

УДК 691.42

Чекмарев А.С. – кандидат технических наук, заведующий отделом технологических испытаний

E-mail: mr.chekmarev@gmail.com

Скворцов А.В. – кандидат технических наук, ведущий научный сотрудник

E-mail: skvorcov07@mail.ru

Гайнутдинов Н.К. – кандидат технических наук, заместитель заведующего отделом технологических испытаний

E-mail: ganaka2@yandex.ru

Центральный научно-исследовательский институт геологии нерудных полезных ископаемых

Адрес организации: 420097, Россия, г. Казань, ул. Зинина, д. 4

Исследование процесса сушки керамических строительных материалов для создания экспрессной методики оценки глинистого сырья¹

Аннотация

Постановка задачи. Целью исследования являлось создание экспрессного метода оценки дообжиговых свойств глинистого сырья

Результаты. В результате выполнения исследований разработан программный модуль «Ceramic Master», который позволяет производить оценку таких параметров как воздушная усадка, критическая влажность, градиент влажности, коэффициент чувствительности материала к сушке, а также дополнительно определять пластичные свойства глиномасс. Проведено испытание глинистого сырья и диатомита, показана возможность модификации глинистого сырья, и объяснен механизм модификации.

Выводы. Проведенное исследование показало, что разработанный программный модуль «Керамик-Мастер» позволяет решить фундаментальную научную проблемы оценки качества глинистого сырья для строительной керамики. Разработанные подходы к оценке технологических свойств позволяют производить анализ технологических свойств глинистого сырья, как при геологоразведке, так и при эксплуатации месторождений, а также для проведения оперативного регулирования технологического режима сушки керамического производства в зависимости от качества применяемого сырья.

Ключевые слова: глинистое сырье, диатомит, технологические свойства, геотехнологическая оценка сырья, коэффициент чувствительности, модификация.

Геотехнологическая оценка месторождений и последующая экономически эффективная эксплуатация минерально-сырьевой базы глинистого сырья обеспечивают развитие современной строительной индустрии.

Выполнение данного исследования направлено на решение фундаментальной научной проблемы оценки технологических свойств глинистого сырья, как при геологоразведке, так и при эксплуатации месторождений, а также для проведения оперативного регулирования технологического режима керамического производства в зависимости от качества применяемого сырья.

Для решения этой проблемы разрабатывается экспрессная комплексная методика, которая при проведении геологических поисковых работ позволяет оценивать глинистое сырье с позиций технологической применимости на конкретных предприятиях и определять необходимость его модифицирования.

Технологическая схема производства изделий с пластическим способом подготовки массы, несмотря на свою сложность и длительность, наиболее распространена в промышленности стеновой керамики [1, 2]. Метод формования из пластических масс исторически сложился на основе пластических свойств глин и широко используется в керамической технологии. Способ пластического формования позволяет выпускать изделия в

¹Исследование выполнено в рамках гранта Российского фонда фундаментальных исследований 16-35-00536 мол_а «Создание экспрессного метода оценки дообжиговых свойств глинистого сырья».

широком ассортименте, более крупных размеров, сложной формы и большей пустотности. Недостатком способа пластического формования является большая длительность технологического цикла за счет процесса сушки сырца, продолжающегося от 1 до 3 суток.

Большинство современных кирпичных заводов оборудовано устройствами для искусственной сушки кирпича-сырца, которые по режиму работы подразделяются на сушилки периодического (камерные) и непрерывного (туннельные) действия. Сушилки непрерывного действия (туннельные) являются наиболее современным сушильным агрегатом в кирпичной промышленности. В туннельной сушилке кирпич-сырец, находящийся в вагонетках, в течение цикла сушки перемещается через весь туннель от одного его конца к другому. Расход тепла на сушку кирпича-сырца в туннельных сушилках ниже, чем в камерных.

Но нужно отметить, что как в туннельных сушилках, так и в камерных процесс сушки регулируется в основном температурой и скоростью теплоносителя. Распределение меняющихся во времени полей влажности и температуры в объеме изделия определяет возможность появления опасных напряжений и брака. При сушке, испарение воды происходит диффузионным путем [3, 4]. Движущей силой является разность парциальных давлений пара у поверхности и в объеме высушиваемого объекта. Уменьшение влажности во внешних слоях заготовки сопровождается появлением градиента влажности в ее объеме, что вызывает диффузию капельно-жидкой воды из объема заготовки к поверхности.

При наличии градиента температуры на процесс влагопроводности накладывается процесс термовлагопроводности: вода стремится переместиться в области с меньшей температурой. Термовлагопроводность связана с уменьшением поверхностного натяжения и вязкости воды при повышении температуры и движением пузырьков воздуха в капиллярах. При интенсивном подводе теплоты возможно испарение влаги в глубинных слоях заготовки и удалении воды по механизму паропроводности. Движущей силой процесса является перепад давления водяного пара [2].

Причиной появления трещин в период постоянной скорости сушки полуфабриката является перепад влажности между наружными и внутренними частями заготовки. Критерием трещинообразования могут служить максимально допустимая разность между средней (интегральной) влажностью заготовки и влажностью ее поверхности [5-7].

Важным технологическим параметром сушки является критическая влажность глиняных изделий, так как ее значение соответствует прекращению усадки изделия. Значение градиента влажности определяется как разность между формовочной и критической влажностью. Градиент влажности отвечает за опасный участок ухода влаги из материала, так как в этот период происходит усадка, и материал подвергается всевозможным внутренним и наружным напряжениям.

Разработанный программный модуль «Ceramic Master» позволяет производить оценку таких параметров как воздушная усадка, критическая влажность, градиент влажности, коэффициент чувствительности материала к сушке, а также дополнительно определять пластичные свойства глиномасс. Применение математической модели менее трудоемко, чем проведение целого комплекса эмпирических исследований по подбору оптимального режима сушки [8]. По полученным результатам строятся кривые зависимости линейной усадки от влажности. Программный модуль обладает простым интерфейсом, панели разработанной программы «Ceramic Master» с входными параметрами, куда заносятся основные результаты по влажности и усадке в зависимости от времени сушки материала, итоговым графиком и результатами определенных технологических параметров (сушильных характеристик), отражены на рис. 1.

Цель проводимой работы – определить влияние температурных условий и скорости потока воздуха (сушильного агента) на сушильные свойства глиняных шихт и выявить динамику дегидратации композиций в процессе сушки с помощью разработанного программного модуля «Ceramic Master». Также определить влияние процесса сушки (при н.у.) на чувствительность сформованных пластическим способом изделий приготовленных из разработанных на основе глины месторождений Шеланга шихт.

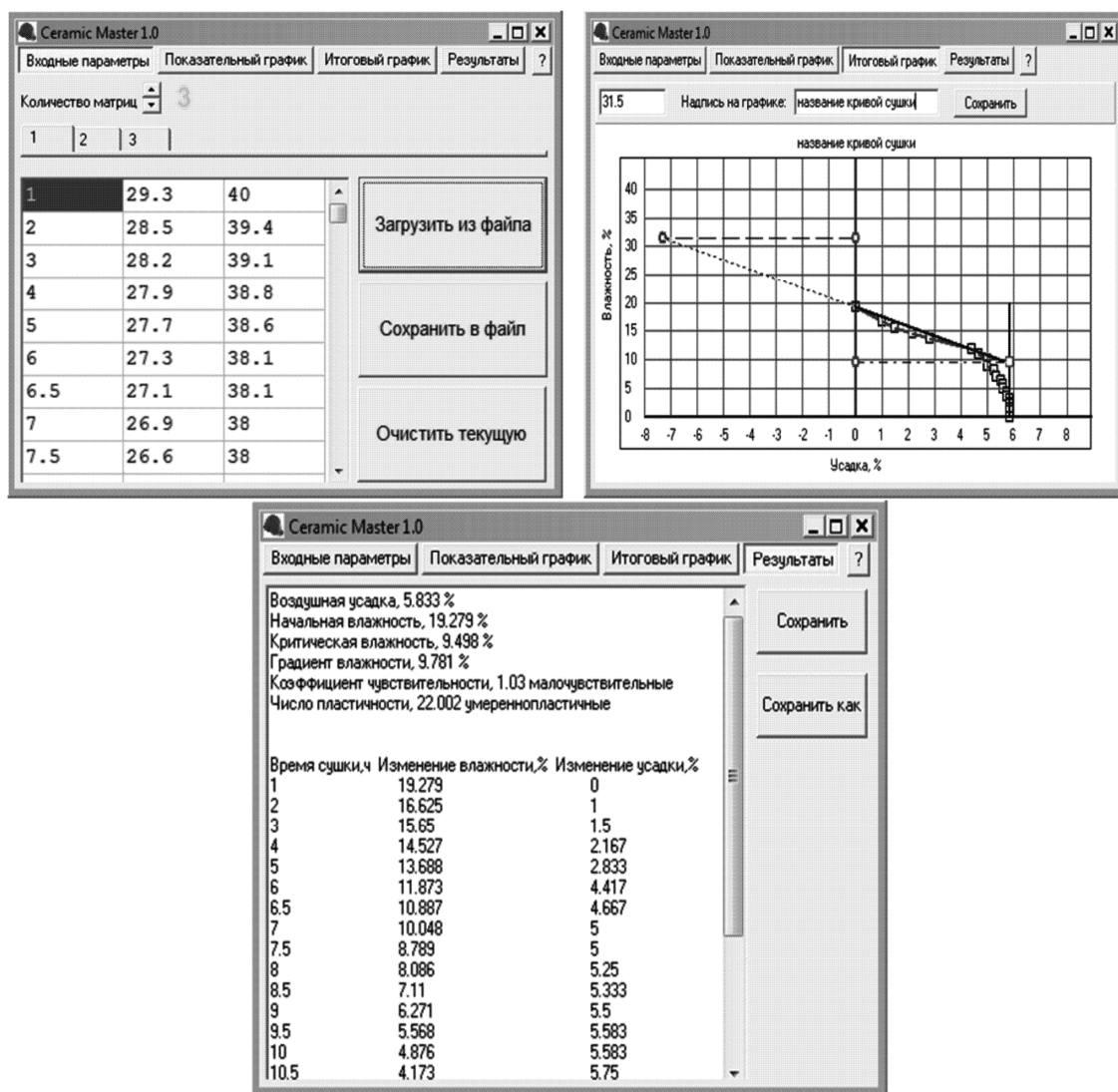


Рис. 1. Панели программы «Ceramic Master»
с примером определения основных сушильных свойств глиняных масс

В результате выполнения исследования направленного на решение фундаментальной проблемы – создания экспрессного метода оценки дообжиговых свойств глинистого сырья были поставлены и решены следующие задачи:

- 1) проведены испытания образцов материала на основе глинистого сырья и диатомита при различных скоростях потока сушильного агента: 42, 54, 78, 90, 96 м³/ч. и при разных температурных режимах: 35, 45, 55, 65, 75 (°C);
- 2) построены кривые сушки для определения сушильных параметров материала;
- 3) исследовано влияния добавок на сушильные свойства глин и композиций, приготовленных на их основе;
- 4) определено влияние скорости потока и температуры сушильного агента на чувствительность материала к сушке;
- 5) выявлена динамика ухода влаги из материала в процессе изменения скорости теплоносителя и температуры;

На первом этапе были рассмотрены сушильные свойства глин месторождений Шеланга, а также добавок Инзеского диатомита и карбонатсодержащей глины месторождения Жуково при сушке на воздухе (н.у.). Сушильные свойства глин рассматривались с использованием программы «Ceramic Master», с помощью которой, были определены основные параметры сушки (табл. 1).

Таблица 1

Сушильные характеристики глинистого сырья

Сушильные характеристики	Глина месторождения Шеланга, РТ	Глина месторождения Жуково, РТ	Диатомит Инзенского месторождения, Ульяновская область
Воздушная усадка, %	9,4	6,5	4,7
Начальная влажность (формовочная влажность), %	22,2	23,9	48,4
Критическая влажность, %	4,8	11,5	32,3
Градиент влажности, %	17,4	12,4	16,1
Коэффициент чувствительности к сушке, ед.	3,6	1,1	0,5

Рассмотрев, полученные опытным путем, результаты сушильных характеристик глины месторождения Шеланга выяснили, что исходная глина имеет коэффициент чувствительности 3,6 и является высокочувствительной к сушке вследствие этого, данное сырье требует модифицирования, так как в чистом виде она малопригодна для производства керамических изделий (в частности керамического кирпича).

В качестве модифицирующих добавок в данном исследовании были использованы диатомит Инзенского месторождения и карбонатная глина Жуковского месторождения. Положительное влияние подобных добавок в керамику приводиться в литературе [9, 10], однако механизм улучшения не раскрывается. Сушильные характеристики данного сырья были также определены с помощью модуля «Ceramic Master». Результаты эксперимента приведены в табл. 1. Коэффициент чувствительности данных добавок к сушке составляет 1,1 и 0,5 единиц, что соответствует малой чувствительности сырья к сушке, и соответственно внесение их в шихту позволит повысить технологические параметры исходной глины месторождения Шеланга.

Для определения степени улучшения сушильных свойств при введении в состав шихты рассмотренных добавок были составлены шихты в соотношении Шеланговская глина: добавка как 70:30. Из полученных глиномасс были сформированы лабораторные образцы и испытаны с помощью модуля «Ceramic Master». Результаты исследования приведены в табл. 2.

Таблица 2

Сушильные характеристики шихт на основе глины месторождения Шеланга

Сушильные характеристики	Шеланговская глина 70 % + карбонатная глина 30 %	Шеланговская глина 70 % + диатомит 30 %
Воздушная усадка, %	8,2	6,5
Начальная влажность (формовочная влажность), %	19,7	32,8
Критическая влажность, %	2,9	16
Градиент влажности, %	16,8	16,8
Коэффициент чувствительности к сушке, ед.	5,2	1,58

Из результатов исследования видно, что наилучшим модифицирующим действием, в части улучшения сушильных свойств глины Шеланговского месторождения обладает диатомит. Так введение данной добавки понижает чувствительность материала к сушке 3,6 до 1,58 единиц, переводя высокочувствительное к сушке сырье в среднечувствительное состояние. Тогда как добавка глины Жуковского месторождения показывает обратный эффект – увеличивая чувствительность до 5,2 единиц. Поэтому в дальнейших исследованиях мы ограничились введением в глинистое сырье месторождения Шеланга Инзенского диатомита.

Для определения такой разности в чувствительности материалов к сушке была исследована динамика ухода влаги из этих материалов под действием внешних факторов (скорости потока воздуха и температуры теплоносителя). Исследование также проводилось с применением испытательного модуля «Ceramic Master», по результатам исследования были построены графические зависимости ухода влаги с течением времени сушки (рис. 2).

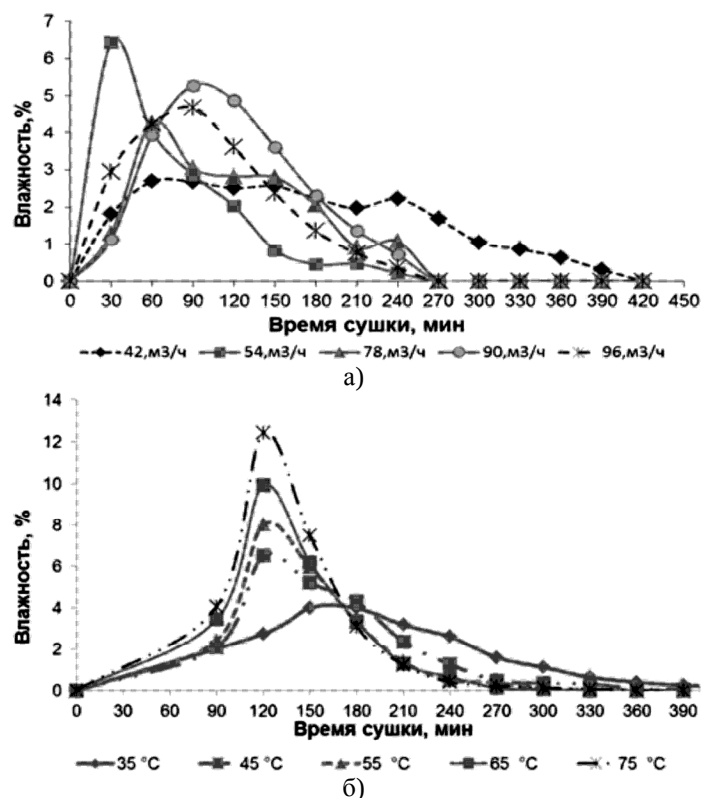


Рис. 2. Динамика ухода влаги из глины месторождения Шеланга при изменении скорости (а) и температуры (б) теплоносителя

При рассмотрении динамики ухода влаги из глины месторождения Шеланга (рис. 2) в зависимости от скорости и расхода теплоносителя можно увидеть следующие закономерности: Интенсивность ухода влаги в первые часы сушки максимальна уже при расходе теплоносителя $54 \text{ м}^3/\text{ч}$, так за первые 30 минут с поверхности образца уносится более 6,5 % влаги, что создает значительные напряжения в структуре материала и он растрескивается. Необходимо отметить при этом важность такого параметра, как начальная (формовочная) влажность материал, которая, безусловно, может повлиять на трещиностойкость материала на начальном этапе сушки изделия, создав дополнительные напряжения при удалении влаги. В данном испытании она была превышена. Аналогичная картина наблюдается и при более интенсивных расходах теплоносителя, так максимальная высота пика ухода влаги при расходе теплоносителя $90\text{-}96 \text{ м}^3/\text{ч}$ достигает 4,7-5,3 %, что свидетельствует о повышенной чувствительности материала к сушке. Таким образом, оптимальным значением расхода теплоносителя для глины Шеланговского месторождения считаем $42 \text{ м}^3/\text{ч}$. Уход влаги представлен пиком не более 2,8 %, при этом сам график характеризовался достаточно пологим участком, обуславливающим равномерный выход влаги из материала.

На графике, где интенсивность ухода влаги из материала была определена повышением температурных условий, закономерность ухода влаги была выражена намного четче. Так с повышением температуры теплоносителя высота пика ухода влаги на начальных этапах сушки достигает 12,8 % при температуре 75°C . Таким образом, использование программно-технического модуля «Ceramic Master» может позволить контролировать процесс равномерного ухода влаги из материала, регулируя температуру и скорость сушильных газов.

Аналогичные исследования были проведены для Инзенского диатомита. Результаты исследования динамики ухода влаги из диатомита Инзенского месторождения показали следующие закономерности:

1. Пики ухода влаги из материала даже при изменении расхода теплоносителя более пологие, чем у глины Шеланговского месторождения, хотя максимальная высота пика (при расходе теплоносителя $96 \text{ м}^3/\text{ч}$) составляет 17,5 %. Данный показатель

объясняется высокой пористостью самого диатомита, а также способностью хорошо удерживать воду.

2. При повышении температуры теплоносителя наблюдается такая же закономерность роста пика ухода влаги из материала, как и в глине месторождения Шеланга. Высота пика достигает 55 % и обусловлена большой пористостью и значительной формовочной влажностью материала. При этом чувствительность материала к сушке возрастает незначительно и использование данного материала в качестве модифицирующей добавки позволит снизить чувствительность композиции глины Шеланга + диатомит.

Для рассмотрения влияния скорости и температуры сушильного агента на динамику ухода влаги из состава на основе глин месторождений Шеланга и введенной в него добавки Инзенского диатомита, были проведены аналогичные исследования. Полученные зависимости были сведены в общие графики (рис. 3).

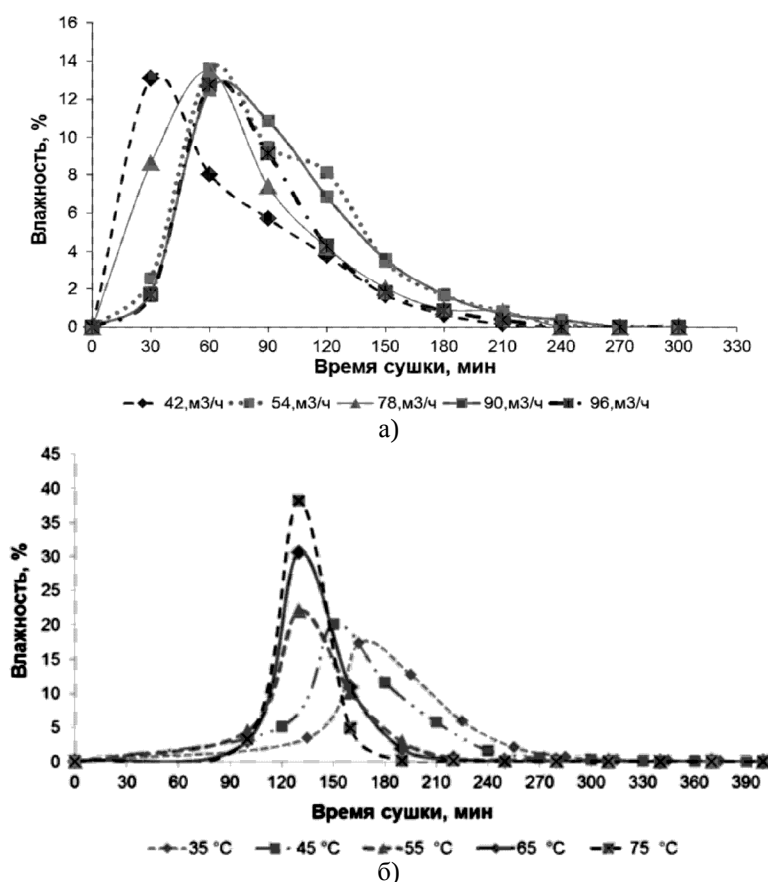


Рис. 3. Динамика ухода влаги из композиции глины и диатомита при изменении интенсивности скорости (а) и температуры (б) теплоносителя

Введение добавки диатомита позволяет понизить чувствительность сформованного материала к сушке до значения 1,1 при условиях сушки $42 \text{ м}^3/\text{ч}$ и 25°C . При увеличении скорости теплоносителя показатель чувствительности материала к сушке изменяется незначительно, однако по графикам видно расширение временного интервала активного ухода влаги за счет изменения способности материала удерживать влагу. В результате этого происходит сокращение времени полного высыхания материала в среднем с 270 (для глины без добавки) до 210 минут (для глины модифицированной диатомитом).

Динамика ухода влаги из материала, полученного модификацией диатомитом, характеризуется также увеличением интенсивности ухода влаги при изменении температурных режимов испытаний. Значительная высота пика ухода влаги обусловлена введением в состав шихты диатомита, обладающего большой пористостью и значительной формовочной влажностью материала.

Для понимания коллоидно-химических взаимодействий в системе глина-вода и процесса модифицирования был исследован электрокинетический потенциал

исследуемого природного сырья. Получены следующие значения электрокинетического потенциала (ζ):

Глина месторождения Жуково: – 0,0578, В

Глина месторождения Шеланга: – 0,0427, В

Инзенский диатомит: – 1,5550, В

По результатам исследований видно, что диатомит обладает более отрицательным значением ζ -потенциала, что обуславливает способность материала удерживать воду и отдавать ее при сушке постепенно, снижая внутренние напряжения в материале. Поэтому введение диатомит в качестве добавки способствует улучшению технологических (сушильных) свойств глины.

Таким образом, проведенное исследование показало, что разработанный программный модуль «Ceramic Master» позволяет решить фундаментальную научную проблему оценки качества глинистого сырья для строительной керамики. Разработанные подходы к оценке технологических свойств позволяют производить анализ технологических свойств глинистого сырья, как при геологоразведке, так и при эксплуатации месторождений, а также для проведения оперативного регулирования технологического режима сушки керамического производства в зависимости от качества применяемого сырья.

Список библиографических ссылок

1. Гузман И. Я. Химическая технология керамики и огнеупоров. М. : ООО РИФ Стройматериалы, 2003. 496 с.
2. Gömze L. A., Gömze L. N. Relations between the material structures and drying properties of ceramic bricks and roof tiles // *Építőanyag*. 2008. Vol. 60. № 4. P. 102–107.
3. Scherer G. W. Theory of Drying // *Journal of the American Ceramic Society*. 1990. Vol. 73. № 1. P. 3–14.
4. Булавин И. А. Тепловые процессы в технологии силикатных материалов. М. : Стройиздат, 1982. 247 с.
5. Книгина Г. И., Вершинина Э. Н., Тацки Л. Н. Лабораторные работы по технологии строительной керамики и искусственных пористых заполнителей. М. : Высш. шк., 1977. 208 с.
6. Гузман И. Я. Практикум по технологии керамики. М. : ООО РИФ Стройматериалы, 2005. 336 с.
7. Вакалова Т. В., Погребенков В. М., Ревва И. Б. Исследование физико-механических и технологических свойств глинистого сырья: методические указания. Томск : Томский политехнический университет, 2014. 36 с.
8. Dovzhenko I. G. Effect of metallurgical slags on the drying properties of ceramic bodies for the production of facing brick production // *Glass and Ceramics*. 2014. Vol. 70. № 11-12. P. 444–447.
9. Крупа А. А., Городов В. С. Химическая технология керамических материалов. Киев : Высш. шк., 1990. 399 с.
10. Кашкаев И. С., Шейнман Е. Ш. Производство глиняного кирпича. М. : Высш. шк., 1979. 348 с.

Chekmarev A.S. – candidate of technical sciences, the head of technological testing department

E-mail: mr.chekmarev@gmail.com

Skvorcov A.V. – candidate of technical sciences, leading scientific member

E-mail: skvorcov07@mail.ru

Gainutdinov N.K. – candidate of technical sciences, the deputy of the head of technological testing department

E-mail: ganaka2@yandex.ru

Central Research Institute of Geology of Industrial Minerals

The organization address: 420097, Russia, Kazan, Zinina st., 4

Investigation of the drying process conditions of building ceramics for creation an express method for the assessment of technological properties of clay raw materials

Abstract

Problem statement. The aim of the study was the creation of an express method of the assessment of clay raw materials previous burning properties.

Results. As a result of research developed a software module «Ceramic Master», which allows to evaluate parameters such as air shrinkage, the critical humidity, the humidity gradient, the coefficient of sensitivity of the material for drying, and additionally to determine the plastic properties of clay mixtures. The raw clay and diatomaceous earth materials were tested, the possibility of modification of the clay raw materials determined, and the mechanism of modification was explained.

Conclusions. The study showed that the developed software module «Ceramic Master» allows you to solve a fundamental scientific problem of assessing the quality of clay raw materials for building ceramics. Developed approaches of assessing technological properties allow to analyze the technological properties of clay raw materials, as in the exploration and exploitation of mineral deposits, as well as for operational control of the technological mode of drying ceramic production depending on quality of the used raw material.

Keywords: clay raw materials, diatomite, technological properties, geotechnical assessment of the raw materials, the response factor modification.

References

1. Guzman I. Y. Chemical technology of ceramics and refractories. M. : LLC RIF «Stroimaterialy», 2003. 496 p.
2. Gömze L. A., Gömze L. N. Relations between the material structures and drying properties of ceramic bricks and roof tiles // *Építőanyag*. 2008. Vol. 60. № 4. P. 102–107.
3. Scherer G. W. Theory of Drying // *Journal of the American Ceramic Society*. 1990. Vol. 73. № 1. P. 3–14.
4. Bulavin I. A. Heat processes in technology of silicate materials. M. : Stroyizdat, 1982. 247 p.
5. Knigina, G. I., Vershinin E. N., Tatski L. N. Laboratory works on the technology of building ceramics and artificial porous aggregates. M. : Higher. Sch., 1977. 208 p.
6. Guzman I. Y. Workshop on ceramic technology. M. : LLC RIF «Stroimaterialy», 2005. 336 p.
7. Vakulova T. V., Pogrebenkov V. M., Revva I. B. Study of physical-mechanical and technological properties of clay raw materials. Tomsk : Tomsk Polytechnic University, 2014. 36 p.
8. Dovzhenko I. G. Effect of metallurgical slags on the drying properties of ceramic bodies for the production of facing brick production // *Glass and Ceramics*. 2014. Vol. 70. № 11-12. P. 444–447.
9. Krupa A. A., Gorodov V. S. Chemical engineering ceramic materials. Kiev : Higher. Sch., 1990. 399 p.
10. Kachkaev I. S., Scheinman E. S. Production of clay bricks. M. : Higher. Sch., 1979. 348 p.