

УДК 666.951-405.08

СРАВНИТЕЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДОВ ФОРМОВАНИЯ ТЕПЛОИЗОЛЯЦИОННЫХ ИЗДЕЛИЙ ИЗ ДИАТОМИТА

© 2010 Е.А. Никифоров¹, А.Б. Климовский², С.А. Нестерова³, С.Э. Иванов⁴, Г.Г. Галимов³

¹ ООО “Диатомовый комбинат”, г. Ульяновск

² Ульяновский государственный технический университет,

³ ООО “Научно-технологический центр”, г. Ульяновск

⁴ Российский химико-технологический университет им. Д.И. Менделеева, г. Москва

Поступила в редакцию 14.05.2010

На основании исследования лабораторных образцов, изготовленных различными методами (пенным методом, методом полусухого прессования, методом пластического формования и вибропрессованием) определены параметры данных технологических процессов. Установлено, что в лабораторных условиях для изготовления изделий плотностью 400 – 1600 кг/м³ и прочностью 1,5 – 55 МПа достаточно использовать пенный метод и метод пластического формования, позволяющие к тому же получать наиболее однородную структуру изделий.

Ключевые слова: лабораторные образцы, пенный метод, полусухое прессование, пластическое формование и вибропрессование, однородная структура.

В работе на основании исследования лабораторных образцов, изготовленных различными методами (пенным методом, методом полусухого прессования, методом пластического формования и вибропрессованием) определены параметры технологических процессов. Установлено, что для изготовления в лабораторных условиях изделий плотностью 400 – 1600 кг/м³ и прочностью 1,5 – 55 МПа достаточно использовать пенный метод и метод пластического формования, позволяющие к тому же получать наиболее однородную структуру изделий. Для образцов, изготовленных методами вибропрессования и полусухого прессования, получены диапазоны плотности и прочности, вкладывающиеся в диапазоны плотности и прочности образцов, полученных пенным методом и экструзией, при этом при одинаковой плотности образцы, изготовленные вибропрессованием и полусухим прессованием, обладают более низкой прочностью. В то же время, учитывая, что методы вибропрессования и полусухого прессования энергетически менее затратны, они могут быть рекомендованы для изготовления изделий, для которых в лабораторных условиях получены плотность 550 – 1250 кг/м³ и прочность 1,5 – 30 МПа, при невы-

соких требованиях к прочности и критичных требованиях к стоимости изделий.

При приготовлении пеномассы использовался диатомит карьерной влажности (49 – 50 %). Часть диатомита засыпали в шликеромешалку, заливали водой и перемешивали 10 минут. Затем добавляли мел в виде суспензии и перемешивали 10 минут. Далее в шликеромешалку засыпали остальную часть диатомита и 3 масс.% опилок, доводили водой до нужной консистенции (текучесть по Студгардту 13 – 15 см), перемешивали 30 минут при частоте вращения вала 350 об/мин. Пену приготавливали в пенообразователе миксерного типа в течение 10 минут на основе клееканифоляного раствора пенообразователя, используемого на технологической линии ООО “Диатомовый комбинат”, при частоте вращения вала 250 об/мин. Затем шликер и пена смешивались в смесителе в течение 4 – 5 минут при частоте вращения вала 60 об/мин. Готовая пеномасса разливалась в смазанные четырехгнездные стальные формы и сушилась в туннельных сушилках. Обжиг образцов проводился в лабораторной электропечи сопротивления. Скорость подъема температуры 100 °С в час, выдержка 1 час при максимальной температуре 1100 °С. Затем образцы испытывались на прочность. График зависимости прочности от плотности приведен на рис. 1. Образцы, полученные по пенной технологии, с введением мела имеют однородную структуру, что свидетельствует о хорошем смешении мела с диатомитом при приготовлении шликера.

Для приготовления шихты для полусухого прессования использовали диатомит влажност-

Никифоров Евгений Александрович, кандидат экономических наук, председатель совета директоров.

Климовский Андрей Борисович, кандидат физико-экономических наук, профессор кафедры физики.

E-mail: av_bel@bk.ru; belakov@muctr.ru.

Нестерова Светлана Александровна, доктор химических наук, главный технолог.

Иванов Сергей Эдуардович, аспирант.

Галимов Геннадий Гильфанович, научный сотрудник

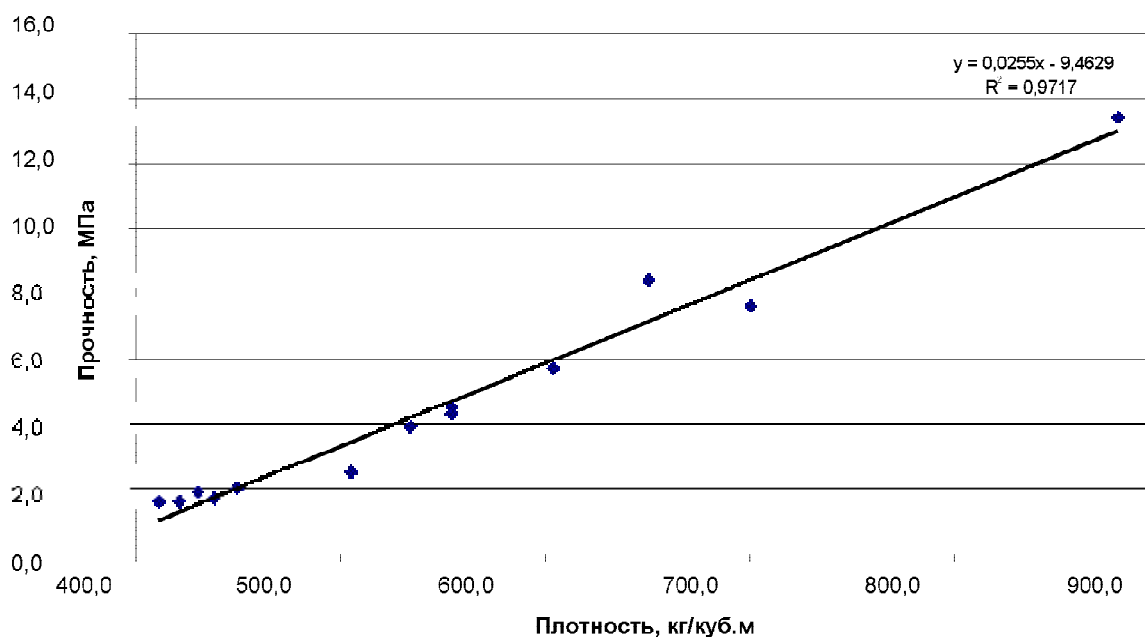


Рис. 1. Зависимость прочности от плотности. Пеннобетон

тью 41 %, так и смесь диатомита влажностью 2 и 41 %. Диатомит измельчали в молотковой дробилке. Компоненты взвешивались с учетом влажности, перемешивались вручную в 10-литровой емкости, затем пропускали несколько раз (4 – 6 раз) через лабораторный экструдер без мундштука и перфорированной насадки для наилучшего смешения диатомита с мелом и выгорающими добавками. Готовый пресспорошок засыпали в стальную смазанную форму размерами 80 Ч 80 Ч 100 мм, утрамбовывали стальным пестиком и прессовали на гидравлическом прессе ОКС-1671 Р 40т.

Образцы помещались в сушильный шкаф на 24 часа при 105 °С. Обжиг образцов проводился при 1100 С (выдержка 1 час) в лабораторной электропечи сопротивления, скорость подъема температуры 100 °С. Затем образцы испытывались на прочность. График зависимости прочности от плотности приведен на рис. 2.

При полусухом прессовании введение опилок отрицательно сказывается на свойствах готовой прессовки: при снятии давления запрессованные опилки «пружинят», что приводит к растрескиванию прессовки. Введение нефтяного кокса в качестве выгорающей добавки к растрескиванию не приводит, но снижает прочность обожженного образца. Следует отметить характеристики образцов состава 70 % диатомита и 30 % мела. При объемном весе 1000 кг/м³ прочность составила более 8 МПа, а при совместном помоле – свыше 16 МПа. Рентгенофазовый анализ этого образца показал, что основной фазой является волластонит, 7 – 10 % кристобалита, следы кварца и стекло.

Говоря о структуре, следует отметить, что в образцах, с содержанием мела менее 30 масс.% и при использовании смеси подсушенного диатомита и диатомита карьерной влажности, на изломе видны многочисленные включения чистого диатомита размером до 2 мм (красного цвета), а так же включения бурого цвета размером до 1,5 мм. Это говорит о трудности получения однородной смеси диатомита и мела. Для достижения максимально возможного однородного смешения, учитывая только характеристики сырьевых компонентов, необходимо использовать диатомит тонкого помола, влажностью не более 30 % и мелкодисперсный мел.

При приготовлении шихты для пластического формования компоненты взвешивались в определенном отношении с учетом влажности, перемешивались вручную в 10-литровой емкости, затем пропускали несколько раз (6 – 8 раз) через лабораторный экструдер с перфорированной насадкой (диаметр отверстия 10 мм) для наилучшего смешения диатомита с мелом и выгорающими добавками, имитируя массоподготовительное оборудование. Выгорающие добавки (опилки) вводились в массу свыше 100 % от массы «диатомит + мел». Затем насадка снималась, устанавливался мундштук, и формовались образцы в виде балочек длиной около 300 мм. Сформованные образцы в течение 24 часов сушились в помещении лаборатории, затем 24 часа в сушильном шкафу при температуре 105 °С. Далее образцы обжигались в электропечи при температуре 1100 °С. Структура образцов, полученных методом экструзии, однородная. После обжига образцы испытывались на прочность.

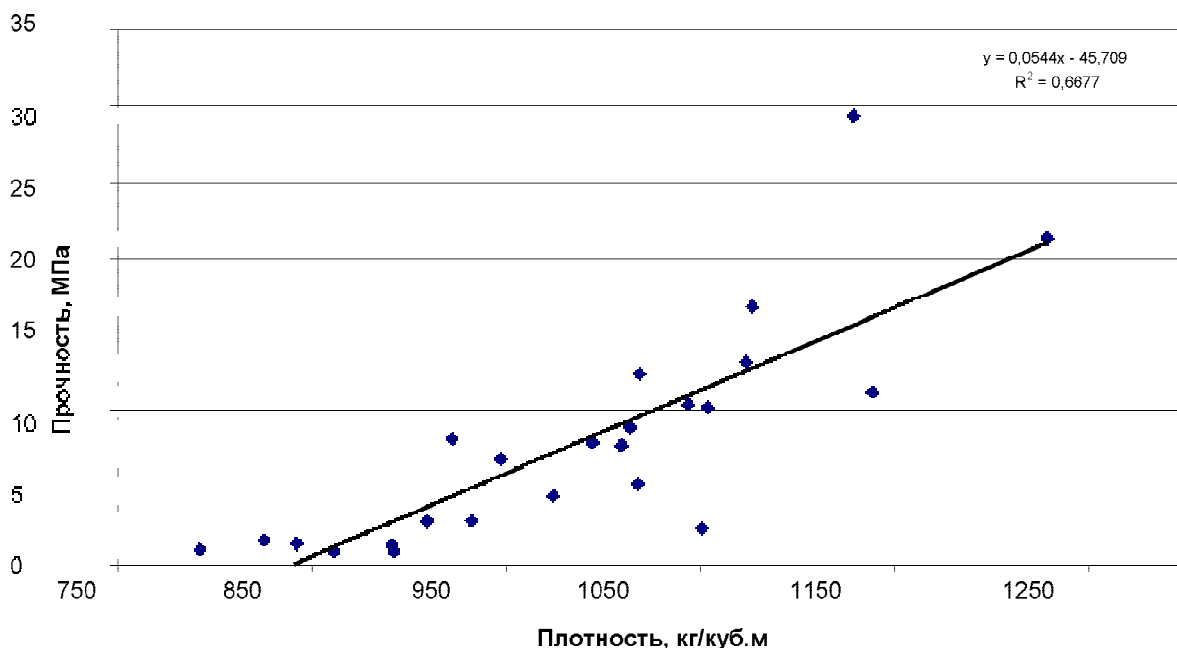


Рис. 2. Зависимость прочности от плотности. Полусухое прессование

График зависимости прочности от плотности приведен на рис. 3.

Для увеличения пластичности массы в нее вводился пластификатор (лингосульфат натрия) и неоднократно пропускали через перфорированную решетку. Пластичность измеряли на приборе Пфеферкорн.

Влажность масс для пластического формирования варьировалась от 26 до 50 %. При увеличении содержания мела влажность массы снижалась (табл. 1).

Следует отметить прочностные характеристики составов с 20 и 30 масс. % содержания мела – прочность при сжатии составила свыше 50 МПа при объемном весе 1200 – 1400 кг/м³.

Основной фазой образцов с 30 масс. % мела является волластонит. Основной фазой образцов с 10 масс. % мела является кристобалит, а требующий волластонит присутствует только в небольших количествах. Поэтому, вероятней всего термостойкость образцов с 30 масс. % мела будет выше, чем с 10 масс.% мела.

Получение образцов методом вибропрессования дополнительно проводились на основе исследования альтернативного способа формирования – вибропрессования. График зависимости прочности от плотности представлен на рис. 4.

Из рис. 4 видно, что прочность диатомового кирпича от его плотности с хорошей точностью имеет прямую зависимость: при изменении плот-

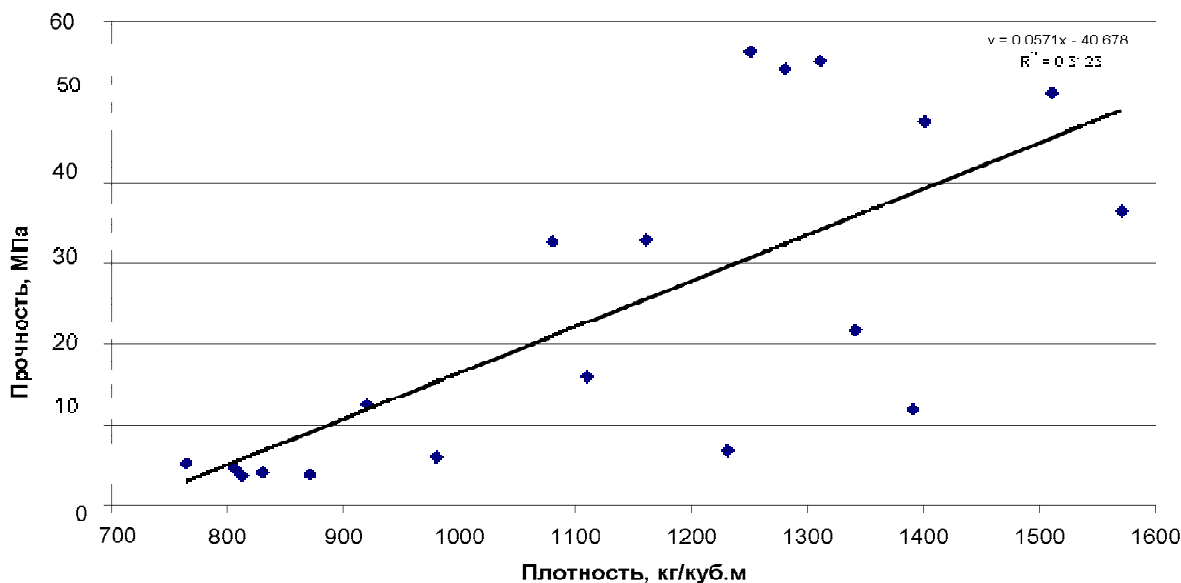


Рис. 3. Зависимость прочности от плотности. Пластическое формирование

Таблица 1. Зависимость влажности от содержания мела

Содержание мела, масс. %	0	10	20	30	40	50
Влажность массы, %	37,19	34,48	31,89	31,38	29,53	26,99

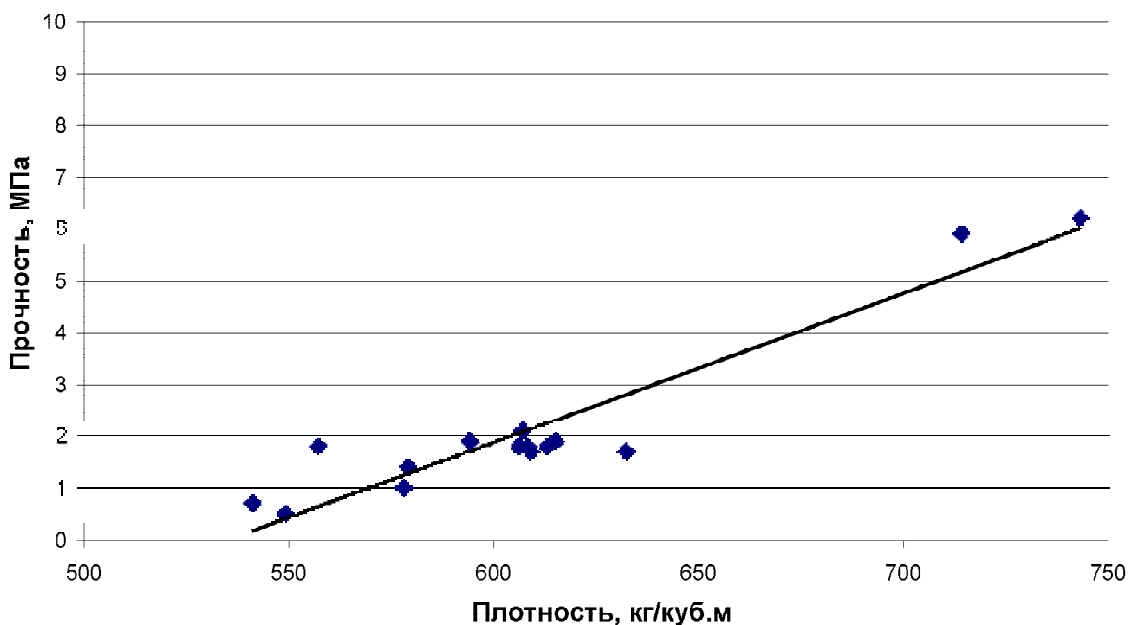


Рис. 4. Зависимость прочности изделий от их плотности, изготовленных из диатомита, измельченного на лабораторной молотковой дробилке

ности от 595 до 745 кг/м³ прочность меняется от 1,7 до 6,2 МПа. С повышением плотности увеличивается общая площадь соприкосновения между частицами и прочность разрушения возрастает.

В результате исследований определены параметры виброформования диатомовых кирпичей размерами 250 × 250 × 65 мм, плотностью 550 – 750 кг/м³, прочностью 0,5 – 6,5 МПа и средней общей усадкой после сушки и обжига по ширине 3,9 % и по высоте 4,7 % рыхлой поверхностью:

- зернистость – 0,5 – 20 мм – после промышленной дробилки;
- угол естественного откоса – 25 – 35 град;
- влажность 48 – 50 %;
- насыпная плотность 580 – 700 кг/м³;
- продолжительность вибропрессования 5 сек (без предварительного виброуплотнения);
- коэффициент уплотнения – 1,65;
- частота вибрации – 50 Гц;
- амплитуда вибрации – максимальная;
- температура обжига – 850 – 900 °С.

Кирпичи, изготовленные из диатомита после дробления в промышленной дробилке ООО “Диатомовый комбинат”, имели правильные геометрические формы, но у них была рыхлая поверхность. Это можно объяснить тем, что в результате дробления в условиях промышленного производства диатомит подвергается слишком интенсивному измельчению и механоактивации.

Образовавшиеся мелкие частицы за счет их высокой активности и присутствия влаги слипаются между собой и образуют агломераты неправильной формы. В измельченном диатомите почти отсутствуют отдельно частицы размером менее 3 – 4 мм. Из-за недостаточности мелких частиц в объеме кирпича и на поверхности друг к другу прилегают крупные агломераты размерами более 5 – 8 мм, а в промежутках остаются незаполненные пустоты, которые и дают рыхлую нетоварного вида поверхность.

Для получения изделий с гладкой поверхностью целые куски диатомита измельчали на лабораторной молотковой дробилке с меньшей интенсивностью, чем в промышленном производстве. В результате измельчения диатомит представляет собой полидисперсный материал с более приемлемым распределением по размерам зерен (табл. 2). В этом случае при вибропрессовании поверхность кирпича получается более гладкой за счет заполнения промежутков между крупными частицами (более 5 – 8 мм) – мелкими (менее 3 – 4 мм).

В результате определены дополнительные параметры виброформования диатомовых кирпичей размерами 250 × 250 × 65 мм и средней общей усадкой после сушки и обжига по ширине 2,7 % и по высоте 1,5 %:

- зернистость 0,5 – 25 мм (после лабораторной молотковой дробилки);

Таблица 2. Зерновой состав исходного кускового диатомита, измельченного на лабораторной молотковой дробилке

Диаметр ячейки, мм	Остаток на сите, г	Остаток на сите, %
8	178	17,8
6	82	8,2
5	112	11,2
4	391	39,1
3	212	21,2
Прошло через 3	25	2,5

- угол естественного откоса 30 – 35 град;
- распределение зёрен по размерам: в соответствии с табл. 2;
- насыпная плотность 550 – 650 кг/м³;
- коэффициент уплотнения 1,67;
- температура обжига 900 °С (не менее 1,5 ч);
- рекомендуемые размеры прессформы 257 □ 257 □ 68 мм.

Изготовить кирпичи плотностью менее 550 кг/м³ не удалось. Заготовки плохо прессовались, имели рыхлую структуру и поверхность. Их невозможно транспортировать. При введении уплотняющих добавок заготовки после прессования прилипали к поверхности прессформы и получались с неустойчивой геометрией – под собственным весом заготовки оседали. После сушки при 100 °С образцы рассыпались. Изделия плотностью более 750 кг/м³ так же не удалось изготовить – диатомит выдавливался из прессформы.

Прочность изделий не зависела от зернового состава исходного диатомита. Более гладкая поверхность была у изделий, прессованных из диатомита без отсева фракции более 8 мм.

Наилучшего формования без разрушения при распалубке и наибольшей прочности изде-

лий показал диатомит с влажностью 48 – 50 масс.%. Проблемой промышленного использования диатомита такой влажности будет низкая сыпучесть (угол естественного откоса около 35 градусов), что приведет к затрудненному дозированию через бункер вибропресса.

Использование «облегчающих» добавок при вибропрессовании оказалось нецелесообразным. С добавками плотность была практически такая же, какая без добавок (в пределах точности измерения насыпной плотности), а прочность снижалась – с добавкой 1,6 МПа, а без добавки – 1,9 – 2,1 МПа. Кроме того, так же как в случае полусухого прессования выгорающие добавки действуют на изделие разрыхляюще и способствуют образованию крупных пор, которые кроме уменьшения прочности ухудшают товарный вид.

Использование рассмотренных методов изготовления изделий позволил получить лабораторные образцы с характеристиками, значения которых лежат в широком диапазоне. Сравнение диапазонов плотности и прочности образцов приведены на рис. 5 и 6.

Пенометодом были получены образцы кирпичей объемным весом от 410 до 880 кг/м³ и прочностью от 1,6 до 13,4 МПа в зависимости от объемного веса пеномассы. Результаты ис-

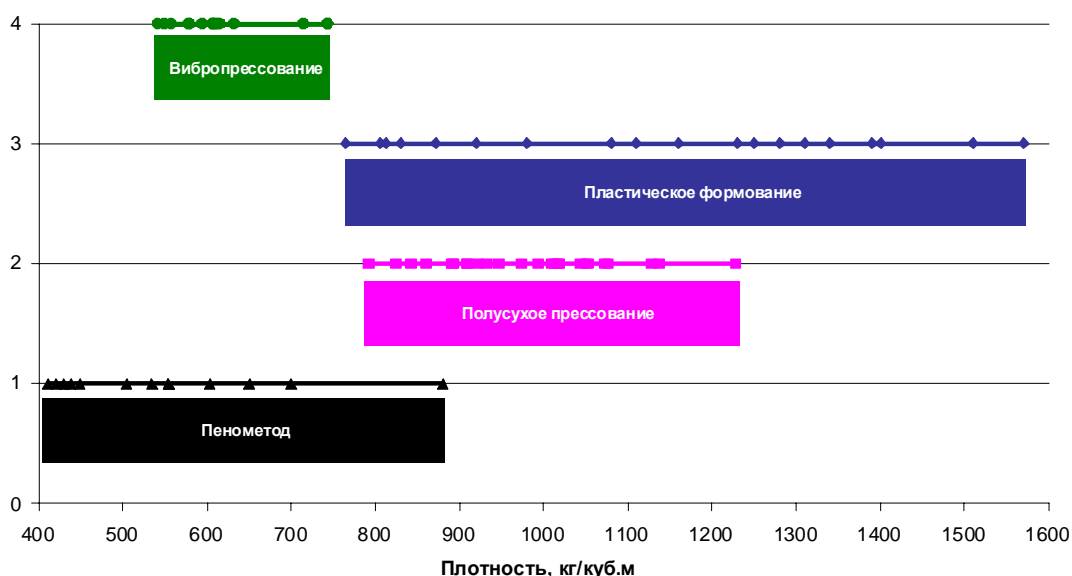


Рис. 5. Диапазоны плотностей образцов, полученных различными методами

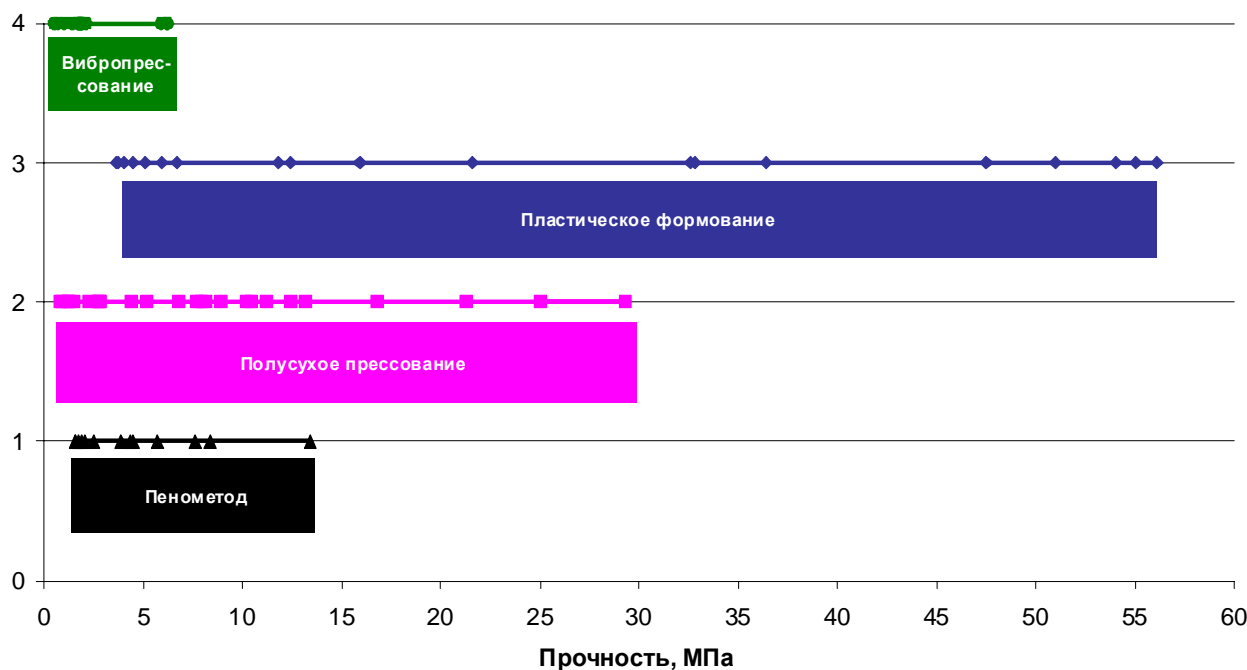


Рис. 6. Диапазоны прочности образцов, полученных различными методами

пытаний составов с добавлением мела 10 и 20 % показывают о возможности получения кирпича объемным весом 450 – 550 кг/м³, прочностью более 2,0 МПа после обжига при температуре 1100 °С.

Методом полусухого прессования получены образцы объемным весом от 800 до 1250 кг/м³ и прочностью 0,8 – 29,3 МПа в зависимости от состава шихты, ее влажности и давления прессования.

Методом экструзии были получены образцы объемным весом 765 – 1570 кг/м³ и прочностью 3,7 – 56,1 МПа.

Методом вибропрессования были получены образцы плотностью 550 – 750 кг/м³ и прочностью 0,5 – 6,5 МПа. Для изготовления изделий с гладкой поверхностью и не меньшей прочностью, чем при других размерах зерен, следует брать полидисперсный диатомит с размерами зерен 0,5 – 25 мм после дробления в лабораторной молотковой дробилке.

Зависимости прочности от плотности для всех четырех исследованных методов представлены на рис. 7.

На основании вышеизложенного следует констатировать что:

- наиболее однородная структура изделий получается при пенометоде и методе пластического формования (экструзии). При экструзии возможно получения широкой линейки изделий различных типоразмеров;

- при использовании пенометода были получены лабораторные образцы плотностью 400 – 900 кг/м³, при использовании метода пластического прессования – 800 – 1600 кг/м³;

- образцы, изготовленные методами вибропрессования и полусухого прессования, имеют диапазоны плотности и прочности, вкладывающиеся в диапазоны плотности и прочности образцов, полученных пенометодом и экструзией, при этом при одинаковой плотности образцы, изготовленные вибропрессованием и полусухим прессованием, обладают более низкой прочностью;

- для изготовления лабораторных образцов плотностью 400 – 1600 кг/м³ и прочностью 1,5 – 55 МПа достаточно использовать пенометод и метод пластического формования. В то же время, учитывая, что методы вибропрессования и полусухого прессования энергетически менее затратны, они могут быть рекомендованы для изготовления изделий, для которых в лабораторных условиях получены плотность 550 – 1250 кг/м³ и прочность 1,5 – 30 МПа, при невысоких требованиях к прочности и критичных требованиях к стоимости изделий.

Учитывая, что лабораторные образцы имели меньшие размеры по сравнению с размерами промышленных образцов, они менее чувствительны к сушке, более однородны при формовании вследствие более тщательной, по сравнению с промышленными условиями, переработки массы. Образцы промышленных размеров, получаемые методом пластического формования, более неоднородны после прессования (поскольку середина бруса опережает периферию из-за трения о стенки формообразующих машин), поэтому сердцевина изделия менее плотная, чем стенки. Неравномерность формования при сушке только усугубляется. Малые образцы сушить и об-

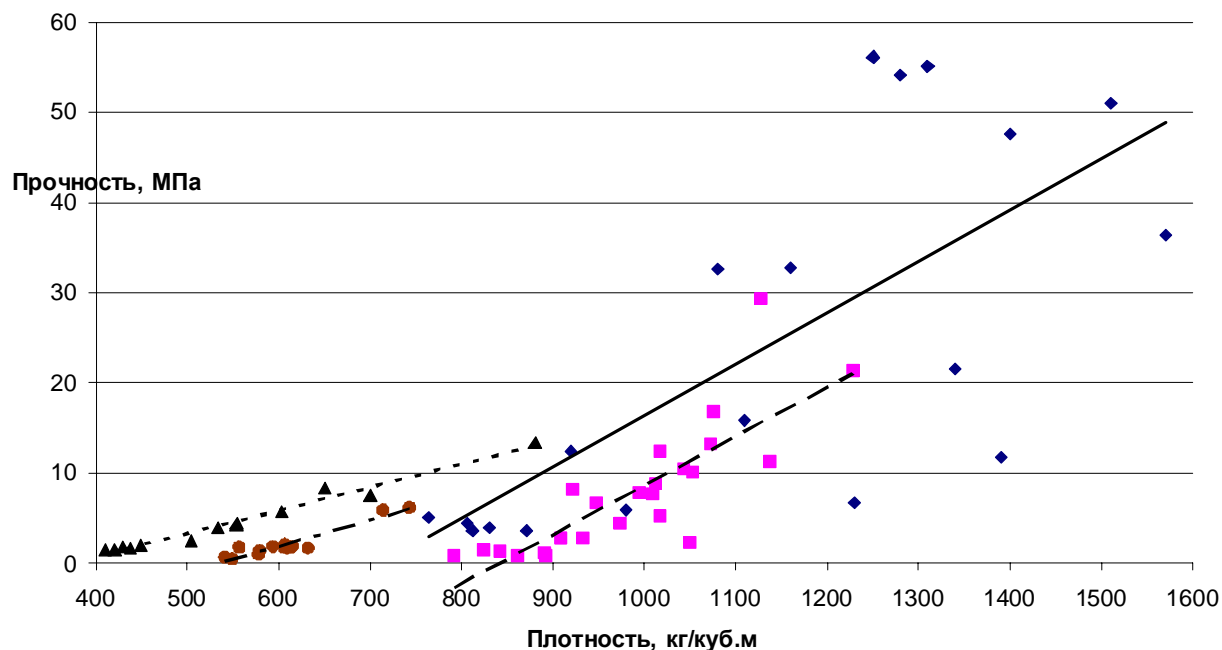


Рис. 7. Зависимость прочности от плотности:
 “квадраты” и штриховая линия – метод полусухого прессования;
 “ромбы” и сплошная линия – пластическое формование;
 “треугольники” и пунктирная линия – пенометод;
 “круги” и штрих-пунктирная линия – вибропрессование

жигать проще, небольшой градиент по влажности не дает такого количества микротрещин, как на больших образцах. В связи с этим полученные значения прочности для образцов, изготовленных методом пластического формования,

более высокие, чем могут быть получены при изготовлении изделий в промышленных условиях. По оценкам, сделанным по единичным образцам, прочности образцов промышленных размеров в 1,5 – 2 раза ниже.

COMPARATIVE RESEARCH OF FORMING METHODS OF HEAT-INSULATED PRODUCTS FROM KIESELGUHR

© 2010 E.A. Nikiforov¹, A.B. Klimovsky², S.A. Nesterova³, S.E. Ivanov⁴, G.G. Galimov³

¹“Diatomovy Kombinat”, Ltd, Ulyanovsk

²Ulyanovsk State Technical University,

³“Scientific-Technological Centre”, Ltd, Ulyanovsk

⁴D.Mendeleyev University of Chemical Technology of Russia, Moscow

Parameters of different methods (molding, the method of dry pressing, the method of plastic molding and vibrocompression) were determined by studies of laboratory samples prepared by given methods. Found that under laboratory conditions for fabrication of products with density 400 – 1600 kg/m³ and strength of 1,5 - 55 MPa is sufficient to use molding and the method of plastic molding, allowing also to get the most homogenous products.

Key words: laboratory samples, molding, dry pressing, plastic molding, vibrocompression, homogenous products.

Eugene Nikiforov, Candidate of Economics, Chairman of the Board of Directors.

Andrey Klimovsky, Candidate of Physics and Mathematics, Associate Professor at the Physics Department.

E-mail: phys@ulstu.ru

Svetlana Nesterova, Doctor of Chemistry, Chief Technologist.

Sergey Ivanov, Graduate Student.

Gennady Galimov, Research Fellow