

УДК 621.311

**ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ В ПЕЧНЫХ АГРЕГАТАХ  
СИСПОЛЬЗОВАНИЕМ АЛЬТЕРНАТИВНЫХ ВИДОВ  
ТОПЛИВА ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА  
СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ**

М.И. Кузьменков<sup>1</sup>, О.Г. Мартинов<sup>2</sup>, Н.Г. Короб<sup>1</sup>,  
В.К. Судиловский<sup>3</sup>, Д.М. Кузьменков<sup>1</sup>

<sup>1</sup>УО «Белорусский государственный технологический университет», г. Минск;

<sup>2</sup>ГНУ «Институт тепло- и массообмена имени А. В. Лыкова НАН Беларуси»;

<sup>3</sup>ООО «Ресурсоэнергосберегающие системы, оборудование, технологии»,

г. Минск

**Введение.**

При производстве многих видов строительных материалов одной из самых важных технологических операций является термообработка сырьевых смесей из исходных компонентов и промежуточных продуктов по заданному температурно-временному режиму. Ввиду того, что производство многих видов строительных материалов является весьма многотоннажным, энергоемкость становится определяющим фактором их конкурентоспособности. Снижение энергоемкости и проведение энергосберегающих мероприятий на предприятиях, производящих строительные материалы, в настоящее время является одной из актуальных проблем, требующих неотложного решения.

Особую актуальность в этой области занимают перспективы применения новых способов и источников нагрева. Однако их применение требует от персонала дополнительных знаний и компетенции для успешного решения поставленной задачи. Нельзя забывать, что главным определяющим требованием является собственно сам технологический режим, в том числе требуемый температурно-временной. И это требование, как показывает практика, не является тривиальным. Качество выпускаемой продукции определяется в значительной мере температурно-временным режимом.

Как известно, объем потребляемой энергии будет определяться только количеством выпускаемой продукции. Естественно, экономия энергии недопустима за счет снижения температурных параметров процесса термообработки. Выбор способов нагрева и энергоисточников, отвечающих жестким параметрам температурно-временных режимов, является весьма актуальной задачей.

**Важнейшие энергетические проблемы в производстве строительных материалов.**

Сырьевая база Республики Беларусь достаточна для производства большинства строительных материалов, необходимых для нужд

как Республики, так и для их экспортных поставок. К сожалению, в силу значительной энергоемкости производства строительных материалов (известняк, цемент, стекло) конкурентоспособность отечественной продукции находится в граничном состоянии не только в ближайшем зарубежье, но и на внутреннем рынке. Причем ситуация будет только ухудшаться по ряду причин. Во-первых, у зарубежных конкурентов осуществляется масштабная модернизация производства, а во-вторых, базовые энергоносители, используемые в технологиях производства строительных материалов (природный газ, уголь, нефть) в Беларуси являются импортируемыми. Поставщик природного газа – Россия. В связи со вступлением России в ВТО и принятых ею обязательств, внутренние цены достигнут в ближайшие 5–7 лет мирового уровня. Такое положение распространяется и на РБ.

Однако, следует обратить внимание на то, что по этим же причинам ряд зарубежных разработчиков в странах с ограниченным запасом природных энергоресурсов предпринял попытки по использованию в качестве энергоносителя при производстве строительных материалов твердые бытовые отходы (ТБО), именуемые в зарубежной литературе RDF (refuse derived fuel).

Годовой энергетический потенциал образующихся в Беларуси твердых бытовых отходов (ТБО), рассчитанный на основании данных Белстата, составляет примерно 1 334 тыс. т усл. топл. [1]. Также на основании данных Белстата, потребление энергоресурсов на производство строительных материалов в целом достигает почти 1565,1 тыс. т усл. топл. [2]. Из них в структуре обобщенных энергозатрат потребление котельно-печного топлива в эквиваленте составляет 1388,7 тыс. т усл. топл.

В общем объеме потребляемого топлива расходы на производство цемента составляют 37,6%, известняка – 10,7%, стекла – 9,4, плитки керамической – 4,6, кирпича керамического – 4,6%. Таким образом, на производство этих пяти видов стройматериалов затрачивается 66,9% всех потребляемых в Беларуси топливных энергоресурсов или 929 тыс. т усл. топл. Из сопоставления этих данных отчетливо формируется вывод о возможности полного энергообеспечения производства самых энергоемких строительных материалов за счет использования ТБО в качестве топлива.

### **Пути использования альтернативных видов топлива в печах для производства строительных материалов.**

По одному из способов производства цементная печь отапливается продуктами сгорания газообразного (природный газ) или жидкого топлива. Продукты сгорания образуются в специальном горелоч-

ном устройстве. Далее эти продукты сгорания как тепловой агент с соответствующей температурой направляются в печь для выполнения своей функции.

По другим способам производства энергоноситель направляется непосредственно в печь, где подвергается сжиганию в присутствии обжигаемого материала. В этих вариантах обычно используются твердые энергоносители, например, каменный уголь, торф или альтернативные виды энергоносителей, такие как твердые бытовые отходы или изношенные автомобильные шины.

Альтернативные виды энергоносителей, такие как бытовые отходы, с целью улучшения их качества дорабатываются до уровня RDF, в состав которого входят высококалорийные компоненты отходов – пластик, бумага, картон, текстиль, резина, кожа, дерево и пр.

К сожалению, по ряду причин нагрев печей путем прямого сжигания в них твердых видов топлива не позволяет получать стабильно качественную продукцию. Это связано с тем, что процесс горения представляет собой химическую цепную реакцию, для поддержания которой требуется высокая концентрация горючей компоненты в каждой элементарной микроячейке. При затруднении обмена ячеек инициирующими радикалами при наличии балласта, в качестве которого выступает обрабатываемый материал, не обеспечивается полнота сгорания топлива, не достигается номинальная температура горения и, что еще хуже всего, образуются закисные формы химических соединений, формирующие совокупность крайне опасных продуктов сгорания (дымовых газов) вплоть до цианидов [2].

Кроме того, нестабильный состав топливных компонентов при их прямом сжигании в печном агрегате приводит к потере качества продукции, что зачастую проявляется при использовании ее в производстве сборного или монолитного железобетона [3].

Важно иметь ввиду, что при производстве строительных материалов в печных агрегатах более существенным является высокий уровень температур, а не большой объем подводимой энергии.

Производство строительных материалов связано с использованием высоких температур для получения требуемого минералогического состава и структуры материала с высокими физико-техническими свойствами. Например, при варке стекла температура достигает 1500 °C и выше, при обжиге цементного клинкера – 1450 °C, извести – 1100–1200 °C, керамического кирпича – 1000–1100 °C и т. д.. Для осуществления процесса с требуемой интенсивностью и, следовательно, с заданной производительностью оборудования, необходим и соответствующий температурный напор со стороны теплового агента,

нагревающего обрабатываемый материал. Во вращающихся цементных печах температура продуктов сгорания, подаваемых в объём печи, составляет около 1850 °С.

При прямом сжигании ТБО, как и автомобильных шин для того, чтобы обеспечивать полноту реакции их горения, подача воздуха требуется с большим избытком. Коэффициент избытка воздуха, равный 1,5, самое крайне минимальное значение, обеспечивающее еще терпимый недожег топлива. Но теоретическая температура горения будет на уровне всего лишь около 1500 °С. Для сравнения следует указать, что у природного газа при коэффициенте избытка воздуха 1,05 обеспечивается и полное сгорание топлива при минимальных количествах вредных компонентов в продуктах сгорания, и температура горения на уровне 1960 °С, что делает его самым предпочтительным топливом для производства строительных материалов.

Одним из путей энергосбережения в производстве портландцементного клинкера является использование синтез-газа, получаемого путем высокотемпературной конверсии природного газа с получением водорода и СО, эксергия которых на 26% выше, чем у исходного метана. Поскольку конверсия является эндотермическим процессом, то в качестве источника теплоты может использоваться выгружаемый из вращающейся печи в холодильник цементный клинкер, имеющий температуру 1100–1200 °С, вполне достаточную для подавления эндотермии реакции конверсии метана. Этот путь, с нашей точки зрения, является весьма привлекательным, однако он находится в настоящее время на стадии опытно-промышленной апробации.

Анализ вышеприведенных способов сжигания топлива в печных агрегатах в промышленности строительных материалов свидетельствует об их разнообразии с одной стороны, а с другой, об очевидном их несовершенстве. Это служит основанием проведения поиска новых вариантов сжигания топлива в печах производства цемента, извести и других строительных материалов. При этом главная цель должна состоять в лучшей экономической привлекательности вновь разрабатываемых способах.

### **Предлагаемая технология.**

Выпуск качественной продукции при использовании твердых низкокачественных энергоносителей (торфа, твердых бытовых отходов или вырабатываемого из них RDF топлива, а также изношенных автомобильных шин) возможен только при осуществлении их двустадийного сжигания в специальных аппаратах, называемых газогенераторами. В газогенераторе на первой стадии из твердого топлива получается генераторный газ, а затем только на второй стадии этот газ до-

жигается с получением качественного экологически приемлемого высокотемпературного теплоагента, направляемого на обогрев печи. Таким образом, при использовании альтернативных низкокачественных энергоносителей в роли эффективного источника нагрева печи будет выступать газогенератор.

Некоторые отечественные разработки газогенераторных систем описаны в [1, 4, 5].

Рядом предприятий стройматериалов предприняты серьезные меры по снижению энергоемкости производства и себестоимости продукции путем применения когенерационных установок с генерацией собственной дешевой электроэнергии (в 2,5–3 раза ниже тарифы на электроэнергию).

Это относится к первой очереди Белорусского цементного завода, где две газотурбинные установки электрической мощностью по 16 МВт каждая уже длительное время эксплуатируются в режиме подачи уходящих газов турбины с температурой 460–480<sup>0</sup>С на сушку цементно-сырьевой муки (достигнуто снижение энергоемкости цемента около 20% и ее себестоимости до 25%).

Три газо-поршневых агрегата электрической мощностью по 1,4 МВт каждый применяются на термических печах ОАО «Керамика» (г. Витебск) с подачей в них отработанных горячих газов. По два газо-поршневых агрегата электрической мощностью по 1,2 МВт каждый в таком же режиме используются на ОАО «Минский завод строительных материалов». Газовая турбина электрической мощностью 3,5 МВт встроена по уходящим газам в технологическую цепочку производства продукции на ОАО «Минский комбинат силикатных изделий». Газовые турбины в режиме сушки цементно-сырьевой муки использованы китайской корпорацией на всех трех цементных заводах на новых технологических линиях с производством по 1,6 млн. т цемента в год.

Схема энергетических потоков по предлагаемой технологии обогрева печи с выработкой к тому же электрической энергии приведена на следующем рисунке.

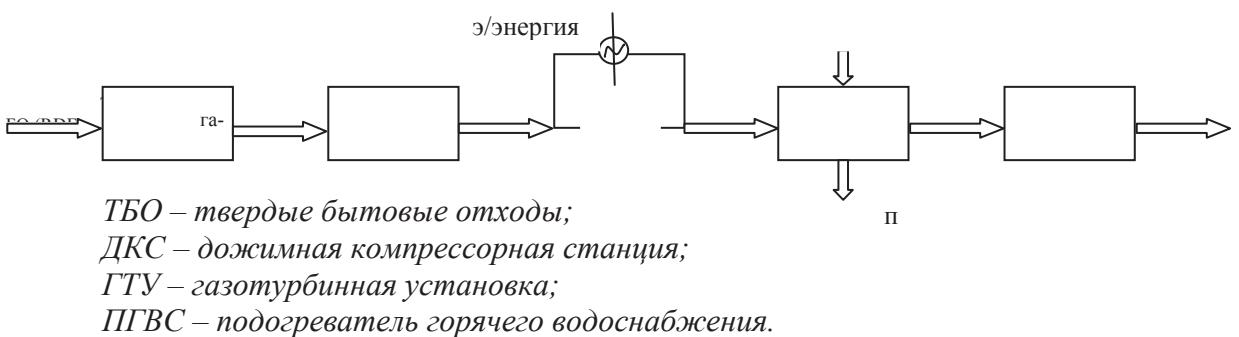


Рисунок – Схема энергетических потоков

**Заключение.** Реализация такой технологии позволит промышленному предприятию производить как строительные материалы, так и электроэнергию, используя только собственные национальные ресурсы (сырьевые природные и возобновляемые энергетические).

## ЛИТЕРАТУРА

1. Мохамед Мусбах. Табиб, Али М. Элмансури, Журавский Г.И., Мартинов О.Г. Термическая утилизация твердых бытовых отходов. Ж.-л «Энергетика и топливно-энергетический комплекс», № 2 (131). 2014. С.20 – 23.
2. Журавский Г.И, Мартинов О.Г. Твердые бытовые отходы в качестве энергетических ресурсов при производстве строительных материалов. Ж.-л «Энергоэффективность», начало в № 5 (199). 2014. С. 26 – 31, окончание в № 6 (200). 2014. С. 22 – 26.
3. Кузьменков М. И., Хотянович О. Е., Мельникова Р. Я., Сушкевич А. В. Влияние продуктов сгорания изношенных автомобильных покрышек на качество цемента и бетона // Цемент и его применение. – 2012. – № 11–12. – С.34–38.
4. Журавский Г.И., Градов А.С., Лисай Н.К., Мартинов О.Г., Суслеков Е.С., Шаранда Н.С. Газогенераторные технологии утилизации горючих технологических и коммунальных отходов. В сб.: Тепло- и массоперенос – 2012 . Минск: ИТМО им. А.В. Лыкова НАН Беларуси, 2012. С. 159 – 164.
5. Журавский Г.И., Мартинов О.Г., Полесский Д.Э., Шаранда Н.С. Газогенераторные технологии для промышленности строительных материалов. Ж.-л «Энергетика и топливно-энергетический комплекс», № 11/12 (128/129). 2013. – С.16 – 18.

УДК 666.972.53

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЭЛЕКТРОСТАЛЕПЛАВИЛЬНОГО ШЛАКА ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА ЦЕМЕНТНОГО КЛИНКЕРА

М.И. Кузьменков, Н.Г. Короб, Д.М. Кузьменков,

А.В. Сушкевич, Н.М. Шалухо

Белорусский государственный технологический университет, г. Минск

Промышленность строительных материалов находится на третьем месте после теплоэнергетики и транспорта по потреблению энергоресурсов. Первое место по энергопотреблению в строительном комплексе занимает цементная промышленность, на которую приходится примерно 62% потребляемой тепловой и электрической энергии. Од-