная керамика на основе композиции техногенного серпентинитового сырья и низкосортных глин // Строит. материалы. 2012. № 8. С. 20–21.
4. Stolboushkin A., Fomin A., Stolboushkina O. Formation of Ceramic Crock Structure Made of Technogenic Raw Materials with Vanadium Component // Applied Mechanics and Materials. 2015. Vol. 756. P. 250–256.
5. Котляр В.Д., Устинов А.В., Ковалев В.Ю., Терехина Ю.В., Котляр А.В. Керамические камни компрессионного формования на основе опок и отходов углеобогащения // Строит. материалы. 2013. № 4. С. 44–48.
6. Столбоушкин А.Ю., Карпачева А.А., Иванов А.И. Стеновые керамические изделия на основе отходов углеобогащения и железосодержащих добавок. Новокузнецк: Интер-Кузбасс, 2011. 153 с.
7. Карасал Б.К., Котельников В.И., Сапелкина Т.В. Получение керамического стенового материала из вскрышных пород углеобогащения // Естеств. и техн. науки. 2015. № 80. С. 160–163.
8. Стороженко Г.И., Болдырев Г.В., Кузубов В.А. Механическая активация сырья как способ повышения эффективности метода полусухого прессования кирпича, керамических стеновых материалов // Строит. материалы. 1997. № 8. С. 19–20.
9. Кондратенко В.А., Пешков В.Н., Следнев Д.В. Проблемы кирпичного производства и способы их решения // Строит. материалы. 2002. № 3. С. 43–45.
10. Шлегель И.Ф. Проблемы полусухого прессования кирпича // Строит. материалы. 2005. № 2. С. 18–19.
11. Котляр В.Д., Терехина Ю.В., Небежко Ю.И. Перспективы развития производства керамического кирпича полусухого прессования // Строит. материалы. 2011. № 2. С. 6–7.
12. Ашмарин Г.Д., Ласточкин В.Г., Синянский В.И., Илюхин В.В., Курносое В.В. Сокращение цикла термической обработки в технологии керамического кирпича компрессионного формования // Строит. материалы. 2013. № 4. С. 42–43.
13. Stolboushkin A., Fomina O., Fomin A. The investigation of the matrix structure of ceramic brick made from carbonaceous mudstone tailings // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2016. Vol. 124. P. 1–6.
14. Попильский Р.Я., Кондрашев Ф.В. Прессование керамических порошков. М.: Металлургия, 1968. 272 с.
15. Роговой М.И. Технология искусственных пористых заполнителей и керамики. М.: Стройиздат, 1974. 315 с.

16. Stolboushkin A.Yu., Ivanov A.I., Fomina O.A., Fomin A.S., Storozhenko G.I. Principles of optimal structure formation of ceramic semi-dry pressed brick // *Advanced Materials, Mechanical and Structural Engineering*. 2016. P. 87–90.
17. Тарасевич В.П. Новые технологии производства керамического кирпича // *Строит. материалы*. 1992. № 5. С. 5–8.
18. Столбоушкин А.Ю., Столбоушкина О.А., Бердов Г.И. Оптимизация параметров прессования гранулированного техногенного и природного сырья для производства керамического кирпича // *Строит. материалы*. 2013. № 3. С. 76–78.
19. Пат. 2595879 РФ: МПК C1 G 01 N 33/38, G 01 N 3/08. Способ определения оптимальных параметров давления прессования и влажности пресс-порошка для получения стеновых керамических материалов / А.Ю. Столбоушкин, А.С. Фомин, О.А. Фомина, Андреас Яр; заявитель и патентообладатель Сиб. гос. индустр. ун-т. № 2015141394/15; заявл. 29.09.2015; опубл. 27.08.2016, Бюл. № 24. 7 с.

**Столбоушкин Андрей Юрьевич**, д-р техн. наук, проф.; E-mail: stanyr@list.ru  
Сибирский государственный индустриальный университет, г. Новокузнецк  
**Фомина Оксана Андреевна**, канд. техн. наук, доц.; E-mail: stoxan@gmail.com  
Сибирский государственный индустриальный университет, г. Новокузнецк  
**Акст Данил Викторович**, асп.; E-mail: daniel\_axt@mail.ru  
Сибирский государственный индустриальный университет, г. Новокузнецк

Получено 24.05.17

**Stolboushkin Andrey Yur'evich**, DSc, Professor; E-mail: stanyr@list.ru  
Siberian State Industrial University, Novokuznetsk, Russia  
**Fomina Oksana Andreevna**, PhD, Ass. Professor; E-mail: stoxan@gmail.com  
Siberian State Industrial University, Novokuznetsk, Russia  
**Akst Danil Viktorovich**, Post-graduate Student; E-mail: daniel\_axt@mail.ru  
Siberian State Industrial University, Novokuznetsk, Russia

## **PRACTICAL USE OF THE COMPRESSION CURVES METHOD FOR PARAMETER DETERMINATION OF CERAMIC PRODUCTS COMPRESSION**

It is shown that the method of semidry pressing is one of the promising for the production of ceramic building materials based on technogenic raw materials and low-quality clays. The quality-relevant technological factors have been discussed and the basic criteria determining the functional dependence of the pressing process have been emphasized. Four stages of ceramic powders pressing have been found. The results of application of method on the determination of the pressing parameters of ceramic products using the mounting for curves readout have been shown. In the context of medium-moldable clay loam, the influence of moisture and compaction pressure on the sagging of press powders and properties of products has been investigated. Physical and mechanical properties of ceramic samples molded at different pressures selected by small regular intervals have been defined. It was found the dependence of its changes on the value of the applied pressure during the molding with different mixing moisture content. The optimal values of semidry pressing of a ceramic brick have been defined.

**Key words:** compacting pressure, humidity of pressing powder, low-quality clays and loams, compression curves, ceramic building materials.

## REFERENCES

1. Saybulatov S.J. Resursosberegayushchaya tekhnologiya keramicheskogo kirpicha na osnove zol TES [Resource-saving technology of ceramic bricks on the basis of ashes of TPP]. Moscow, Stroyizdat, 1990. 248 p. (in Russian)
2. Abdrakhimova E.S., Abdrakhimov V.Z., Abdrakhimov D.V., Abdrakhimova A.V. Glinistaya chast' «khvostov» gravitatsii tsirkon-il'menitovykh rud – syr'e dlya proizvodstva keramicheskikh materialov [Clay part of the «tails» of gravity zircon-ilmenite ores – raw materials for the production of ceramic materials]. Ogneuporu i tekhnicheskaya keramika [Refractories & technical ceramics]. 2005. No. 5. Pp. 38–42. (in Russian)
3. Gur'eva V.A., Prokof'eva V.V. Stroitel'naya keramika na osnove kompozitsii tekhnogenogo serpentinitovogo syr'ya i nizkosortnykh glin [Building ceramics on the basis of a composition of man-made serpentinitic raw materials and low-grade clays]. Stroitel'nye materialy [Construction Materials]. 2012. No. 8. Pp. 20–21. (in Russian)
4. Stolboushkin A., Fomin A., Stolboushkina O. Formation of Ceramic Crock Structure Made of Technogenic Raw Materials with Vanadium Component. Applied Mechanics and Materials. 2015. Vol. 756. Pp. 250–256.
5. Kotlyar V.D., Ustinov A.V., Kovalev V.Yu., Terekhina Yu.V., Kotlyar A.V. Keramicheskie kamni kompressionnogo formovaniya na osnove opok i otkhodov ugleobogashcheniya [Ceramic compression molding stones on the basis of flasks and coal-washing wastes]. Stroitel'nye materialy [Construction Materials]. 2013. No. 4. Pp. 44–48. (in Russian)
6. Stolboushkin A.Yu., Karpacheva A.A., Ivanov A.I. Stenovye keramicheskie izdeliya na osnove otkhodov ugleobogashcheniya i zhelezosoderzhashchikh dobavok [Ceramic wall products based on coal wastes and iron-containing additives]. Novokuznetsk, Inter-Kuzbass, 2011. 153 p. (in Russian)
7. Karasal B.K., Kotel'nikov V.I., Sapelkina T.V. Polychenie keramicheskogo stenovogo materiala iz vskryshnykh porod ugleobogashcheniya [Obtaining ceramic wall material from overburden coal preparation]. Estestvennye i tekhnicheskie nauki [Natural and technical sciences]. 2015. No. 80. Pp. 160–163. (in Russian)
8. Storozhenko G.I., Boldyrev G.V., Kuzubov V.A. Mekhanicheskaya aktivatsiya syr'ya kak sposob povysheniya effektivnosti metoda polusukhogo pressovaniya kirpicha, keramicheskikh stenovykh materialov [Mechanical activation of raw materials as a way to improve the efficiency of the method of semi-dry pressing of bricks, ceramic wall materials]. Stroitel'nye materialy [Construction Materials]. 1997. No. 8. Pp. 19–20. (in Russian)
9. Kondratenko V.A., Peshkov V.N., Slednev D.V. Problemy kirpichnogo proizvodstva i sposoby ikh resheniya [Problems of brick production and ways to solve them]. Stroitel'nye materialy [Construction Materials]. 2002. No. 3. Pp. 43–45. (in Russian)
10. Shlegel' I.F. Problemy polusukhogo pressovaniya kirpicha [Problems of semi-dry pressing of bricks]. Stroitel'nye materialy [Construction Materials]. 2005. No. 2. Pp. 18–19. (in Russian)
11. Kotlyar V.D., Terekhina Yu.V., Nebezsko Yu.I. Perspektivy razvitiya proizvodstva keramicheskogo kirpicha polusukhogo pressovaniya [Prospects for the development of the production of semi-dry ceramic bricks]. Stroitel'nye materialy [Construction Materials]. 2011. No. 2. Pp. 6–7. (in Russian)
12. Ashmarin G.D., Lastochkin V.G., Sinyanskiy V.I., Ilyukhin V.V., Kurnosov V.V. Sokrashchenie tsikla termicheskoy obrabotki v tekhnologii keramicheskogo kirpicha kompressionnogo formovaniya [Reduction of the cycle

- of heat treatment in the technology of ceramic bricks compression molding]. *Stroitel'nye materialy* [Construction Materials]. 2013. No. 4. Pp. 42–43. (in Russian)
13. Stolboushkin A., Fomina O., Fomin A. The investigation of the matrix structure of ceramic brick made from carbonaceous mudstone tailings. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 2016. Vol. 124. Pp. 1–6.
  14. Popil'skiy R.Ya., Kondrashev F.V. *Pressovanie keramicheskikh poroshkov* [Pressing ceramic powders]. Moscow, Metallurgiya, 1968. 272 p. (in Russian)
  15. Rogovoy M.I. *Tekhnologiya iskusstvennykh poristyykh zapolniteley i keramiki* [Technology of artificial porous aggregates and ceramics]. Moscow, Stroyizdat, 1974. 315 p. (in Russian)
  16. Stolboushkin A.Yu., Ivanov A.I., Fomina O.A., Fomin A.S., Storozhenko G.I. Principles of optimal structure formation of ceramic semi-dry pressed brick. *Advanced Materials, Mechanical and Structural Engineering*. 2016. Pp. 87–90.
  17. Tarasevich V.P. *Novye tekhnologii proizvodstva keramicheskogo kirpicha* [New technologies for the production of ceramic bricks]. *Stroitel'nye materialy* [Construction Materials]. 1992. No. 5. Pp. 5–8. (in Russian)
  18. Stolboushkin A.Yu., Stolboushkina O.A., Berdov G.I. *Optimizatsiya parametrov pressovaniya granulirovannogo tekhnogennogo i prirodnogo syr'ya dlya proizvodstva keramicheskogo kirpicha* [Optimization of pressing parameters of granulated man-made and natural raw materials for the production of ceramic bricks]. *Stroitel'nye materialy* [Construction Materials]. 2013. No. 3. Pp. 76–78. (in Russian)
  19. Pat. 2595879 RF: IPC C1 G 01 N 33/38, G 01 N 3/08. *Sposob opredeleniya optimal'nykh parametrov davleniya pressovaniya i vlazhnosti press-poroshka dlya polucheniya stenovykh keramicheskikh materialov* [A method for determining the optimum parameters of pressing pressure and humidity of a press powder for the production of wall ceramic materials]. A.Yu. Stolboushkin, A.S. Fomin, O.A. Fomina, Andreas Yar; claimer and patent holder Siberian State Industrial University. No. 2015141394/15; appl. 29.09.2015; publ. 27.08.2016, Bull. No. 24. 7 p. (in Russian)
-