

## КОМПЛЕКСНОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МЕСТНЫХ ВИДОВ ТОПЛИВА В ПРОИЗВОДСТВЕ ПОРИСТЫХ СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Канд. техн. наук, доц. **ВОРОНОВА Н. П., ЛЕСУН Б. В.**

*Белорусский национальный технический университет*

E-mail: iifomoBNTU@bntu.by; boris.lesun@bntu.by

В статье представлена комплексная малоотходная технология использования местных видов топлива, которая может применяться при получении некоторых пористых строительных материалов. Приводятся новые методики получения пористых строительных материалов на основе аглопорита с использованием местных видов топлива и вторичных энергоресурсов на основе фрезерного торфа, топливных брикетов и древесных опилок, позволяющих заменить дорогостоящие импортные составляющие, которые входят в состав сырьевых смесей (каменный уголь, антрацит).

На основании математического моделирования процессов охлаждения в методических печах с толкающим приводом разработана методика инженерного расчета режима затвердевания шихты при агломерации. Представлено конструктивное решение для разработки режима охлаждения шихты с теплофизическим обоснованием рациональных режимов охлаждения. Проведено исследование распределения поля температур внутри шихты в зависимости от различных скоростей движения ленты агломерационной машины, а следовательно, от времени охлаждения.

Определены характеристики сырья месторождения «Фаниполь» и оптимальный состав шихты, в которую входят суглинок, уголь, фрезерный торф. При промышленном исследовании полученного аглопорита данный состав показал положительные результаты по прочности и плотности. Установлено, что при уменьшении крупности топливных частиц повышается восстановительный потенциал продуктов горения, что приводит к уменьшению высоты окислительной зоны и скорости спекания сырьевой смеси. Эти процессы увеличивают производительность агломерационной машины.

Технология реализована в ОАО «Минский завод стройматериалов». В результате испытаний проведен анализ технологии производства аглопоритовых песка и щебня с использованием фрезерного торфа и добавлением опилок. Результаты исследования позволяют рекомендовать в дальнейшем применение сапропеля, который по себестоимости значительно ниже представленных материалов сырьевой смеси, а по физико-механическим характеристикам более приближен к свойствам фрезерного торфа.

**Ключевые слова:** местные виды топлива, аглопоритовый песок и щебень, сапрпель, технология производства.

Ил. 2. Табл. 2. Библиогр.: 11 назв.

## THE COMPLEX USE OF LOCAL TYPES OF FUEL IN THE POROUS CONSTRUCTION MATERIALS PRODUCTION

**VORONOVA N. P., LESUN B. V.**

*Belorussian National Technical University*

The article presents a comprehensive low-waste technology is the use of local fuels, which can be used in the technology of some porous building materials. Also provides new methods of preparation of porous building materials based on agglomerite using local fuels and waste energy on the basis of milled peat, fuel bri-

quettes and wood chips allow to replace expensive imported components that comprise the raw mixtures (coal, anthracite).

On the basis of mathematical modeling of cooling in reheat furnaces pusher drive developed a method of engineering calculation mode batch hardening in agglomeration. Submitted constructive solution for the development of the cooling charge with thermophysical rational justification cooling modes. A study of the temperature distribution within the charge depending on the different speeds of the belt sintering machine, and hence on the cooling time.

The characteristics of the raw material deposits "Fanipol" and the optimal composition of the charge which includes loam, coal, milled peat. In industrial research obtained agglomerite this formulation has shown positive results in strength and density. Established that by decreasing the particle size of the fuel increases the redox potential of the combustion products, which reduces the height of the oxidizing zone and the speed of the sintering raw mix. These processes increase the productivity of sinter machine.

Technology is implemented on the "Minsk factory of building materials". The tests analyzed production technology porous construction materials using milled peat with the addition of sawdust. The study results recommend further use of sapropel, which cost significantly lower raw material mixture of submissions and in their physical and mechanical properties much closer to the properties of milled peat.

**Keywords:** local types of fuel, agglomerite sand and gravel chippings, organic slime, technology of production.

Fig. 2. Tab. 2. Ref.: 11 titles.

**Введение.** В настоящее время перспективным направлением рационального использования твердых горючих ископаемых является их комплексная переработка, в результате которой наиболее полно извлекаются входящие в них органические и минеральные компоненты, и на этой основе производится несколько видов продукции различного качества и назначения, что равнозначно расширению сырьевой базы промышленности, увеличению ассортимента и улучшению показателей работы предприятий по переработке. К таким технологиям можно отнести производство аглопорита из глинистого сырья с использованием различных отходов промышленности, особенно топливосодержащих (топливные шлаки, золы, отходы добычи сланцев, угля). Очень выгодно и перспективно использование отходов обогащения угля методами термического обогащения в системе вихревых камер, либо термобрикетирования на штемпельных прессах без применения связующих материалов, в результате чего получается мало-дымный продукт.

Подобные технологии высоко оценены с экономических позиций по имеющимся фактическим и проектным материалам, нормативным документам и технологическим разработкам. Основным сырьем для производства аглопорита являются повсеместно распространенные малопластичные, запесоченные глинистые породы, суглинки, супеси, лесс и т. д.

**Постановка задачи.** Политика нашего государства, обладающего залежами торфа, направлена на то, чтобы планомерно обеспечивать состояние технической и технологической готовности к тому временному периоду, когда замена топливосодержащих компонентов торфом станет либо объективно необходимой с точки зрения экономики, либо в силу создания стратегической ситуации. Перспективным направлением в развитии технологии производства искусственного заполнителя – аглопорита – является

применение торфа и отходов деревообработки в виде опилок в качестве отошающей и выгорающей добавки к сырью, при производстве аглопоритовых песка, щебня и гравия.

Большое количество отходов и потерь на горно-перерабатывающих предприятиях обуславливает необходимость решения проблемы рационального использования минеральных ресурсов и вторичных энергоресурсов. Аглопоритовые песок и щебень – искусственные пористые материалы, полученные дроблением спеков, образующихся в результате термической обработки гранулированных шихт из алюмосиликатных и силикатных материалов природного происхождения или отходов промышленности методом агломерации. Применяют их в качестве заполнителя при изготовлении конструкционно-теплоизоляционных и конструкционных легких бетонов, а также в качестве утепляющих засыпок [1].

Структурно-механические свойства сырьевых материалов определяют соответствующие методы их подготовки к термической обработке. Основная технологическая операция при производстве аглопорита – это спекание шихты на решетке агломерационной машины непрерывного действия, где теплота сгорания топлива должна быть более 4000 ккал/кг. Спеканию подвергаются малопластичные глинистые породы, которые при обжиге не вспучиваются. Некоторые вскрышные породы горных предприятий Республики Беларусь, где добывают гравийно-песчаные смеси, отвечают этим требованиям. За счет горения угля, который вводится в шихту, развивается температура до 1300 К. Это приводит к спеканию шихты в виде пористой остеклованной массы. Следует отметить, что протекающие процессы теплопереноса не заканчиваются в зонах сушки и нагрева, а накладываются друг на друга и в большей части по всей длине ленты развиваются параллельно.

При производстве аглопорита преимущественно применяют природные глинистые породы, хотя с экономической точки зрения для этой цели целесообразно использовать отходы промышленности. Добавки выбирают с учетом наличия местных сырьевых ресурсов и характеристик основных компонентов шихты. При избыточном количестве топлива в топливосодержащем сырье в шихту вводят возврат, а также горелую или глинистую породу, а при недостатке топлива – уголь или углесодержащую добавку. Введение в шихту древесных опилок (до 10 %) и лигнина (до 25 % по объему) увеличивает пористость и ускоряет процессы горения топлива и спекания. Добавка сухой золы тепловых электростанций (ТЭС) снижает влажность обводненных глин и расход топлива за счет содержащихся в ней прокаленных минералов и несгоревшего углерода. Добавки вводят для улучшения гранулирования и повышения прочности гранул при их транспортировании и обжиге. Содержание топлива в шихте при использовании глинистых пород обычно 6–8 %, золы ТЭС – 10–12 % по массе. Предельный размер гранул (зерен) шихты не должен превышать 10–12 мм, а размер составных ее частей: исходного сырья – 5, угля – 3, твердых добавок – от 5 (плотных) до 10 (пористых) мм.

В настоящее время в Беларуси активно развиваются исследования, направленные на экономию технологического привозного топлива, при одновременной замене дефицитных видов на местные, например торф, са-

пропель, промышленные отходы, содержащие значительное количество органических веществ (лигнин, древесные опилки и др.). При агломерации силикатного сырья замена антрацитового штыба на местные виды топлива является актуальной проблемой, однако использование топлива с малой теплотворной способностью требует разработки способов более эффективного их сжигания в агломерируемом слое шихты. Систематизация накопленного экспериментального материала позволила выявить ряд общих закономерностей, характерных для агломерации шихт как на основе глинистого, так и железорудного сырья. Так, по мере уменьшения крупности топливных частиц заметно повышается восстановительный потенциал продуктов горения и снижается высота окислительной зоны; снижение крупности топлива с 7,2–9,0 мм до 4,8–6,0 мм приводит к уменьшению степени использования углерода с 7,0 % до 14,0 %. Аналогичные результаты приводятся по данным при сжигании топлива различной крупности с одновременным замером температур в слое и состава отходящего газа. С повышением крупности топлива абсолютные температуры в зоне горения возрастают, а газовая фаза обогащается двуокисью углерода. Теоретические расчеты подтверждают снижение температурного уровня процесса при использовании мелкого топлива в сравнении с более крупным.

Известно, что по степени углефикации можно прогнозировать возможную скорость спекания шихты, а следовательно, и скорость горения топлива на основе тех или иных отходов углеобогащения. Так, низкометаморфизованные отходы с содержанием углерода в горючей массе менее 75 % позволяют (при прочих оптимальных условиях) достичь вертикальной скорости спекания шихты 13–23 мм/мин; среднеметаморфизованные отходы с содержанием углерода в горючей массе 75–90 % – значения 8–15 мм/мин; высокометаморфизованные отходы с содержанием углерода в горючей массе более 90 % – величины 4–10 мм/мин.

При спекании суглинков с использованием углей с содержанием летучих до 28–30 % процесс агломерации интенсифицируется. При увеличении же содержания летучих в углях более 28–30 %, например до 37 %, процесс агломерации замедляется. И в первом, и во втором случаях наблюдается значительный унос летучих в газоходы. Изучение химической активности и процессов газообразования при сжигании топлива различного вида в агломерируемом слое шихты показало, что с ростом химической активности топлива и уменьшением его крупности восстановительная способность продуктов горения усиливается, что находит свое выражение в увеличении отношения  $CO/CO_2$ . Приведенные выше закономерности указывают на целесообразность использования как торфа, так и сапропелей в качестве технологического топлива при рациональных способах их окускования и сжигания летучих. Качественная характеристика аглопорита, спекаемого с различными видами технологического топлива, практически не изменяется.

На аглопоритовых предприятиях в качестве технологического топлива с малой теплотворной способностью применяется каменный и бурый уголь. Например, бурый уголь имеет следующие характеристики: марка угля – Б2, содержание серы на рабочую массу – 1,0–2,0 %; содержание углерода на рабочую массу – 41,1 %; содержание водорода на рабочую массу – 2,4 %; содержание азота на рабочую массу – 9,1 %; влажность на

рабочую массу – 36,0 %; зольность на рабочую массу – 10,0 %; выход летучих на рабочую массу – 33,0 %; низшая теплота сгорания – 3380 ккал/кг.

Однако при замене антрацита топливом с большим содержанием летучих часть их не успевает сгореть. Поэтому использовать топливо с большим содержанием летучих по общепринятой технологии производства аглопорита с учетом экологических соображений нецелесообразно. Исследования показывают, что применение смеси топлива, состоящей из одной части антрацита и двух частей угля с большим содержанием летучих, за счет повышения температуры горения топлива в слое позволяет добиться большей полноты сгорания летучих.

Анализ теплотехнических характеристик торфа допускает использование его как технологического топлива при производстве аглопорита. Например, теплота сгорания горючей массы торфа колеблется от 3500 до 3700 ккал/кг, т. е. в сравнительно незначительных пределах, теплота сгорания рабочей массы торфа – в широких пределах в зависимости от влажности массы и ее зольности. В процессе исследования получения аглопоритовых щебня и песка с использованием фрезерного торфа определен оптимальный состав шихты по результатам предварительных исследований.

Необходимо отметить, что оптимальная влажность сырьевой смеси зависит от вида применяемого торфа. Высота укладываемого слоя для шихты с применением торфа не превышает 310 мм, что сказывается на скорости ее спекания. Разрежение при агломерации составляет 0,02 МПа. Опыт показывает, что неудачное конструктивное решение или неправильный режим охлаждения шихты приводит к низкому качеству полученного спекшегося прочного пористого конгломерата. Особое значение приобретает теплофизическое обоснование рациональных режимов охлаждения. В связи с этим актуальной задачей является исследование распределения поля температур внутри шихты в зависимости от различных скоростей движения ленты агломерационной машины, а следовательно, от времени охлаждения.

**Математическая модель.** Математическая модель процессов охлаждения с движущейся лентой в общем случае должна содержать сопряженные системы уравнений, описывающих различные физические процессы: затвердевание шихты, оплавление поверхности, перераспределение примесей, газов и др. Недостаточная изученность ряда физических явлений, сложность системы дифференциальных уравнений вынуждают упростить математическую формулировку задачи, описывающую охлаждение шихты.

В последнее время наблюдается тенденция изучения динамики затвердевания с помощью численных методов решения краевых задач для уравнения теплопроводности. Этот подход связан со значительными затратами времени на составление и отладку программ. Однако во многих случаях реальных теплотехнологических процессов не требуется та высокая степень точности, которую дают аналитические либо численные методы моделирования. В таких случаях можно воспользоваться упрощенными, так называемыми инженерными способами расчетов, позволяющими проектировщику или технологу с достаточной для практических целей степенью точности определить технологически важные параметры процесса.

При исследовании процесса охлаждения шихты после расплава и сгорания вкраплений необходимо знать, как перемещается в расплаве фронт затвердевания, как распределяются температуры в сечении твердой корки и каково время окончания затвердевания. Процесс спекания шихты в производстве аглопорита с применением агломерационной машины делится на четыре этапа [2]:

- 1) испарение гигроскопической влаги при температуре до 100 °С;
- 2) подогрев слоя шихты при температуре от 100 до 800 °С (в этот период происходит дегидратация глинистых минералов и гидроокислов железа);
- 3) воспламенение топлива, находящегося в шихте (в этот период при температуре 800–1600 °С железные окислы восстанавливаются до закисного состояния и способствуют образованию жидкой фазы, происходит спекание зерен внутри отдельных частиц и контактное спекание их между собой, в результате сыпучий слой превращается в спекшийся пористый конгломерат);
- 4) охлаждение конгломерата (в этот период завершаются процессы кристаллизации магнетита и  $\alpha$ -кristобалита,  $\alpha$ -кварц переходит в  $\beta$ -кварц, при этом кристаллическими фазами являются: кварц, полевой шпат, кристобалит и муллит).

Весь процесс агломерации происходит при определенном аэродинамическом режиме. Разрежение по зонам спекания составляет 1,4–2,0 кПа. В [3] рассмотрена математическая модель, соответствующая третьему этапу технологии. Интерес представляет также математическое моделирование четвертого этапа агломерации. Распределение температуры в сечении объекта агломерации может быть найдено путем решения краевой задачи канонического вида [4]:

$$\left\{ \begin{array}{l} \operatorname{div}(\lambda \operatorname{grad} T) = 0; \\ T(\Omega) = T_{\text{кр}}; \\ \left. \frac{\partial T}{\partial n} \right|_{\Gamma_1} = 0; \\ \left. \lambda \frac{\partial T}{\partial n} \right|_{\Gamma_2} = \alpha (T(\Gamma_2) - \bar{T}), \end{array} \right\} \quad (1)$$

где  $\lambda$  – коэффициент теплопроводности;  $T$ ,  $T_{\text{кр}}$ ,  $\bar{T}$  – соответственно температура внутри объекта, температура кристаллизации и среднemasсовая температура объекта;  $\Omega$  – граница фронта затвердевания;  $\Gamma_2$  – охлаждаемый участок границы;  $\alpha$  – коэффициент теплоотдачи.

Предполагается, что изотермы фронта затвердевания сохраняют взаимное подобие по мере продвижения фронта в глубину, что позволяет использовать уравнение баланса теплоты [5]

$$Q = \rho (L + c(T_{\text{кр}} - \bar{T})) \frac{ds}{d\tau} = \int_0^l \left( \lambda \frac{dT}{dn} \right)_{\Gamma_1} dl, \quad (2)$$

где  $Q$  – количество теплоты;  $\rho$  – плотность;  $c$  – коэффициент теплоемкости;  $L$  – удельная теплота кристаллизации;  $s(\tau)$  – площадь сечения объекта в момент времени  $\tau$ .

Правая часть уравнения (2) представляет собой расход теплоты с охлаждаемого участка длиной  $l$ , левая часть учитывает выделение теплоты фазового перехода и изменение состояния объекта при снижении температуры от  $T_{кр}$  до  $\bar{T} = \frac{1}{S} \iint T(x, y) dx dy$ . Используя решение краевой задачи (1), с помощью уравнения теплового баланса (2) можно установить закон изменения во времени объема твердой фазы при агломерации.

Обозначим  $T_n$  температуру поверхности,  $r = \sqrt{x^2 + y^2}$ . Расчетную область (симметрическая задача), изображенную на рис. 1, отображаем на плоскость  $w = \varphi + i\psi$ , где  $\varphi$  – полярный угол с началом отсчета от полярной оси, совпадающей с положительным направлением оси  $x$ .

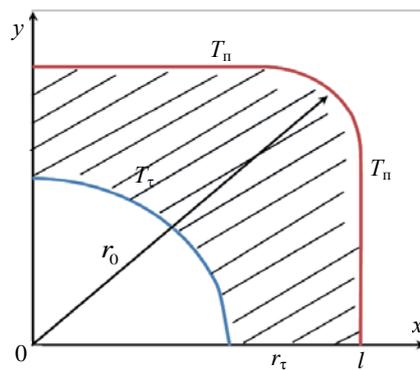


Рис. 1. Расчетная область в декартовых координатах

Расчетная область после отображения показана на рис. 2.

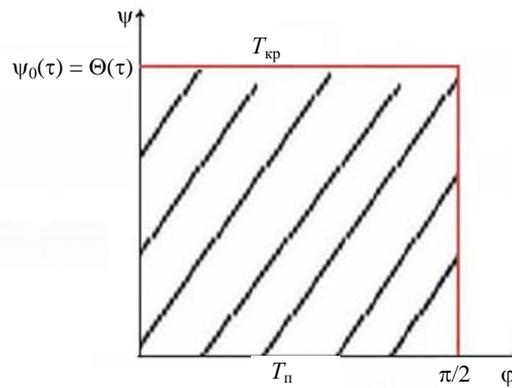


Рис. 2. Расчетная область после отображения

Тогда параметрические уравнения контура области имеют вид:

$$\begin{cases} x = R \cos \varphi; \\ y = R \sin \varphi. \end{cases} \quad (3)$$

Введем безразмерные величины:  $\bar{x} = \frac{x}{R}$ ;  $\bar{y} = \frac{y}{R}$ ;  $\bar{z} = \bar{x} + i\bar{y}$ . Тогда уравнение контура (3) запишется в виде  $\bar{z} = \bar{x} + i\bar{y} = \cos \varphi + i \sin \varphi = l^{i\varphi}$ . Если  $\bar{z}$  рассматривать как отображающую функцию, то можно найти  $\bar{x}$  и  $\bar{y}$  в виде [6]:

$$\begin{cases} \bar{x} = \cos \varphi l^{-\psi}; \\ \bar{y} = \sin \varphi l^{-\psi}. \end{cases} \quad (4)$$

Следовательно, уравнение теплового баланса примет вид

$$\int_0^{\frac{\pi}{2}} \lambda \frac{\partial T}{\partial \varphi} d\varphi = \rho \left( L + c(T_{\text{кр}} - \bar{T}) \right) \frac{ds}{d\tau}. \quad (5)$$

При переходе в плоскость  $w$  площадь расчетной области преобразуется к виду

$$S = \iint dx dy = l^2 \iint d\bar{x} d\bar{y} = R^2 \iint I(\varphi, \psi) d\varphi d\psi, \quad (6)$$

где  $I(\varphi, \psi)$  – якобиан преобразования при переходе к новым координатам (4)

$$I(\varphi, \psi) = \frac{\partial \bar{x}}{\partial \varphi} \frac{\partial \bar{y}}{\partial \psi} - \frac{\partial \bar{x}}{\partial \psi} \frac{\partial \bar{y}}{\partial \varphi}.$$

При переходе к новым координатам с учетом величины  $\Theta(\tau) = \psi_0(\tau)$ , где  $\psi_0(\tau)$  – положение фронта затвердевания к моменту времени  $\tau$ , получим из (6)

$$\frac{ds}{d\tau} = \frac{\partial s}{\partial \Theta} \frac{d\Theta}{d\tau} = R^2 \frac{d\Theta}{d\tau} \int_0^{\frac{\pi}{2}} I(\varphi, \Theta) d\varphi = \frac{\pi R^2}{2} l^{-2\Theta} \frac{d\Theta}{d\tau},$$

поскольку  $I = l^{-2\psi}$ .

Поле температур внутри объекта найдем по формуле

$$T(\varphi, \tau) = T_{\text{п}} + (T_{\text{кр}} - T_{\text{п}}) \frac{\Psi}{\Theta(\tau)}. \quad (7)$$

Уравнение теплового баланса (5) с учетом распределения температур (7) выражается формулой

$$\frac{\lambda}{c\rho R^2} \frac{d\tau}{L + \frac{c}{2}(T_{\text{кр}} - T_{\text{п}})} = \Theta l^{-2\Theta} d\Theta. \quad (8)$$

В качестве начального условия для дифференциального уравнения (8) принимается  $\Theta(0) = 0$ , тогда после интегрирования получим

$$\frac{2 \frac{c(T_{кр} - T_n) T_{кр} - T_n \lambda \tau}{L T_{кр} - T} \frac{c(T_{кр} - T_n) T_{кр} - T_n}{L T_{кр} - T}}{2 + \frac{c(T_{кр} - T_n) T_{кр} - T_n}{L T_{кр} - T}} = \frac{1}{4} (1 - (1 + 2\Theta) l^{-2\Theta}). \quad (9)$$

Если обозначить через  $a(\tau)$  расстояние от оси симметрии до фронта затвердевания в момент времени  $\tau$ , тогда  $\Theta(\tau) = l \frac{R}{a(\tau)}$ , и на основании (7) и (9) получим уравнение для распределения температуры внутри объекта

$$T(r, \tau) = T_n + (T_{кр} - T_n) \frac{\ln\left(\frac{R}{r}\right)}{\ln\left(\frac{R}{a(\tau)}\right)}.$$

**Опыт реализации технологии.** Предложенная технология реализована в ОАО «Минский завод стройматериалов». Полузаводские технологические испытания проводили на двух составах сырья с целью получения сравнительных данных по качественным показателям продукции и технологическим параметрам спекания шихты. В качестве технологического топлива использовали уголь АШ, фрезерный торф и древесные опилки [7]. Исходная влажность фрезерного торфа низинного типа составила 48 %, зольность – 12 %, влажность опилок – 10 %. В состав шихты входило сырье месторождения «Фаниполь», характеристика которого приведена в табл. 1 [8].

Таблица 1

Характеристики сырья месторождения «Фаниполь»

Наименование объекта испытаний, показатели	ТНПА, устанавливающий требования к продукции	Нормированное значение показателя, установленное в ТНПА, мас. %	Фактическое значение показателя для образца, мас. %		Среднее значение для образцов № 1 и № 2, мас. %	Вывод о соответствии требованиям ТНПА
			№ 1	№ 2		
Суглинок месторождения «Фаниполь»: содержание оксидов	ГОСТ 9169–75					Соответствует
SiO <sub>2</sub>			80,39	80,37	80,38	
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>		Менее 14	6,32	6,39	6,355	
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>		1,5–3,0	2,40	2,43	2,415	
TiO <sub>2</sub>		Менее 1,0	0,38	0,31	0,345	
CaO			3,54	3,58	3,56	
MgO			1,59	1,61	1,60	
SO <sub>3</sub>			–	–	–	
П.п.п			2,56	2,57	2,565	
Свободный SiO <sub>2</sub>	Более 25	57,37	57,34	57,355		

Определен оптимальный состав шихты по результатам предварительных исследований, приведенный в табл. 2.

Таблица 2

**Оптимальный состав шихты по результатам предварительных исследований**

Компонент	Состав шихты без добавки, мас. %	Влажность компонентов шихты, %	
Суглинок	88–89	18,30	18,50
Уголь	7–8	10,50	11,20
Торф фрезерный	2–3	49,66	46,12
Возврат	10	–	–

Следует отметить, что оптимальная влажность сырьевой смеси зависит от вида применяемого торфа. Высота укладываемого слоя для шихты с применением торфа не превышает 310 мм, что сказывается на скорости ее спекания. Разрежение при агломерации составляет 0,02 МПа [9].

Температура зажигания шихты 1000–1100 °С. Расход газа при этом не увеличивается. Вертикальная скорость спекания шихты составляет 4–6 мм/мин. Съем продукции по составам шихты – 180–210 кг/м<sup>2</sup> с учетом выхода недожога.

Аглопоритовые щебень и песок с применением фрезерного торфа и древесных опилок по показателям прочности и плотности соответствовали требованиям стандарта, согласно которому по показателям насыпной плотности аглопоритовые щебень и песок относят: фракция 20–40 мм и 10–20 мм – к марке 600; фракция 5–10 мм – к марке 700; фракция менее 5 мм – к маркам 1000–1100. По показателям прочности аглопоритовый щебень относится: фракция 20–40 мм и 10–20 мм – к марке 75; фракция 5–10 мм – к марке 200–250. Полученные аглопоритовые щебень и песок практически по всем качественным показателям близки показателям продукции с использованием обычной шихты. Представляет также практический интерес использование в технологии увеличения крупности частиц (фракционного состава) торфа до 10 мм с целью повышения его массы, что вызовет повышение температуры в спекаемом слое, изменение режимов полукоксования торфа и параметров агломерационного процесса, в частности выхода недожога [10, 11].

Большое значение имеет также изучение качественных показателей аглопорита, спекаемого с технологическим топливом с различным содержанием летучих веществ, что может увеличить выход недожога и повлиять на экологическую обстановку территории.

## ВЫВОД

Анализ проведенных исследований показывает, что по мере уменьшения крупности топливных частиц повышается восстановительный потенциал продуктов горения и снижается высота окислительной зоны. Это связано с уменьшением степени использования углерода, а также с увеличением абсолютной температуры в зоне горения, что приводит к снижению температурного уровня процесса. Следует отметить: степень углефикации

топлива влияет на возможную скорость спекания шихты, что отражается на скорости горения топлива.

Работа действующих аглопоритовых предприятий, которые применяют в качестве технологического топлива низкосортные угли, позволяет рекомендовать проведение исследований по разработке технологических параметров производства аглопорита при замене угля на местные виды топлива (фрезерный торф – топливный, для компостирования, топливные дробленые брикеты, древесные опилки, сапропель и др.). Необходимо отметить, что сапропелевые коллоидные отложения содержатся во многих пресноводных водоемах Беларуси и имеют до 93 % органических веществ. Сейчас их добыча носит промышленный характер и применение сапропелей возможно не только в сельском хозяйстве, но и производстве легких заполнителей для аглопорита.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Березовский, Н. И. Обогащение и комплексное использование минеральных ресурсов / Н. И. Березовский, С. Н. Березовский, Б. В. Лесун. – Минск: БИП, 2012. – 91 с.
2. Строительные машины: справочник: в 2 т. / В. Н. Лямин [и др.]; под общ. ред. М. Н. Горбовца. Т. 2: Оборудование для производства строительных материалов и изделий. – 3-е изд., перераб. – М.: Машиностроение, 1991. – 494 с.
3. Воронова, Н. П. Математическое моделирование и управление теплотехнологиями промышленных производств / Н. П. Воронова. – Минск: БНТУ, 2009. – 259 с.
4. Тимошпольский, В. И. Промышленные теплотехнологии: моделирование нелинейных процессов / В. И. Тимошпольский, И. А. Трусова, А. П. Несенчук. – Минск, 2000. – 319 с.
5. Воронова, Н. П. Математическое моделирование энергосберегающих режимов нагрева, сушки и термообработки / Н. П. Воронова. – Минск: БНТУ, 2006. – 85 с.
6. Фильчаков, П. Ф. Приближенные методы конформных отображений / П. Ф. Фильчаков. – Киев: Наукова думка, 1964. – 531 с.
7. Некоторые вопросы утилизации сырья при обогащении на горно-перерабатывающих предприятиях Беларуси / Н. И. Березовский [и др.] // Горная механика и машиностроение. – 2013. – № 3. – С. 25–35.
8. К вопросу использования местных видов топлива в производстве пористых строительных материалов / Н. И. Березовский [и др.] // Социально-экономические и экологические проблемы горной промышленности, строительства и энергетики: материалы 9-й Междунар. конф.: сб. науч. тр. – Минск-Тула-Донецк, 2013. – Т. 2. – С. 366–372.
9. Рациональное использование твердых горючих ископаемых при производстве аглопорита / Н. П. Воронова [и др.] // Инновация 2013: материалы Междунар. науч.-практ. конф.: сб. науч. статей. – Ташкент, 2013. – С. 137–138.
10. Сырьевая смесь для получения аглопорита: пат. Респ. Беларусь № 17707, МПК С04В14/12 / Н. И. Березовский, Н. П. Воронова, Б. В. Лесун, Е. К. Костюкевич; заявитель Белорусский национальный технический университет № а20111621; заявл. 2011.11.30; опубл. 2013.12.30 // Афіцыйны бюл. Изобретения. Полезные модели. Промышленные образцы. – 2013. – № 6. – С. 94.
11. Березовский, Н. И. Разработка инновационных технологий / Н. И. Березовский, С. Н. Березовский, Б. В. Лесун. – Минск: БИП, 2013. – 84 с.

#### REFERENCES

1. B e r e z o v s k i, N. I., B e r e z o v s k i, S. N., & L e s u n, B. V. (2012) *Enrichment and Complex Utilization of Mineral Recourses*. Minsk, BIP. 91 p. (in Russian).
2. L i a m i n, V. N., G o r b o v e t s, M. N., B y k h o v s k i, I. I., & N o s e n k o, N. E. (1991) *Building Machines*. Ref. Book. in 2 Parts. Moscow, Mashinostroenie, Part 2. Equipment for Production of Building Materials and Products. 494 p. (in Russian).

3. Voronova, N. P. (2009) *Mathematical Modeling of Heat Technologies Control at Industrial Industries*. Moscow: BNTU. 259 p. (in Russian).
4. Timoshpolskyi, V. I., Trusova, I. A., & Nesenчук, A. P. (2000) *Industrial Technologies*. Minsk: BNTU. 319 p. (in Russian).
5. Voronova, N. P. (2006) *Mathematical Modeling of Energy-Saving Regimes of Heating, Drying and Heat Treatment*. Minsk, BNTU. 85 p. (in Russian).
6. Filchakov, P. F. (1964) *Approximation Method of Comfort Reflection*. Kiev, Naukova Dumka. 531 p. (in Russian).
7. Berezovskii, N. I., Voronova, N. P., Gribkova, S. M., & Lesun, B. V. (2013) Some Questions of Raw Material Utilization in the Process of enrichment at Mining Plants of Belarus. *Gornaia Mekhanika i Mashinostroenie* [Mechanics and Mining Engineering], 3, 25–35 (in Russian).
8. Berezovskii, N. I., Voronova, N. P., Kostukevich, E. K., Gribkova, S. M., & Lesun, B. V. (2013) To the Problem on Application of Local Fuel Types in the Production of Porous Construction Materials. *Sotsial'no-Ekonomicheskie i Ekologicheskie Problemy Gornoj Promyshlennosti, Stroitel'stva i Energetiki: Materialy 9-i Mezhdunarodnoi Konferentsii: Sbornik Nauchnykh Trudov. T. 2* [Social and Economic and Ecological Problems of Mining Industry, Construction and Power Engineering. Proceedings of the IX<sup>th</sup> International Conference. Collection of Research Papers. Vol. 2]. Minsk: BNTU, 366–372 (in Russian).
9. Voronova, N. P. (2013) Rational Utilization of Solid Fossil Fuels While Producing Agloporite. *Innovatsiia 2013: Materialy Mezhdunarodnoi Nauchno-Prakticheskoi Konferentsii* [Innovation 2013: Proceedings of International Scientific-Practical Conference: Collection of Research Papers]. Tashkent, 137–138 (in Russian).
10. Berezovskii, N. P., Voronova, B. V., & Kostukevich, E. K. (2013) Raw Mixture for Allgorite Obtaining. Patent Republic of Belarus No 17707. *Ofitsial'nyi Biulleten'. Izobreneniia. Poleznye Modeli. Promyshlennye Obraztsy* [Official Bulletin. Invention. Utility Models. Industrial Designs.], 6, 94 (in Russian).
11. Berezovskii, N. I., Berezovskii, S. N., & Lesun, B. V. (2013) *Development of Innovation Technologies*. Minsk: BIP (Institute of Legislation & Comparative Law). 84 p. (in Russian).

Представлена кафедрой  
горных машин

Поступила 18.06.2014