

УДК 666.3-127(047.3)

### СВОЙСТВА СТЕНОВЫХ КЕРАМИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ, ПОЛУЧАЕМЫХ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ВЫГОРАЮЩИХ ДОБАВОК НА ОСНОВЕ МЕСТНОГО СЫРЬЯ

канд. техн. наук А.М. ИВАНЕНКО, канд. техн. наук, доц. В.В. БОЗЫЛЕВ,  
канд. техн. наук А.А. БАКАТОВИЧ  
(Полоцкий государственный университет)

Приведены результаты экспериментальных исследований по подбору составов керамических масс с выгорающими добавками на базе сырьевых ресурсов Республики Беларусь для получения керамических изделий с высокими теплоизоляционными свойствами. Предлагается методика комплексной оценки формовочных свойств с учетом особенностей заводской технологии изготовления изделий. Изучено влияние добавок торфа, шамота и мазута на технологические и физико-механические свойства керамической массы и обожженных образцов. Оптимизированы составы керамической массы по содержанию добавок для получения пористой стеновой керамики.

Керамические стеновые изделия являются традиционным строительным материалом, проверенным временем. К основным достоинствам стеновой керамики следует отнести архитектурную выразительность построенных зданий, благоприятный микроклимат помещений, доступность сырья для ее производства. Недостатками материала считаются большой вес и низкие теплозащитные характеристики. Перед производителями стеновой керамики Республики Беларусь стоит задача повышения качества, расширения номенклатуры, снижения себестоимости выпускаемой продукции [1].

Большинство технологических схем производства грубой керамики для улучшения качественных характеристик изделий были ориентированы на использование добавки угля [2 - 4], которая в настоящее время должна импортироваться из-за пределов Республики Беларусь.

Вопрос замены выгорающей добавки угля на другую (на основе местного) сырья является в настоящее время актуальным при изготовлении керамических изделий. При этом приоритет должен быть отдан поиску выгорающей добавки, которая позволяет улучшить теплозащитные свойства изделий за счет создания пористой структуры.

В Полоцком государственном университете ведутся работы по изучению керамических масс с использованием добавок на основе торфа. В республике площади промышленной залежи торфа более 1,615 млн. га. Общий запас торфа составляет 5402,3 млн. т [5]. Торф подразделяют на верховой, низинный и переходный, при этом 57,4 % приходится на верховой [6].

Работа выполнялась с ориентацией на сырьевые материалы и классическую технологию получения керамических изделий методом пластического формования, применяемые на Обольском керамическом заводе. Три технологические линии по изготовлению стеновой керамики завода укомплектованы оборудованием Могилевского завода «Строммашина». Для исследований использовалась глина месторождения «Заполье», которая относится к умеренно пластичной, легкоплавкой и характеризуется следующими показателями: огнеупорность 1230 °С, температура обжига  $970 \pm 20$  °С, коэффициент чувствительности к сушке (по З.А. Носовой) 0,75...1, общая линейная усадка 6,7... 10,3 % при температуре  $1050 \pm 10$  °С. Химический состав глины приведен в табл. 1.

Таблица 1

Химический состав глины

Наименование оксидов	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	TiO <sub>2</sub>	CaO	MgO	K <sub>2</sub> O	Na <sub>2</sub> O	п.п.п.*	Свободный SiO <sub>2</sub>
Содержание, %	56,3... 59,1	14,64... 16,2	6,53...7,6	0,72...0,92	6,46...8,62	1,5...2,1	3,16	0,83	9,81	36,88

\*п.п.п. – потери после прокаливания.

Для регулирования формовочных свойств на Обольском керамическом заводе используется шамот; для получения выгорающей добавки использовался торф, добываемый на торфопредприятии им. Даумана (г.п. Оболь, Витебская обл.). Торф соответствует требованиям ТУ РБ 10021992.318 «Торф верховой» и характеризуется степенью разложения до 20 % и зольностью до 12 % [7].

Введение в керамическую массу добавок изменяет формовочные свойства. Предложены различные методы оценки технологических свойств керамической массы, связанных с параметрами формующего оборудования [8]. Однако до настоящего времени отсутствует общепринятая стандартизированная

методика оценки пластических свойств керамической массы, позволяющая прогнозировать формуемость бруса в заводских условиях.

На первом этапе для оценки формовочных свойств керамической массы использовались известные методики – по определению усилия сдвига  $P_{сдв}$  при одновременном сжатии на приборе Толстого; по определению напряжения сдвига  $\tau_0$  и вязкости  $\eta$  на коническом пенетрометре конструкции КИСИ; по определению деформаций образцов-цилиндров  $D$ ; по скорости прохождения массы через отверстия определенных размеров на приборе, работающему по принципу капиллярного вискозиметра [8 – 10].

Результаты определения свойств керамической шихты различными методами представлены в табл. 2. В составах 2 – 4 использовался торф фракции 0...1,25 мм с влажностью 50 %.

Формовочные свойства керамической шихты

Таблица 2

Состав	$P_{сдв}$ , кг	$\tau_0 \cdot 10^2$ , Па	$\eta \cdot 10^2$ , Па·с	$D$ , мм
1. Глина 90 % + шамот 10 % (заводской состав)	9,55	976	4397	7
2. Глина 95 % + торф 5 %	9,325	1107	5338	6
3. Глина 90 % + торф 10 %	9,89	1938	12606	4
4. Глина 80 % + торф 10 % + мазут 10 %	8,89	1611	6904	6

Из анализа данных табл. 2 следует, что с увеличением количества торфа возрастает усилие сдвига, напряжение сдвига, вязкость, снижается деформативность образцов. Следовательно, добавка торфа является отощителем. Дополнительное введение в состав добавки торфа мазута снижает усилие сдвига и ведет к снижению вязкости керамической массы.

Для оценки воспроизводимости результатов лабораторных исследований в заводских условиях выполняли опытное формование изделий на оборудовании Обольского керамического завода на составах, приведенных в табл. 2. Формовочные свойства керамических масс оценивались по значению давления в головке пресса.

Из результатов табл. 2 следует, что при вводе 5 % торфа усилие сдвига снизилось на 3 % в сравнении с заводским составом и возросло на 5 % при введении 10 % торфа (составы 1 - 3). Добавка мазута снизила  $P_{сдв}$  на 9 % (составы 1, 4). Характер изменения давления в головке пресса - показателя формуемости изучаемых составов в заводских условиях - был аналогичным.

Изучение составов по другим методикам показывает, что с введением 5... 10 % торфа увеличились показатели вязкости, напряжения сдвига и снизилась деформация образцов, следовательно, они не отражают характер работы заводского формующего оборудования. Это позволило сделать вывод о возможности использования прибора Толстого в качестве базового для оценки формовочных свойств исследуемых керамических масс.

В процессе заводских испытаний керамических масс было выявлено противоречие - при соблюдении нормируемого значения усилия сдвига (давления в головке пресса) изделия, изготовленные из отдельных составов, деформировались при работе толкателя автомата резки. Следовательно, необходимо дополнительное исследование прочностных показателей отформованного бруса.

В работе для оценки данного показателя использовался метод определения деформаций образцов-цилиндров под нагрузкой. Из данных табл. 2 следует, что ввод 5 и 10 % торфа снижает деформации изучаемых образцов, добавка мазута повышает деформации.

Оценка влияния добавки торфа предусматривает учет размеров частиц, процента ввода и влажности. В комплексе с заводской добавкой шамота возможен поиск путей оптимизации составов керамических масс. На первом этапе изучались составы керамической массы с добавкой торфа и шамота. Для этого реализован 4-х факторный эксперимент по плану Бокса. Факторы и уровни их варьирования представлены в табл. 3.

Факторы и границы варьирования

Таблица 3

Факторы	Единицы изм.	Границы варьирования в натуральных переменных		
		-1	0	+1
Процент ввода торфа, $X_1$	%	2	5	8
Фракция торфа, $X_2$	мм	0...1	1...3	3...5
Влажность торфа, $X_3$	%	20	50	80
Процент ввода шамота, $X_4$	%	0	5	10

На основании полученных результатов были построены адекватные математические зависимости. Адекватность и информативность проверяли с доверительной вероятностью  $P = 0,95$ . Ниже приведены зависимости для показателей:

*усилие сдвига для шихты*

$$P_{сов.} = 9,86 + 1,66X_1 - 0,3X_2 - 1,48X_3 + 2,2X_4 + 1,07X_3^2 - 0,91X_4^2 - 0,71X_1X_2 - 0,82X_1X_3 - 0,49X_1X_4 + 0,51X_2X_3;$$

*деформация образцов-цилиндров из шихты*

$$D = 6,56 - 2,47X_1 + 1,67X_3 - 2,9X_4 + 0,78X_1X_3 + 1,34X_1X_4 - 0,78X_2X_3 - 0,84X_3X_4;$$

*плотность керамического черепка*

$$\rho = 1564 - 141X_1 - 18X_2;$$

*прочность керамического черепка*

$$R_{сж.} = 204 - 51X_1 - 18X_2.$$

По полученным полиномиальным зависимостям строились квазиоднофакторные модели для изучения влияния факторов на свойства керамической шихты [11].

Усилие сдвига возрастает с ростом количества добавки торфа и шамота. При этом с увеличением размеров частиц торфа при малом вводе усилие сдвига возрастает, а при большом вводе уменьшается (рис. 1, а). Увеличение влажности торфа снижает  $P_{сов}$ , однако при использовании крупных фракций при малом вводе это влияние не имеет выраженного эффекта.

Из анализа влияния факторов на изменение деформации образцов-цилиндров следует, что с увеличением количества добавок торфа (рис. 1, б) и шамота этот показатель снижается. Деформации образцов уменьшаются при снижении влажности, а также с увеличением крупности частиц используемой добавки торфа.

Перечисленные пути регулирования показателей усилия сдвига и прочности отформованных образцов использованы при оптимизации составов керамических масс с использованием добавок торфа и шамота.

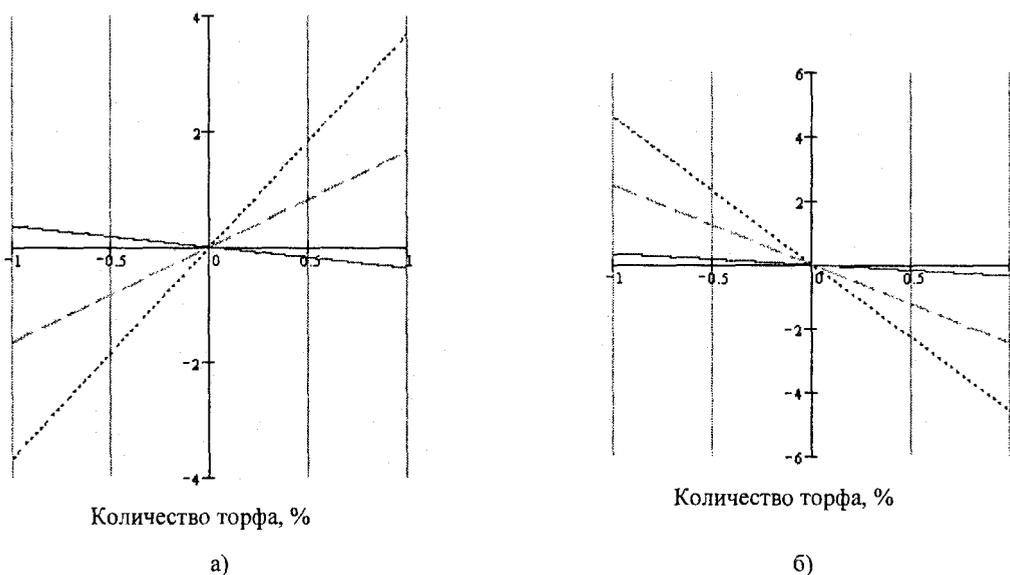


Рис. 1. Влияние изменения количества торфа на усилие сдвига шихты (а); деформации образцов (б)

Из анализа влияния факторов на плотность обожженных керамических образцов следует, что плотность снижается с увеличением количества торфа. Крупные фракции торфа при большом вводе интенсивнее снижают плотность, при малом вводе влияние размера частиц практически отсутствует.

Прочность обожженных образцов снижается с ростом количества добавки торфа. Влияние размера фракции добавки торфа существенно сказывается на изменении прочностных показателей. Так, крупные фракции при влажности 20...50 % вызывают снижение, тогда как мелкие фракции вызывают повышение прочности. Данный вывод явился определяющим, при назначении размера частиц выгорающей добавки торфа рекомендуется использовать фракцию 0...1 мм.

В процессе добычи и переработки изменяется влажность торфа. Фрезерный торф имеет влажность 80 %, в процессе полевой сушки происходит снижение влажности до 30...50 %. Данный показатель соответствует равновесной влажности торфа и обеспечивается естественной сушкой [6].

Полученные в работе зависимости позволили оптимизировать составы керамической шихты с добавками торфа и шамота. Рецептуры рассчитаны для влажности торфа 40, 60, 80 %. В табл. 4 приведено количество (в %) добавок, входящих в состав керамической массы.

Таблица 4

Составы керамической шихты\*

Плотность, кг/м <sup>3</sup>	Влажность торфа, %											
	40				60				80			
	Д, мм	Состав добавки, %		R, МПа	Д, мм	Состав добавки, %		R, МПа	Д, мм	Состав добавки, %		R, МПа
		торф	шамот			торф	шамот			торф	шамот	
1700	7	2,5	6,3	26,5	7	2,5	7,9	26,5	8**	2,4	7,4	26,5
1650	7	3,6	4,6	25,0	7	3,6	6,6	25,0	8"	3,6	6,6	25,0
1600	7	4,6	2,8	23,0	7	4,6	5,1	23,0	9"	4,6	5,7	23,0
1550	7	5,7	0,9	21,0	7	5,7	3,5	21,0	9**	5,7	4,7	21,0
1500					7	6,7	1,9	19,0	9**	6,7	3,5	19,0
1450					7	7,8	0,2	17,5	9"	7,8	2,1	17,5
1400									9**	9,4***	0	15,5

\* - содержание глины назначается в дополнение к расходу добавок до 100 %;

\*\* - составы не соответствуют требованиям по прочностным показателям отформованного изделия;

\*\*\* - прогнозируемое значение вне пределов зоны эксперимента.

Предлагаемые составы добавок позволяют подобрать рецептуру керамической шихты для получения керамических изделий плотностью в пределах 1450...1700 кг/м<sup>3</sup> при прочности 18...28 МПа. Контрольный состав имеет плотность 1850 кг/м<sup>3</sup> при прочности 29 МПа.

Известно, что при снижении влажности торфа происходит его диспергирование. При дроблении торфа влажностью 80 % на фрезбарабане выход фракция 0 - 1 мм составляет 30 %, а при влажности 60 % выход составляет 53 % [6].

Изучалась возможность получения фракции торфа 0... 1 мм на различном оборудовании для дробления. Анализировался фракционный состав дробленого торфа, полученного на фрезбарабане торфопредприятия им. Даумана. В составе преобладает фракция 0...0,63 мм (около 54 %), некоторую часть составляют волокна и частицы крупнее 5 мм (20 %), которые необходимо отсеивать. На модернизированной (без колосников) молотковой дробилке СМД-147 Обольского керамического завода получили около 85 % частиц фракции 0...0,63 мм. Наибольший выход фракции 0... 0,63 мм до 90 % показала молотковая дробилка, входящая в состав сельскохозяйственного комплекса АВМ для получения травяной муки.

Результаты позволяют говорить о возможности использования имеющихся средств измельчения торфа для получения выгорающей добавки. Дополнительно требуется установка сито-буратов для удаления крупных и волокнистых частиц. При этом не требуется высушивания сырья - дробление возможно при использовании влажности 30...60 %, полученной в полевых условиях.

Из данных табл. 4 можно сделать вывод, что снижение плотности керамических образцов возможно до значения 1400 кг/м<sup>3</sup>, которое может быть достигнуто при введении торфа влажностью 80 % в количестве 9,4 %. Введение выгорающей добавки сверх указанного значения для дальнейшего снижения плотности возможно только при использовании пластифицирующих добавок.

Предложено для повышения пластичности керамической массы при большом вводе торфа использовать мазут. Исследования выполнялись с использованием торфа влажностью 50 %, полученного дроблением фрезерного торфа на молотковой дробилке СМД-147 с отсевом частиц более 5 мм. Применяли мазут марки 100. Для этого реализован 3-х факторный эксперимент по плану Бокса ( $n_0 = 1$ ). Факторы и уровни их варьирования представлены в табл. 5.

Таблица 5

Факторы и границы варьирования

Факторы	Единицы измерения	Границы варьирования в натуральных переменных		
		-1	0	+1
Процент ввода торфа, $X_1$	%	7	9	11
Процент ввода мазута, $X_2$	%	2	5	8
Процент ввода шамота, $X_3$	%	0	3	6

На основании полученных результатов были построены адекватные математические зависимости для показателей:

*усилие сдвига шихты*

$$P_{сов.} = 10,76 + 0,84X_1 - 1,04X_2 + 0,81X_3 - 0,46X_2X_3;$$

*деформации образцов-цилиндров из шихты*

$$D = 2,93 - X_1 - 0,7X_3;$$

*плотность керамического черепка*

$$\rho = 1277 - 65X_1 - 86X_2;$$

*прочность керамического черепка*

$$R_{сж.} = 94 - 20,2X_1 - 28X_2.$$

Анализ полученных моделей проводился по построенным номограммам влияния торфа и мазута на выходы в зависимости от ввода шамота.

Свойства керамической массы анализировались с учетом требований заводской технологии ( $P_{сов.} = 9,4$  кг;  $D=7$  мм). Из анализа зависимости усилия сдвига следует, что в составах содержание шамота не может превышать 2 %. По показателю деформаций образцов из керамической массы все составы удовлетворяют требованиям заводской технологии.

Исследование влияния добавок на изменение плотности керамических образцов позволяет сделать вывод, что введение 1 % мазута соответствует дополнительному введению 1 % торфа и обеспечивает снижение плотности на 25...30 кг/м<sup>3</sup>.

Полученные математические модели позволили оптимизировать составы керамической шихты с добавками торфа, мазута и шамота с учетом требований заводской технологии по показателю  $P_{сов.} = 9,4$  кг (табл. 6).

Таблица 6

Составы керамической шихты<sup>1</sup>

Плотность, кг/м <sup>3</sup>	Процент ввода шамота											
	0				1				2			
	D, мм	Состав добавки, %		R, МПа	D, мм	Состав добавки, %		R, кг/см <sup>2</sup>	D, мм	Состав добавки, %		R, кг/см <sup>2</sup>
торф <sup>2</sup>		мазут	торф <sup>2</sup>			мазут	торф <sup>2</sup>			мазут		
1385	5	7	3,5	12,8								
1350	4	7,4	4,3	11,7	5	7	4,7	11,7				
1300	4	7,9	5,5	10,0	4	7,5	5,8	10,0	4	7,3	6,2	10,0
1250	4	8,4	6,6	8,5	4	8,1	6,9	8,5	4	7,9	7,2	8,5
1200	4	9,0	7,7	7,0	4	8,8	7,9	7,0				

<sup>1</sup> - содержание глины назначается в дополнение к расходу добавок до 100 %;

<sup>2</sup> - влажность торфа 50 %, содержание фракции 0...0,63 мм - 85 %.

Для всех составов показатель деформаций образцов соответствует требованиям заводской технологии. Из таблицы 6 следует, что ввод добавки торфа колеблется в пределах 7...10 %, добавки мазута - от 3,5 до 8 % и шамота-0...2 %.

Приведенные составы позволяют снизить начальную плотность керамических изделий, равную 1850 кг/м<sup>3</sup> (заводской состав), до величины 1385...1200 кг/м<sup>3</sup> при прочности 12,8...7 МПа и уменьшить величину коэффициента теплопроводности стеновой керамики на 43 % с величины 0,49 Вт/(м<sup>2</sup>·°С) до значения 0,28 Вт/(м<sup>2</sup>·°С).

Введение в состав керамической шихты выгорающих добавок влияет на тепловой баланс обжига. Для исследования процессов, происходящих при обжиге керамических масс, использован метод дифференциально-термического анализа (ДТА). Изучались следующие составы: глина, глина с добавкой торфа 5,6 %, глина с комплексной добавкой торфа 9,6 % и мазута 5,5 % (рис. 2).

Характер кривых ДТА позволяет выполнить анализ процессов, происходящих при обжиге изучаемых составов. Известно, что в процессе обжига глины в интервале температур 100...300 °С происходит выделение межслоевой молекулярной воды. При дальнейшем увеличении температуры (300...650 °С)

выделяется конституционная вода и происходит частичная перестройка структуры, аморфизация глинистого вещества. В интервале 750...850 °С удаляется оставшаяся химически связанная вода и полностью разрушается структура. Повышение температуры более 850 °С приводит к формированию новых кристаллических фаз из аморфных продуктов разрушения глинистых минералов [3].

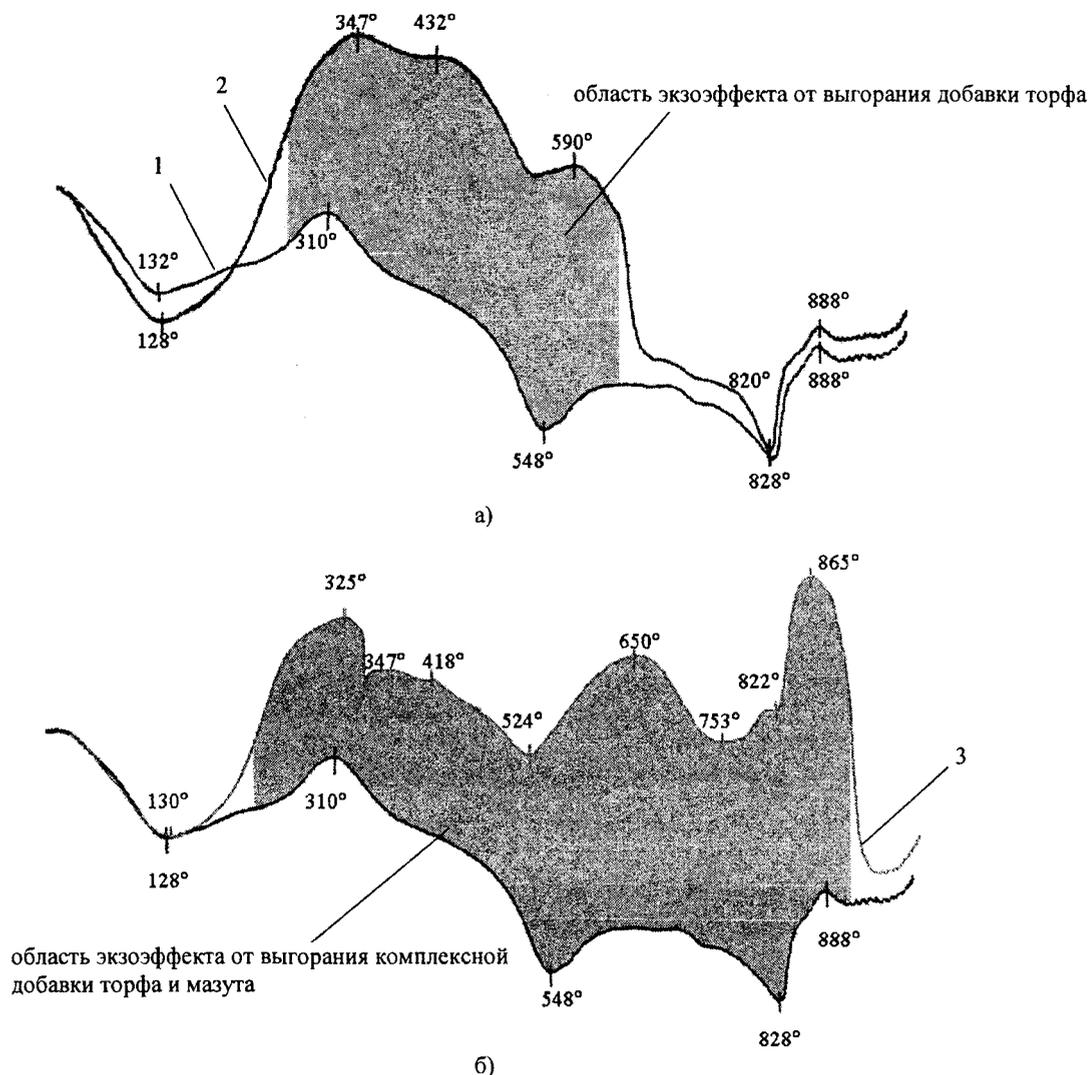


Рис. 2 - Кривые ДТА составов:

1 - глина 100 %; 2 - глина 94,4 % + 5,6 % торфа; 3 - глина 84,9 % + 9,6 % торфа + 5,5 % мазута

На рис. 2, а выполнено наложение кривых ДТА чистой глины и глины с добавкой торфа. Введение добавки торфа приводит к появлению экзoeffекта в интервале температур 200...500 °С, связанного с горением торфа (интервал температур определен по дифференциальной кривой изменения массы исследуемого образца). При сравнении кривых ДТА чистой глины и керамической массы с добавкой торфа можно сделать вывод, что «разогрев» керамической массы сохраняется до 650 °С.

На рис. 2, б представлено наложение кривых ДТА чистой глины и глины с комплексной добавкой торфа и мазута.

Горение органической части керамической массы происходит в два этапа - в интервале температур 200...500 °С и 500...850 °С. Первый этап характеризуется выгоранием торфа и легких фракций мазута. Второй этап связан с процессами, происходящими при нагревании мазута. При температуре 400...500 °С образуется так называемое «застывшее» вещество, из которого в интервале 600...850 °С происходит газовыделение и горение газообразных продуктов разложения углеводородов [3]. Эффект разогрева керамической массы при использовании комплексной добавки сохраняется до 920 °С.

На основании полученных результатов можно сделать вывод, что добавки на основе торфа и мазута позволяют увеличить скорость подъема температуры при обжиге в туннельной печи, снизить негатив-

ное влияние перепада температур по сечению канала печи и, в результате, повысить качество выпускаемой продукции.

Исследование фазового состава обожженных образцов проводилось методом рентгенофазового анализа. Было установлено, что основными кристаллическими фазами материала являются кварц, анортит и гематит, причем наибольшие дифракционные максимумы принадлежат кварцу. Анализируемые фазовые составы бездобавочных образцов и образцов с добавками торфа и мазута не имели отличий. Полученные результаты позволили сделать вывод о том, что введение изучаемых выгорающих добавок не ведет к изменению фазового состава керамики.

На Обольском керамическом заводе выпущены опытные партии керамических камней в объеме 100 тыс. штук с применением выгорающих добавок торфа и мазута. Используются пустотообразователи на 24 % и 33 %, керамические камни имели прочность М 75...М 125 и плотность менее 1000 кг/м<sup>3</sup>.

Выпуск опытных партий показал, что при введении добавки торфа в пределах 2...5 % снижается плотность изделий на 5...7 %, при этом изделия имеют марку по прочности на сжатие 100... 125 (аналогичные выпускаемые заводом бездобавочные изделия имели марку 100) и марку по морозостойкости F15. При этом на 10 % снизилось водопоглощение, что можно объяснить более полным прохождением процесса спекания керамической массы.

Использование комплексной добавки торфа и мазута позволило снизить плотность на 28,5 % (с 1400 до 1000 кг/м<sup>3</sup>) при марке изделий по прочности 75 и марке по морозостойкости F15. Основной экономический эффект использования комплексной выгорающей добавки связан со снижением теплопроводности с 0,64 Вт/(м·°С) до 0,52 Вт/(м·°С), что соответствует теоретической возможности при возведении зданий снижения до 20 % расхода стенового материала. Себестоимость новой продукции по результатам выпуска опытных партий в зависимости от вида и марки получаемых изделий снижается в пределах 5...20 %.

Разработанные выгорающие добавки торфа и мазута позволяют, как было показано выше, повысить теплозащитные свойства и морозостойкость стеновых керамических материалов. При этом плотность может быть снижена с 1850 до 1150 кг/м<sup>3</sup>. В соответствии с СТБ 1160-99 пустотность керамических изделий может составлять до 45 %. Следовательно, возможно комплексное снижение плотности керамических изделий до 650 кг/м<sup>3</sup>. По сравнению с выпускаемым полнотелым кирпичом это обеспечивает снижение почти в 3 раза веса стенового материала и аналогичное уменьшение расхода глины. В результате будет достигнуто значительное снижение расхода топлива на обжиг, а в целом - обеспечено резкое снижение себестоимости стеновой керамики.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Кузовков А.В. Маркетинговое исследование конкурентоспособности керамического кирпича, произведенного на территории Республики Беларусь // Перспективы развития новых технологий в строительстве и подготовке инженерных кадров в Республике Беларусь: Материалы VI Междунар.науч.-техн. семинара. - Мн.: Технопринт, 2000. - С. 44 - 48.
2. Петров Л.К., Шубин М.И. Повышение морозостойкости кирпича на Обольском кирпичном заводе: Сб. научных работ НИИСМ. Вып. 8. - Мн.: Изд-во АН БССР, 1959. - С. 139 - 143.
3. Кинка А.И. Производство кирпича марки 150 //Строительные материалы. -1966. -№ 8.- С. 27-28.
4. А.с. 658109 СССР, МКИ С 04 В 33/00. Керамическая масса / Л.Ф. Линдинь и др. (СССР). - № 2518789/29-33; Заявл. 01.09.77; Оpubл. 25.04.79, Бюл. № 15 // Открытия, изобретения, промышленные образцы, товарные знаки. - 1979. - № 15. - С. 80.
5. Лиштван И.И., Король Н.Т. Основные свойства торфа и методы их определения. - Мн.: Наука и техника, 1975. - 320 с.
6. Гаврильчик А.П. Превращения торфа при добыче и переработке. - Мн.: Навука і тэхніка, 1992. - 199 с.
7. ТУ РБ 10021992.318-2001 .Торф верховой. - Взамен ТУ РБ 02999289.002-96. Срок действия с 10.02.2002 до 10.02.2007.-9 с.
8. Августиник А.И. Керамика. - Л.: Стройиздат, 1975. - 592 с.
9. Ле Минь. Разработка искусственных шихт с использованием побочных продуктов промышленности для строительной керамики: Автореф. дис. ... канд. техн. наук. - Л.: ЛИСИ, 1984. - 19 с.
10. Иваненко А.М., Бозылев В.В., Аксенова В.А. Получение пористых керамических камней с выгорающей добавкой на основе торфа // Инженерные проблемы строительства и эксплуатации сооружений: Сб. тр. - Мн.: Технопринт, 2001. - С. 146 - 151.
11. Вознесенский В.А. Статистические методы планирования эксперимента в технико-экономических исследованиях. - М.: Финансы и статистика, 1981. -263 с.