

ВЛИЯНИЕ ВЫГОРАЮЩИХ ДОБАВОК НА РАСХОД ПРИРОДНОГО ГАЗА ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ КЕРАМИЧЕСКОГО КИРПИЧА

INFLUENCE OF BURN-OUT ADDITIVES ON CONSUMPTION NATURAL GAS IN THE PRODUCTION OF CERAMIC BRICK

УДК 66.012.32:691.421

А.В. Котович^{1*}, А.С. Ковчур¹, А.Л. Климентьев¹, П.И. Манак²

¹ Витебский государственный технологический университет

² ОАО «Обольский керамический завод»

<https://doi.org/10.24412/2079-7958-2021-1-132-141>

A. Kotovich^{1*}, A. Kovchur¹, A. Kliment'ev¹, P. Manak²

¹ Vitebsk State Technological University

² Obolsky Ceramic Plant JSC

РЕФЕРАТ

ТЕХНОЛОГИЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ, КЕРАМИЧЕСКИЙ КИРПИЧ, ВЫГОРАЮЩАЯ ДОБАВКА, ТОРФ, УГОЛЬ, РАСХОД, ПРИРОДНЫЙ ГАЗ, ЭКОНОМИЯ, ЭНЕРГИЯ, ЭФФЕКТИВНОСТЬ

Объектом проектирования является технология изготовления керамического кирпича.

В статье рассмотрена технология производства керамического кирпича, его изготовление с добавлением различных выгорающих добавок. Показан эффект от применения выгорающих добавок, уменьшение количества сжигаемого природного газа, снижение энергетических затрат.

Предложенный подход к производству керамических изделий строительного назначения позволяет существенно снизить расход природного газа на стадии обжига изделий за счет добавления в шихту различных выгорающих добавок. Был проведен эксперимент на опытной партии керамического кирпича и проанализированы его результаты.

Результат работы – доказана эффективность данного метода производства.

Область применения результатов – кирпичная промышленность.

Научная новизна работы заключается в том, что определена целесообразность применения данного метода производства керамического кирпича с точки зрения снижения расхода природного газа на этапе обжига изделий без снижения их физико-механических свойств.

ABSTRACT

PRODUCTION TECHNOLOGY, CERAMIC BRICK, BURN-OUT ADDITIVE, PEAT, COAL, CONSUMPTION, NATURAL GAS, ECONOMY, ENERGY, EFFECTIVENESS

The design object is the technology of ceramic brick production.

The article discusses the technology for the production of ceramic bricks and their manufacture with the addition of various burnout additives. It shows the effect of the use of burnout additives, a decrease in the amount of burnt natural gas, and a decrease in energy costs.

The proposed approach to the production of ceramic products for construction purposes can significantly reduce the consumption of natural gas at the stage of firing products by adding various burnable additives to the charge. An experiment was carried out on an experimental batch of ceramic bricks and its results were analyzed.

As the result of the study, the effectiveness of this production method is proven.

The field of application of the results is the brick manufacturing industry.

The scientific novelty of the work lies in the fact that the feasibility of using this method of producing ceramic bricks from the point of view of reducing the consumption of natural gas at the stage of firing products without reducing their physical and mechanical properties has been determined.

* E-mail: anton.kotovich97@gmail.com (A. Kotovich)

Современные тенденции развития Республики Беларусь в области строительства предъявляют всё более высокие требования к техническим характеристикам строительных материалов, что в свою очередь, в большинстве случаев, ведет к их удорожанию.

При производстве кирпича в составе керамической смеси используются различные добавки, каждая из которых имеет свою цель. Наиболее энергетически затратным этапом изготовления керамического кирпича является обжиг. В последнее время всё более распространённой становится технология, которая позволяет снизить энергетические затраты на этапе обжига за счет использования выгорающих добавок.

Целью работы является снижение энергозатрат при производстве кирпича без снижения его физико-механических свойств за счет использования выгорающих добавок, определение эффекта от включения выбранных выгорающих добавок в керамическую массу.

Задачами данной работы являются: анализ технологии изготовления керамического кирпича; анализ и сравнение энергетических затрат при производстве кирпича керамического рядового полнотелого одинарного, произведенного с использованием выгорающих добавок и без их использования.

Керамика – собирательное название широкой группы искусственных каменных материалов, получаемых формованием из глин с минеральными и органическими добавками с последующей сушкой и обжигом [1].

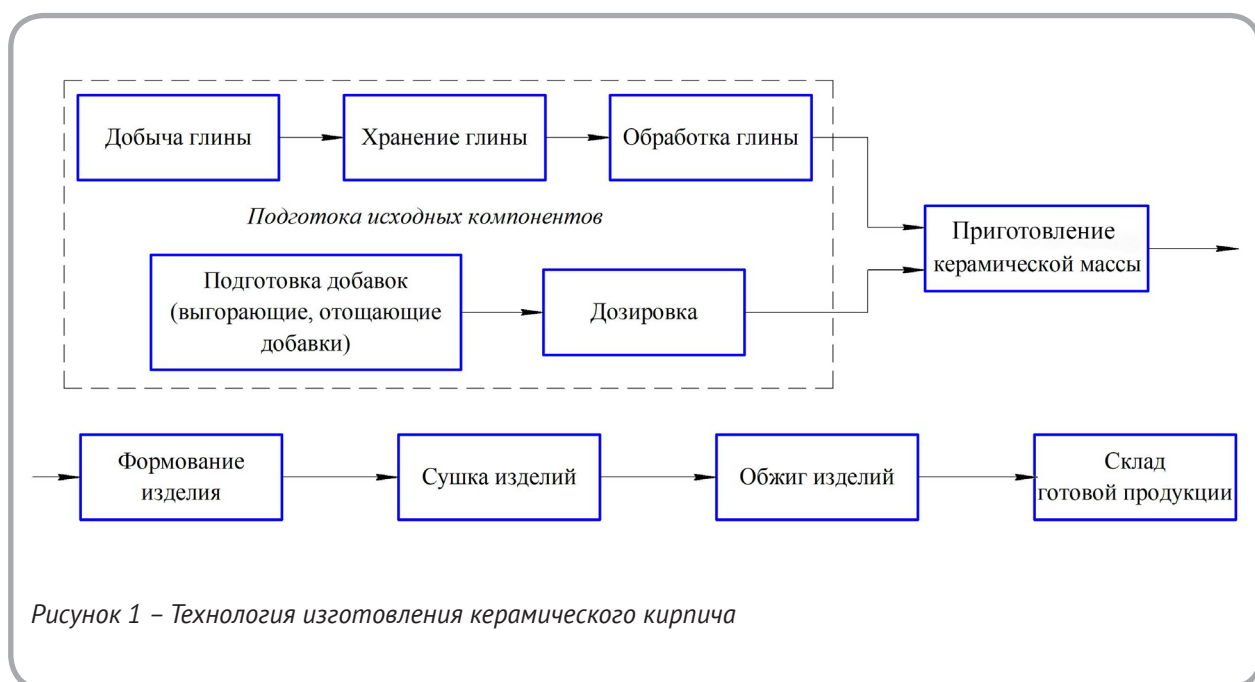
Изготовление строительной керамики – это многотоннажное производство, в котором используют природное сырье – глины, кварцевые пески и др., а также отходы промышленности – шлаки, золы, отходы обогащения и дробления горных пород и так далее.

Технология изготовления керамического кирпича состоит из отдельных этапов: подготовка исходных компонентов; приготовление керамической массы; формование изделия; сушка; обжиг; доставка готового изделия на склад.

Последовательность операций в упрощенном виде показана на рисунке 1. Как правило, последовательность операций не изменяется, но в зависимости от используемых глин, выгорающих и отощающих добавок, режимы работы одной и той же операции на различных заводах могут отличаться.

Выгорающие добавки помещают в глину на стадии приготовления керамической массы или ранее.

Формовка кирпича осуществляется двумя способами – экструзивным и полусухим прессо-



ванием.

При экструзивном способе формовки глиняная смесь перемешивается до однородной пластичной массы и перемещается в специальный отдел производственной линии, оснащенный конвейером-экструдером.

Затем под давлением смесь выдавливается через формовочное отверстие, имеющее определенную конфигурацию в сечении. Масса выходит на ленту в виде прямоугольной длинной объемной полосы.

Далее выдавленная сформованная масса на движущейся ленте поступает в следующий отдел технологической линии, где разрезается на отдельные кирпичи.

Сформованные изделия отправляются на сушку, так как на обжиг они должны поступать, имея влажность не более $2\div 3\%$.

После просушки кирпич поступает на обжиг, который производится в туннельной печи. Это камера, которая может иметь длину около 200 м. Процесс проводится при высоких температурах, составляющих от 1100 до 1400 градусов.

При полусухом прессовании очищенная, высушенная и измельченная до порошкового состояния и увлажненная глиняная масса засыпается в специальные формы.

Далее смесь подвергается прессованию.

Сформованные кирпичи поступают в камеры, где подвергаются сушке при температуре $80\div 85$ градусов в течение $24\div 48$ часов.

Высушенные кирпичи отправляют на обжиг в туннельную печь и обжигают при той же температуре, что и кирпич, сформованный экструзивным способом.

Несмотря на то, что технология производства керамических изделий строительного назначения, и конкретно кирпича, известна уже давно, данная отрасль не перестает развиваться. Так, чуть менее века назад начали исследовать эффект от применения выгорающих добавок при производстве керамического кирпича, а после и применять их.

Одной из существенных статей расхода при производстве керамических изделий строительного назначения являются затраты энергии, необходимой для обжига изделий. Необходимая энергия появляется в результате сжигания природного газа в туннельной печи. Одним из

способов понижения расхода газа является добавление в глиняную смесь выгорающих добавок, таких как древесные опилки, шлак, угольный порошок, торфяная пыль, изгарь, кокс, антрацит и другие [2]. Причем при применении разных выгорающих добавок расход газа изменяется по-разному.

Также в работе А. М. Салахова и соавторов рассмотрена возможность снижения энергетических затрат на производство кирпича путём использования техногенных отходов нефтяного шлама. В результате работы было выявлено улучшение эксплуатационных характеристик кирпича с возможностью повышения энергоэффективности производства [3].

В Беларуси в качестве выгорающих добавок при производстве кирпича чаще всего используют торф и уголь.

Результаты экспериментальных исследований и их обсуждение

На Обольском керамическом заводе проводились работы по производству нескольких опытных партий кирпича. Полученные образцы проходили испытания и проверялись на соответствие нормам по следующим параметрам: предел прочности на сжатие и изгиб, водопоглощение, плотность, морозостойкость, теплопроводность, пустотность. Также сравнивался расход природного газа на их производство.

Для проведения исследований был получен торф фракции 0–5 мм. Данная добавка изготавливалась из брикета топливного (СТБ 1919-2008 «Брикеты топливные на основе торфа»), доставленного на территорию завода из ОАО «ТБЗ Браславский».

Средняя относительная влажность торфа (фракции 0–5 мм) 40 %, глины – 22–23 %. Насыпная плотность торфа фракции 0–5 мм – 700 кг/м^3 .

Также для проведения исследований был получен уголь фракции 0–7 мм. Данная добавка изготавливалась из угля каменного (марка ТОМСШ, класс 0–50), доставленного на территорию завода из ООО «Углетранс».

Средняя относительная влажность угля – 12,10 %, глины – 23,0 %. Насыпная плотность угля – 840 кг/м^3 .

По результатам стало известно, что за 24 часа при производстве одного и того же количества

керамического кирпича, но с разными выгорающими добавками в его составе, количество сжигаемого природного газа значительно отличается. Так, для производства кирпича без выгорающих добавок в сутки было потрачено 2,236 тыс. м³ природного газа, для кирпича с торфом – 1,644 тыс. м³, с углем – 1,913 тыс. м³.

На рисунке 2 показан график фрагмента почасового расхода газа, который фиксировался по счетчику. На нем видно, что расход газа за каждый час для кирпича без выгорающих добавок значительно выше, чем для кирпича с добавлением торфа и угля. Однако разница между кирпичом с добавлением торфа и кирпичом с добавлением угля невелика.

Для расчёта количества природного газа, необходимого для производства 10 тысяч штук кирпича, использовалась формула (1).

$$P = \frac{M_B \times 10}{721} \text{ тыс. м}^3, \quad (1)$$

где M_B – расход газа за весь производственный цикл, тыс. м³; 10 – количество кирпича, для которого рассчитывается расход природного газа при его производстве, тыс. шт.; 721 – количе-

ство кирпича, произведенного с каждым видом выгорающих добавок, тыс. шт.

Для расчёта энергии, необходимой для производства 10 тысяч штук кирпича, использовалась формула (2).

$$E = V \times \beta \text{ МДж}, \quad (2)$$

где V – объем сжигаемого газа, м³; β – удельная теплотворная способность природного газа, $\beta = 33,5 \text{ МДж/м}^3$.

На рисунке 3 показан удельный расход природного газа и затраты энергии на производство 10 тыс. шт. кирпича. На нем видно, что наименьшее количество природного газа расходуется при добавлении в керамическую массу 5 % торфа фракции 0,25–0,5 мм. На втором месте стоит кирпич с добавлением угля, на третьем – кирпич без выгорающих добавок. По затратам энергии ситуация аналогичная. На производство кирпича с добавлением торфа в качестве выгорающей добавки тратится значительно меньше природного газа и, следовательно, требуется меньше энергии, чем на производство того же количества кирпича без выгорающих добавок или с углем в качестве выгорающей добавки. Кирпич

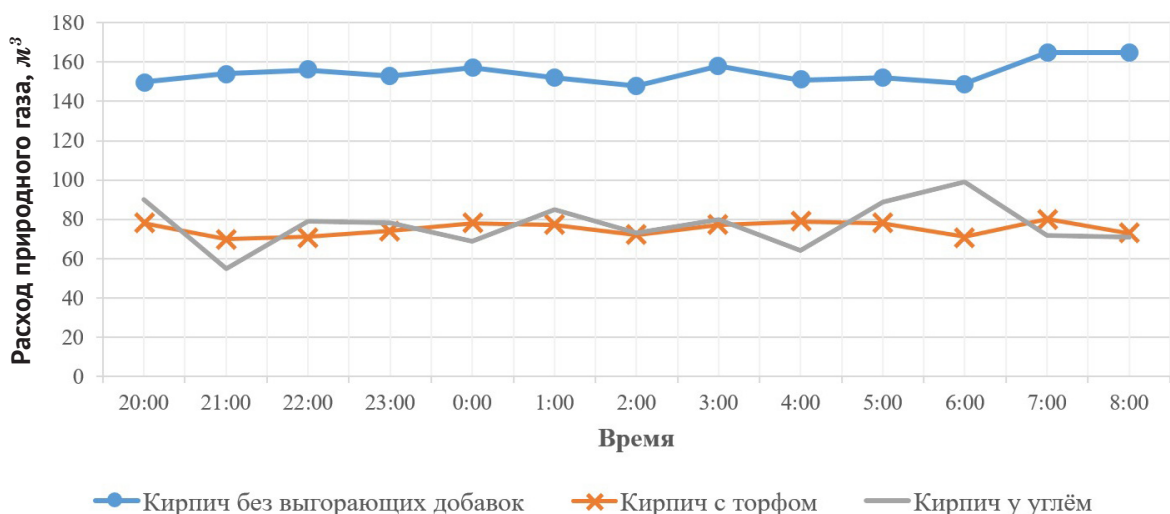
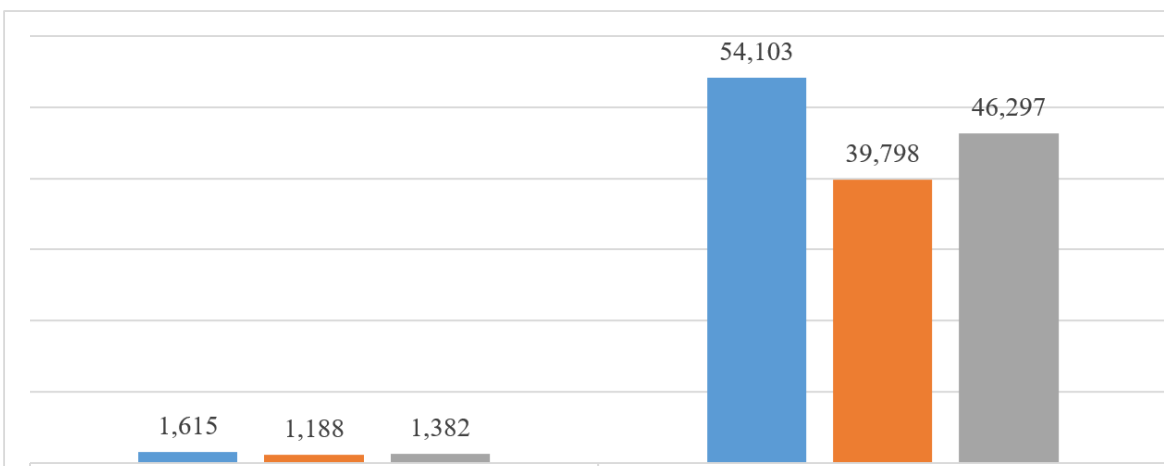


Рисунок 2 – Почасовой расход природного газа при производстве 10 тыс. шт. кирпича (по данным ОАО «Обольский керамический завод»)



Количество сжигаемого природного газа, тыс. м³

Кирпич без выгорающих добавок
Кирпич с торфом 0,25–0,5 мм
Кирпич с углём 0–7 мм

Энергия, МДж

Кирпич без выгорающих добавок
Кирпич с торфом 0,25–0,5 мм (5%)
Кирпич с углём 0–7 мм (2%)

Рисунок 3 – Удельный расход природного газа и затраты энергии на производство 10 тыс. шт. кирпича

с добавлением угля стоит на втором месте по расходу природного газа и затратам энергии. Больше всего расход природного газа, а следовательно, и энергии при производстве кирпича без выгорающих добавок.

Экономия расхода природного газа рассчитывается по следующим формулам:

$$\Delta P = P_6 - P_z, \text{ тыс. м}^3, \quad (3)$$

$$\Delta P = \frac{P_6 - P_z}{P_6} \times 100\%, \quad (4)$$

где P_6 – расход природного газа, используемого на обжиг при производстве кирпича без выгорающих добавок, тыс. м³; P_z – расход природного газа, используемого на обжиг при производстве кирпича с добавлением какой-либо выгорающей добавки, тыс. м³.

Экономия затрат энергии рассчитывается по следующим формулам:

$$\Delta Z = Z_6 - Z, \text{ МДж}, \quad (5)$$

$$\Delta Z = \frac{Z_6 - Z}{Z_6} \times 100\%, \quad (6)$$

где Z_6 – затраты энергии, используемой на обжиг при производстве кирпича без выгорающих добавок, МДж; Z – затраты энергии, используемой на обжиг при производстве кирпича с добавлением какой-либо выгорающей добавки, МДж.

Разница в эффективности расхода газа между кирпичом с добавлением торфа и кирпичом с добавлением угля рассчитывается по формулам:

$$\Delta P_{эф} = \Delta P_m - \Delta P_y, \text{ тыс. м}^3, \quad (7)$$

$$\Delta P_{эф} = \frac{\Delta P_m - \Delta P_y}{\Delta P_m} \times 100\% . \quad (8)$$

Разница в эффективности затрат энергии между кирпичом с добавлением торфа и кирпичом с добавлением угля рассчитывается по формулам:

$$\Delta Z_{эф} = Z_m - Z_y \text{ МДж}, \quad (9)$$

$$\Delta Z_{эф} = \frac{Z_m - Z_y}{Z_m} \times 100\% . \quad (10)$$

Из результатов расчётов видно, что расход газа при производстве кирпича с добавлением торфа меньше, чем при производстве кирпича без выгорающих добавок на 0,427 тыс. м³, или на 26,44 %. Расход газа при производстве кирпича с добавлением угля меньше, чем при производстве кирпича без выгорающих добавок на 0,233 тыс. м³, или на 14,43 %. Затраты энергии при производстве кирпича с добавлением торфа меньше, чем при производстве кирпича без выгорающих добавок на 14,595 МДж, или на 26,83 %. Затраты энергии при производстве кирпича с добавлением угля меньше, чем при производстве кирпича без выгорающих добавок

на 8,097 МДж, или на 14,88 %.

Разница в эффективности расхода газа между кирпичом с добавлением торфа и кирпичом с добавлением угля составила 0,194 тыс. м³, или 45,43 %. Разница в эффективности затрат энергии между кирпичом с добавлением торфа и кирпичом с добавлением угля составила 6,498 МДж, или 44,52 %. То есть можно сделать вывод, что по расходу газа и, следовательно, затратам энергии кирпич с добавлением торфа выгоднее кирпича с добавлением угля на указанные выше значения.

За двенадцать месяцев 2019 года на ОАО «Обольский керамический завод» было произведено 18215,5 тыс. шт. кирпича. Расход природного газа при производстве данного количества кирпича рассчитывается по формуле:

$$P^{год} = \frac{P^{10} \times 18215,5}{10} \text{ тыс. м}^3, \quad (11)$$

где P^{10} – расход природного газа, используемого на обжиг при производстве 10 тыс. шт. кирпича с соответствующей выгорающей добавкой, тыс. м³.

Экономия природного газа при производстве годового количества кирпича рассчитывается по следующим формулам:

$$\Delta P^{год} = P_6^{год} - P_z^{год} \text{ тыс. м}^3, \quad (12)$$

Таблица 1 – Экономия расхода природного газа, затрат энергии и разница в эффективности их расхода при производстве 10 тыс. шт. кирпича с разными выгорающими добавками

Экономия расхода природного газа, ΔP				Экономия затрат энергии, ΔZ			
При добавлении торфа		При добавлении угля		При добавлении торфа		При добавлении угля	
тыс. м ³	%	тыс. м ³	%	МДж	%	МДж	%
0,427	26,44	0,233	14,43	14,595	26,83	8,097	14,88
Разница в эффективности расхода природного газа при производстве кирпича с выгорающими добавками, $\Delta P_{эф}$				Разница в эффективности затрат энергии при производстве кирпича с выгорающими добавками, $\Delta Z_{эф}$			
тыс. м ³		%		МДж		%	
0,194		45,43		6,498		44,52	

P_2^{zod} – расход природного газа, используемого на обжиг при производстве годовой партии кирпича с добавлением какой-либо выгорающей добавки, *тыс. м³*.

Затраты энергии при производстве годового количества продукции рассчитывается по формуле:

$$Z^{zod} = \frac{Z^{10} \times 18215,5}{10} \text{ МДж,} \quad (13)$$

где Z^{10} – затраты энергии на обжиг 10 тыс. шт. кирпича с соответствующей выгорающей добавкой, *МДж*.

Экономия энергии при производстве годового количества кирпича рассчитывается по следующей формуле:

$$\Delta Z^{zod} = Z_6^{zod} - Z_z^{zod} \text{ МДж,} \quad (14)$$

Z_2^{zod} – затраты энергии на обжиг при производстве годовой партии кирпича с добавлением какой-либо выгорающей добавки, *МДж*.

Из результатов расчётов видно, что расход газа при производстве годового количества кирпича с добавлением торфа меньше, чем при

производстве годового количества кирпича без выгорающих добавок на 777,802 *тыс. м³*. Расход газа при производстве годового количества кирпича с добавлением угля меньше, чем при производстве годового количества кирпича без выгорающих добавок на 424,421 *тыс. м³*. Затраты энергии при производстве годового количества кирпича с добавлением торфа меньше, чем при производстве кирпича без выгорающих добавок на 26057,273 *МДж*. Затраты энергии при производстве годового количества кирпича с добавлением угля меньше, чем при производстве кирпича без выгорающих добавок на 14219,02 *МДж*.

Условием для внедрения энергоэффективной технологии производства керамического кирпича является обеспечение соответствия значений нормативных показателей кирпича, получаемого данной технологией, установленным требованиям [4].

Опытные образцы подвергались испытаниям на морозостойкость, прочность на сжатие, прочность на изгиб. Для более удобного представления такие параметры, как прочность на сжатие, прочность на изгиб и их средние значения из образцов опытной партии показаны на рисунках 4–5.

На рисунке 4 показана средняя прочность образцов готовой продукции на сжатие. Как видно, наибольшая средняя прочность была достигнута

Таблица 2 – Расход природного газа, затраты энергии и их экономия по сравнению с базовым вариантом без выгорающих добавок при производстве 18215,5 тыс. шт. кирпича (за год)

	Расход природного газа на 18215,5 тыс. шт. кирпича (за год), P^{zod} , тыс. м ³	Затраты энергии на производство 18215,5 тыс. шт. кирпича (за год), Z^{zod} , МДж	
без выгорающих добавок	2941,803	98551,32	
с торфом	2164,001	72494,047	
с углем	2517,382	84332,3	
Экономия расхода природного газа на производство 18215,5 тыс. шт. кирпича (за год), ΔP^{zod}, тыс. м³		Экономия затрат энергии на производство 18215,5 тыс. шт. кирпича (за год), ΔZ^{zod}, МДж	
с торфом	с углём	с торфом	с углём
777,802	424,421	26057,273	14219,02

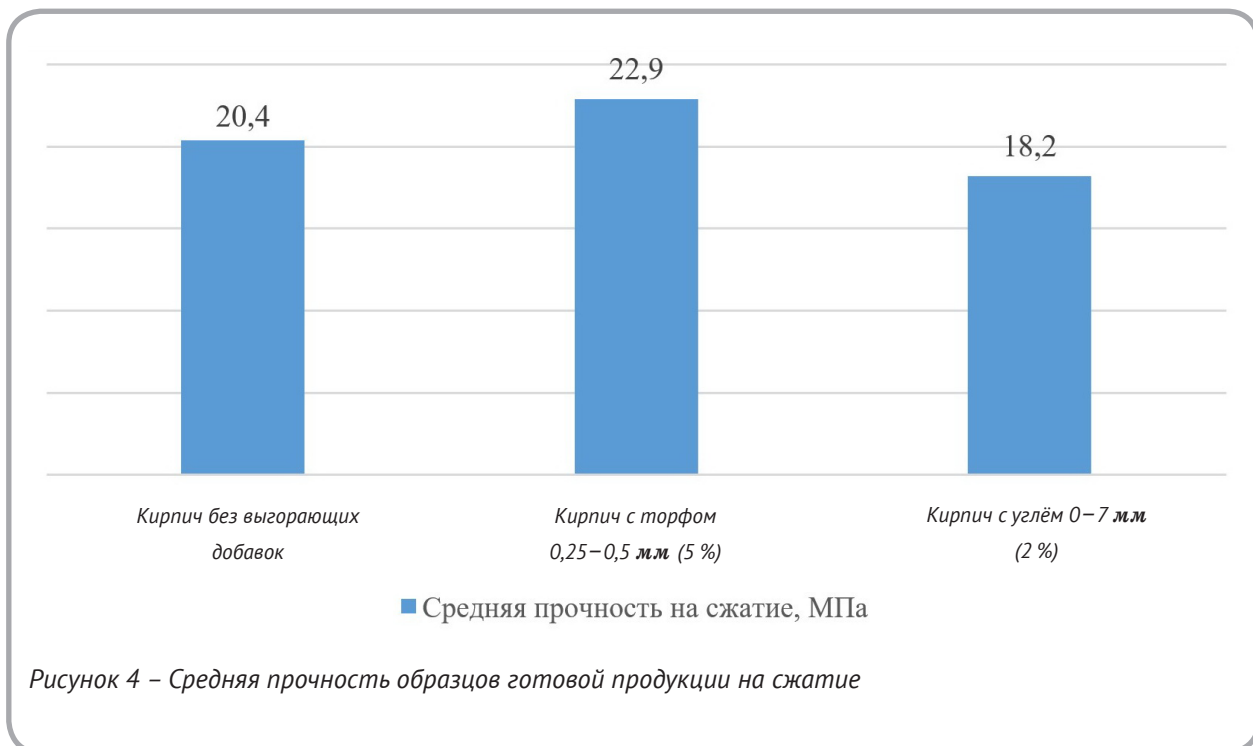


Рисунок 4 – Средняя прочность образцов готовой продукции на сжатие

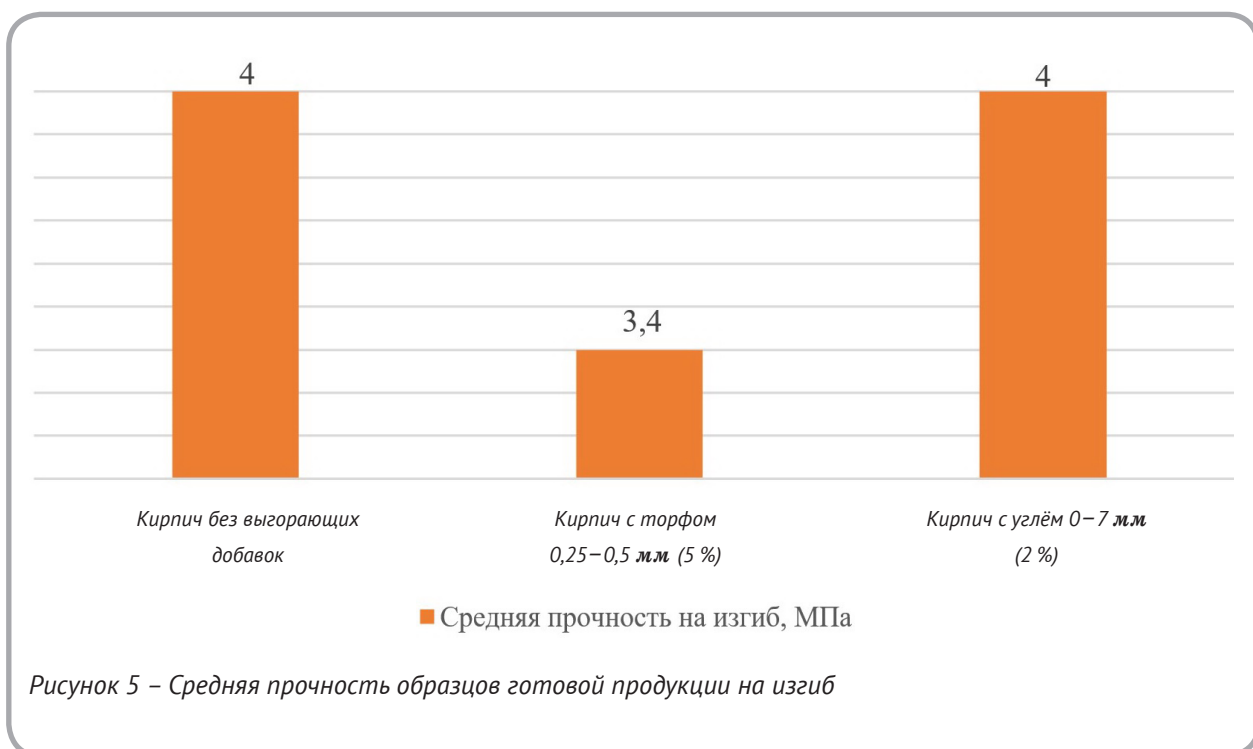


Рисунок 5 – Средняя прочность образцов готовой продукции на изгиб

у образцов с 5 % торфа в качестве выгорающей добавки (22,9 *МПа*). Вторым по прочности на сжатие был образец без выгорающих добавок (20,4 *МПа*). Наименьшим по прочности на сжатие оказался образец с добавлением 2 % угля в

качестве выгорающей добавки (18,2 *МПа*).

На рисунке 5 показана средняя прочность образцов готовой продукции на изгиб. Наибольшая средняя прочность была достигнута у образцов с 2 % угля в качестве выгорающей добавки

(4 *МПа*) и у образцов без выгорающих добавок (4 *МПа*). Наименьшим по прочности на сжатие оказался образец с добавлением 5 % торфа в качестве выгорающей добавки (3,4 *МПа*).

Оценка изменения характеристик продукции в результате использования выгорающих добавок

Размеры и геометрическая форма данной продукции отвечают требованиям СТБ 1160-99. Нормативом установлен контроль по следующим параметрам: геометрические размеры, правильность формы и шероховатость поверхности; водопоглощение; плотность; морозостойкость; предел прочности при сжатии; предел прочности при изгибе и др. В соответствии с СТБ 1160-99 существуют следующие марки прочности кирпича: М75, М100, М125, М150, М175, М200, М250, М300. Кирпич без добавления выгорающих добавок и кирпич с добавлением торфа в среднем имеют прочность на сжатие, равную 20,4 *МПа* и 22,9 *МПа* соответственно, а их средняя прочность на изгиб равна 4 *МПа* и 3,4 *МПа* соответственно, а значит они выдерживают марку по прочности М200, для которой необходимая прочность на сжатие для 5 образцов равна 20 *МПа*, а прочность на изгиб – 3,4 *МПа*. Кирпич с добавлением угля, имея прочность на сжатие, равную 18,2 *МПа*, а прочность на изгиб, равную 4 *МПа*, выдерживает марку М175, для которой прочность на сжатие должна быть не менее 15,5 *МПа*, а прочность на изгиб – не менее 3,1 *МПа*.

У готовой продукции, в составе которой присутствует 5 % торфа, наблюдается снижение массы и, как следствие, относительной плотности черепка. Разность масс для одного изделия КРО с добавлением торфа и обычного изделия КРО составила 171 г, причем водопоглощение уменьшилось. При этом, как видно на рисунках 4 и 5, предел прочности на сжатие в среднем вырос на 2,5 *МПа* (до 22,9 *МПа*), а предел прочности на изгиб уменьшился на 0,6 *МПа* (до 3,4 *МПа*).

У готовой продукции, в составе которой присутствует 2 % угля, изменения массы изделия не наблюдается и, как следствие, не наблюдается изменения относительной плотности черепка. При этом предел прочности на сжатие в среднем уменьшился на 2,2 *МПа* (до 18,2 *МПа*), а предел прочности на изгиб остался неизменным. Водопоглощение не изменилось (рисунки 4, 5).

ВЫВОДЫ

Было зафиксировано снижение расхода природного газа, а, следовательно, и энергозатрат при производстве керамического кирпича. Эффект снижения расхода газа заключается в том, что при сжигании выгорающая добавка выделяет дополнительное тепло внутри кирпича, которое, в свою очередь, увеличивает скорость спекания керамической массы. Также необходимо отметить, что это влечет за собой и изменение технических характеристик кирпича. По этим результатам можно сделать вывод, что для наименьших энергозатрат в качестве выгорающей добавки между углем и торфом следует выбирать торф.

Была выявлена возможность изменения физико-механических свойств как в сторону их ухудшения, так и в сторону улучшения. Данный эффект возможен и для других видов керамического кирпича, но это требует дополнительного исследования целесообразности данного метода снижения себестоимости готовой продукции, так как неизвестно, как изменятся их технические характеристики из-за особенностей их формы. Например, для пустотелого кирпича, имеющего множественные сквозные отверстия, служащие для снижения теплопроводности и уменьшения веса изделия.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Дятлова, Е. М., Климош, Ю. А. (2014), *Химическая технология керамики и огнеупоров*, Минск, БГТУ, 2014, Ч. 1, 226 с.
2. Ковчур, А. С., Гречаников, А. В., Ковчур, С. Г., Тимонов, И. А., Потоцкий, В. Н. (2018), Керамический кирпич с добавлением осадков химической водоподготовки теплоэлектроцентралей, *Труды БГТУ*, 2018, Серия 2, № 2, С. 146–158.
3. Салахов А. М., Демидов, А. А., Фасеев, Г. Р., Морозов, В. П., Салахова, Р. А. (2015), Пути снижения энергоемкости производства керамического кирпича, Технологии материалов, *Вестник КТУ*, 2015, том 18, № 4, С. 138-140.
4. СТБ 1160-99. *Кирпич и камни керамические. Технические условия*, введ. 2.06.99, (1999), Минск, Министерство архитектуры и строительства Республики Беларусь.

REFERENCES

1. Djatlova, E. M., Klimosh, Ju. A. (2014), *Himicheskaja tehnologija keramiki i ogneuporov* [Chemical technology of ceramics and refractories], Minsk, BGTU, 2014, Ch. 1, 226 p.
2. Kauchur, A. S., Hrachanikau, A. V., Kauchur, S. G., Timonov, I. A., Patotski, V. N. (2018), Ceramic brick with addition of rainfall of chemical water treatment of combined heat and power plants [Keramicheskij kirpich s dobavleniem osadkov himicheskoy vodopodgotovki teploelektracentralej], *Trudy BGTU – Works of BSTU*, 2018, Series 2, № 2, pp. 146–158.
3. Salahov, A. M., Demidov, A. A., Faseev, G. R., Morozov, V. P., Salahova, R. A. (2015), Ways to reduce the energy intensity of ceramic brick prouction [Puti snizhenija jenergoemkosti proizvodstva keramicheskogo kirpicha], *Tehnologii materialov – Materials technology, Vestnik KTU – Bulletin of KTU*, 2015, tom 18, № 4, pp. 138–140.
4. STB 1160-99. *Ceramic bricks and stones. Technical conditions introduced*, vved. 2.06.99, (1999), Minsk, Ministry of Architecture and Construction of the Republic of Belarus.

Статья поступила в редакцию 05. 04. 2021 г.