

БЕЛОРУССКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

УДК 622.7.017

**ЛЕСУН**  
**Борис Владимирович**

**ОПТИМИЗАЦИЯ ПАРАМЕТРОВ СЫРЬЕВЫХ СМЕСЕЙ  
ПРИ ОБОГАЩЕНИИ МЕСТНЫХ ВИДОВ ТОПЛИВА  
С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ВТОРИЧНЫХ ЭНЕРГОРЕСУРСОВ**

**Автореферат**  
диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук  
по специальности 25.02.01 – Обогащение полезных ископаемых

Минск, 2015

Работа выполнена в Белорусском национальном техническом университете

Научный руководитель **БЕРЕЗОВСКИЙ Николай Иванович**,  
доктор технических наук, профессор,  
заведующий кафедрой «Горные машины»  
Белорусского национального технического  
университета

Официальные оппоненты: **ПРУШАК Виктор Яковлевич**,  
доктор технических наук, профессор, член-  
корреспондент НАН Беларуси, технический  
директор ЗАО «Солигорский Институт  
проблем ресурсосбережения с опытным  
производством»;

**БОКУН Иван Антонович**,  
доктор технических наук, профессор,  
профессор кафедры «Экономика и  
организация энергетики» Белорусского  
национального технического университета

Оппонирующая  
организация: Государственное научное учреждение  
«Институт природопользования  
Национальной академии наук Беларуси»

Защита состоится «26» июня 2015 года в 14:00 часов на заседании Совета по защите диссертаций Д 02.05.11 при Белорусском национальном техническом университете по адресу: 220013, г. Минск, проспект Независимости, 65, корп. 1, ауд. 202, тел. ученого секретаря +375-17-293-92-18, e-mail: kafgormash@gmail.com.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Белорусского национального технического университета.

Автореферат разослан «25» мая 2015 года.

**Ученый секретарь**  
совета по защите диссертаций  
доктор технических наук, профессор

Н.И. Березовский

© Лесун Б.В., 2015  
© Белорусский национальный  
технический университет, 2015

## ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время в Республике Беларусь проводится большая работа по внедрению в различных областях промышленности местных видов топлива (МВТ) и вторичных энергетических ресурсов (ВТЭР), расширяется развитие исследований по экономии технологического топлива и замене дефицитных и дорогостоящих импортных материалов на местные виды топлива на основе различных типов и видов торфа, отходов торфобрикетного и деревообрабатывающего производств, которые имеют необходимую теплоту сгорания и содержат необходимое количество высококалорийных органических веществ. Все это является актуальной проблемой в технологии обогащения сырьевых материалов, их агломерации и оптимизации технологических параметров. Использование МВТ с низкой теплотворной способностью и ВТЭР требует усовершенствования и разработки новых способов по обогащению, усреднению, определению оптимальных сырьевых составов и режимов технологической обработки с целью более эффективного их сжигания в слое шихты при получении, например, аглопорита.

В качестве замены импортируемых составляющих можно использовать местное сырье, которое по своим физико-механическим свойствам не должно им уступать. Эти вопросы тесно связаны с Постановлением Совета Министров Республики Беларусь №585 п. 1.5: использование МВТ и ВТЭР входят в перечень приоритетных направлений фундаментальных и прикладных научных исследований Республики Беларусь на 2011–2015 годы, а также утвержденной постановлением Совета Министров Республики Беларусь (протокол № 94 от 23.01.2008 г.) Государственной программой «Торф» на 2008–2010 гг. и на период до 2020 г.

Ежегодно качество добываемого сырья на основе МВТ ухудшается за счет увеличения влажности, зольности и уменьшения плотности и теплоты сгорания материала, что сказывается на удельных энергозатратах при его обогащении и переработке. Поэтому также актуальным является вопрос об оптимальном обогащении сырьевых материалов за счет усреднения и утилизации вторичных энергоресурсов на основе различных видов торфа и древесных опилок, отходов пылевыведения и недожига сырьевой смеси. Как показали исследования, проведенные в НИИСМИ и на ОАО «Минский завод строительных материалов» (МЗСМ) оптимальной является технология производства аглопорита, которая связана с использованием выбранных органогенных материалов и ВТЭР.

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

### **Связь работы с крупными научными программами, темами.**

Диссертация соответствует приоритетным направлениям научно-технической деятельности и выполнялась в соответствии с научно-исследовательской темой ГБ 11–110 «Разработка научных основ экологобезопасной технологии получения пористых строительных материалов с использованием местных видов топлив и вторичных энергоресурсов» (№ госрегистрации 20112309, 2011–2013 гг., ГПНИ подпрограмма 5 «Природно-ресурсный потенциал», раздел 1

«Природопользование-2»), а также с научно-исследовательской темой ГБ 11–251 (2011–2015 гг.) «Обоснование и разработка эффективных технологий и технических решений для совершенствования процессов добычи и обогащения горных пород».

**Цель и задачи исследования.** Цель исследования – разработка методики и оптимизация технологических параметров и составов сырьевых смесей на основе применения обогащенных МВТ и с применением ВТЭР.

Для достижения этой цели в задачи исследования входило:

- разработать метод эффективного использования сырьевых смесей на основе физико-механических и химических свойств фрезерного торфа и продуктов его переработки как импортозамещающего сырья, древесных опилок как отходов деревообработки и глинистого сырья в технологическом процессе получения аглопорита;

- разработать методику обогащения сырьевых смесей, включающую измельчение материалов с различными компонентами и их свойствами в усреднительных складах с учетом технологических параметров агломерации и энергоемкости процесса;

- разработать математическую модель при обжиге сырьевых смесей с определением оптимальных параметров работы агломерационной машины;

- исследовать и оптимизировать качественные параметры получения аглопорита в зависимости от состава и свойств сырьевой смеси;

- внедрить результаты исследования и разработать рекомендации по использованию МВТ и ВТЭР в технологии получения аглопорита.

Объектом исследования являются органогенные материалы, заводы, производящие брикеты из местных видов топлива, аглопорит, а также продукты отходов деревообрабатывающей и топливной промышленности Республики Беларусь, и вскрышные породы при добыче нерудных строительных материалов (НСМ).

Методы исследования: экспериментальные, физические, компьютерные, математической статистики, экономические, расчетно-теоретические, математического моделирования, численной обработки и методы планирования эксперимента. Использована специализированная контрольно-измерительная аппаратура.

**Научная новизна.** Научная новизна диссертационной работы заключается в разработке:

- метода использования сырьевых смесей на основе МВТ и ВТЭР в производстве аглопорита, отличающегося учетом их типа и вида, физико-механических и химических свойств, что позволило эффективно использовать их в производственной технологии получения аглопорита;

- методики обогащения сырьевых смесей, отличающейся различными свойствами и компонентами и позволившая создать структуру программного модуля усреднительного склада и критерий оптимальности качества смеси;

- математической модели обжига сырьевых смесей, отличающейся описанием различных технологических процессов агломерационной машины и

позволившая интенсифицировать процесс спекания шихты и уменьшить удельные энергозатраты процесса;

- математических зависимостей прочности и плотности аглопоритового щебня от его фракционного состава, а также прочности аглопорита от его плотности, отличающиеся различными видами выгорающих добавок на основе МВТ и ВТЭР;

- адекватной многофакторной зависимости для состава сырьевой смеси, отличающейся вводом в сырьевую смесь торфяной крошки, суглинков и угля, позволившей оптимизировать параметры, влияющие на прочность аглопоритового щебня.

#### **Положения, выносимые на защиту:**

- методики обогащения сырьевых смесей на основе МВТ и ВТЭР, отличающиеся типом, физико-механическими и химическими свойствами торфа, позволившие создать структуру программного модуля усреднительного склада и определить критерий оптимальности качества смеси;

- математическая модель обжига сырьевых смесей, позволившая на основании полученных граничных условий для процесса обжига в агломерационной машине оптимизировать скорость движения паллет и интенсифицировать процесс спекания шихты;

- многофакторная модель состава сырьевой смеси, позволившая оптимизировать прочность аглопоритового щебня на основе МВТ и ВТЭР;

- математические зависимости прочности, плотности и теплопроводности аглопорита от его физико-механических свойств и состава смеси а также прочности от плотности и отличающиеся вводом в сырьевую смесь МВТ и ВТЭР;

- инновационная технологическая схема получения аглопорита с использованием МВТ и ВТЭР на основе полученных патентов на изобретения и полезную модель, проверенных в производственных условиях.

**Личный вклад соискателя.** Автор диссертационной работы принимал непосредственное участие в формулировании цели, определении задач исследования, в проведении экспериментов и их обработке, подготовке публикаций и докладов на научно-технических конференциях, составлении заявок на патенты. Автор обеспечивал проведение опытно-промышленных испытаний разработанной технологии применения МВТ и ВТЭР в производстве аглопорита.

Основными соавторами опубликованных работ являются: Березовский Н.И. (научный руководитель), оказывавший практическую помощь и содействие на всех этапах выполнения работы; Воронова Н.П., принимавшая участие в разработке математической модели обжига сырьевых смесей в агломерационной машине; Грибкова С.М., участвовавшая в проведении и обработке результатов экспериментов применения МВТ и ВТЭР. На все совместно опубликованные с соавторами работы в тексте диссертационной работы приведены ссылки.

**Апробация результатов диссертации и информация об использовании ее результатов.** Результаты работы изложены на МНТК БНТУ в 2012–2014 гг., в Гомеле на XVI РНК УО «ГГУ им. Ф. Скорины». Прикладные аспекты диссертационной работы, составляющие основу технологии применения МВТ и ВТЭР в подготовке сырьевых смесей доложены и обсуждены на научно-практических семинарах в УО ГИПК «Газ-институт». Проведены

производственные испытания на МЗСМ с целью ввода в состав сырьевой смеси вместо дорогостоящих импортных составляющих на основе угля и антрацита фрезерного торфа, измельченных торфяных брикетов, древесных опилок, а также вскрышных пород для получения шихты и аглопорита. Результаты исследований показали, что качественные показатели аглопорита (прочность, плотность и теплопроводность) соответствуют нормативным показателям и обладают высоким качеством с уменьшением себестоимости готовой продукции. Внедрение научных разработок в производство на МЗСМ позволило получить экономический эффект в сумме более 110 млн. рублей за счёт разницы цен составляющих сырьевой смеси и уменьшения энергозатрат при их агломерации и улучшения экологической обстановки вследствие использования в технологии отходов производства.

**Опубликованность результатов диссертации.** Сущность научных положений, выводов, рекомендаций, а также технологии применения МВТ и ВТЭР в производстве аглопорита изложены в 26 работах, в том числе в 7 статьях изданий перечня ВАК Республики Беларусь и Украины для опубликования результатов диссертационных исследований, общим объемом – 3,18 авторских листа, 3 монографиях, а также в 2 статьях и 10 тезисах в сборниках материалов международных научных конференций. Получены 4 патента: один патент на полезную модель и три патента на изобретения.

**Структура и объем диссертации.** Диссертация состоит из введения, общей характеристики работы, четырех глав основного текста, заключения, списка использованных источников и публикаций соискателя и приложений. Работа изложена на 98 страницах, в т.ч. 91 страницы машинописного текста, включая 30 рисунков и 46 таблиц, 4 страницы литературных источников (56 наименований) и 3 страницы публикаций автора (26 наименований).

## ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

**Во введении** обосновывается актуальность исследования, показывается степень разработки обозначенной проблемы, освещены пути их решения, раскрывается практическая значимость интенсификации использования МВТ, ВТЭР и отходов производства, а также определяется степень влияния их основных свойств на технологические и физико-механические параметры получения аглопорита.

**В первой главе** приведены аналитический обзор и анализ литературных источников по вопросам использования в промышленности местных видов топлива на основе торфа и продуктов его переработки, включая торфяные брикеты, а также определены физико-механические и химические свойства и параметры основных компонентов сырьевой смеси для производства аглопорита. Отмечен значительный вклад в развитие направления использования торфа и продуктов его переработки в различных областях промышленности и обогащения различных сырьевых материалов Абрамца А.М., Бамбалова Н.Н., Березовского Н.И., Богатова Б.А., Бокуна И.А., Бровки Г.П., Гнеушева В.Н., Зюзина Б.Ф., Кислова Н.В., Косова В.И., Куптеля Г.А., Лиса Л.С., Лиштвана И.И., Мисникова О.С., Михайлова А.В., Наумовой Г.В., Прушака В.Я., Теренььева А.А., Томсона А.Э., Фалюшина П.Л., Широкого Г.Т. и других ученых. Систематизированы данные об использовании в

промышленности сырьевых смесей, в состав которых могут входить отходы производства: суглинки и глина на основе вскрышных пород, древесные опилки, и отходы торфобрикетного производства.

Увеличение объемов потребления местного топлива в энергетике и других отраслях в Республике Беларусь предусматривается в первую очередь за счет фрезерного торфа и торфяных брикетов. Особенно следует отметить возможность производства аглопорита за счет использования лома торфяных брикетов, которые являются отходами брикетного производства.

Рассматриваются вопросы исследования в лабораторных и производственных условиях использования МВТ и ВТЭР на основе торфяных брикетов, фрезерного торфа и древесных опилок в технологии получения аглопорита. Рассмотрены вопросы комплексного использования местных видов топлива и вторичных энергоресурсов в производстве аглопорита, который также применяется в промышленности, как теплоизоляционный материал. Для достижения импортозамещения следует развивать производства, имеющие высокую долю местных ресурсов, а также более глубокую их переработку.

Торф как молодое образование органогенной природы в ряду каустобиолитов сохраняет и накапливает много ценных свойств растений - торфообразователей, концентрирует их в своей структуре (биологически активные вещества, битумы, углеводы). Это обстоятельство выдвигает его в разряд ценных и уникальных сырьевых ресурсов. Рациональное освоение этого природного ресурса, означает полное ресурсосберегающее использование потенциальной ценности этого сырья. Решение стоящих в области использования торфа задач тесным образом связано с системной и всесторонней оценкой сырьевых запасов. Согласно Государственной программе «Торф» предусмотрен рост объемов потребления местного вида топлива на энергетические цели, одним из направлений программы может явиться использование его вместо импортных составляющих (уголь, антрацит) в производстве аглопорита, что снизит энергоемкость процесса.

Проведен анализ теплотехнических и химических характеристик торфа, измельченных торфяных брикетов, которые позволяют использовать торф и продукты его переработки как импортозамещающее технологическое топливо при подготовке сырьевых смесей в производстве аглопорита, а также разработана методика проведения опытов усреднения сырьевых смесей в лабораторных и промышленных условиях. Теплота сгорания рабочей массы колеблется в широких пределах в зависимости от влажности и зольности массы. По своему химическому составу вскрышные породы месторождений «Ольшанка», «Фанипольское» и «Фаниполь» могут использоваться при производстве аглопорита с добавками местного топлива, которое создает необходимую теплоту сгорания до 4500 ккал/кг в зоне обжига агломерационной машины. Для этой технологии могут также использоваться отходы в топливной (лом брикетов), деревообрабатывающей (опилки) и гидролизной (лигнин) промышленности, а также вскрышные породы при добыче силикатного песка.

Определено, что содержание топлива в сырьевой смеси при использовании глинистых пород составляет 6–8%. При определении состава торфа при влажности от 10 до 30% установлено, что содержание углерода колеблется от 39 до 47 %, что соответствует необходимой теплоте сгорания от 3100 до 4300 ккал/кг. Сырье

месторождения «Фанипольское» характеризуется равномерной структурой, глинистое вещество его имеет полимерный состав и представляет смесь гидрослюда и каолина. Химический состав глинистого сырья содержит 77–82%  $\text{SiO}_2$ , до 8–9%  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , 2–3%  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ; 1,5–2,8%  $\text{CaO}$ . Также имеются включения  $\text{TiO}_2$ ,  $\text{MgO}$ ,  $\text{Na}_2\text{O}$ ,  $\text{K}_2\text{O}$ . Число пластичности сырья до 12, огнеупорность 1400–1600 °С, влажность 16–21%. Зерновой состав характеризуется в основном размерами частиц 0,25–0,01 мм (60–75%), менее 0,01 мм (23–61%), что позволяет использовать в технологии фрезерный торф и измельченный торфяной брикет фракционным составом менее 5 мм, где оптимальная зольность составляет до 23%, а влажность до 50% (фрезерный торф) и 18–20% для торфяного брикета.

Анализируя технический состав низинных типов торфа для древесного вида степень разложения  $R = 40\text{--}50\%$ , для травяного вида –  $R = 27\text{--}30\%$ , для мохового –  $R = 20\text{--}23\%$ , а полная влагоемкость составляет соответственно 8,0, 12,2, 11,6%. Определены показатели элементного состава органической массы для низинных торфов. Для древесной группы содержание углерода и водорода колеблется до 70%, для травяного вида до 63% и моховая группа содержит менее 40%. Фрезерный торф соответствует СТБ017–2006.

По химическому составу для древесной группы содержание битумов, легкогидролизующих, гуминовых, фульвокислот, лигнина составляет 92–94%, для травяной группы соответственно 88–90%, для моховой 85–88%, что указывает на возможность использования первой группы в импортозамещающих технологиях для энергетических целей. При определении химического состава верхового и низинного типа торфа преимущества в теплотворной способности также на стороне последнего из-за меньшей относительной влажности и меньшего содержания оксидов  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ . Фракционный состав фрезерного торфа составляет более 10 мм – 18,51%, от 1,25 до 10 мм – 45,93%, от 0,14 до 1,25 мм – 19,51%, менее 0,14 мм – 16,07%.

Установлено, что по химическому составу фрезерный торф верхового и низинного типов отличается на 10–15% по содержанию оксидов кремния, алюминия, углерода и других составляющих, что может оказывать влияние на термическую обработку и свойства сырьевых материалов из-за их теплотворной способности. Поэтому при частичной замене антрацита фрезерным торфом и продуктами его переработки оптимальный ввод их в шихту составляет до 50% всего топлива, при этом по измельченному брикету с учетом теплотворной способности, плотности и грансостава увеличение расхода составляет в 1,2–1,5, а по фрезерному торфу в 1,75–2,0 раза. Оптимальная влажность шихты зависит от влагоемкости торфа и увеличивается на 10–15%, а при использовании измельченного брикета в смеси (суглинок – антрацит – опилки) незначительно. Так, для высоты спекаемого слоя 300 мм разрежение при зажигании 200 мм вод. ст., при спекании – 200 мм вод. ст. верхний предел крупности гранул торфа составляет 6–9 мм, нижний более 1 мм. При этом выгрузка спека осуществляется через 40–45 минут и для стабилизации процесса спекания шихты с частичной заменой антрацита торфом необходимо обеспечить дополнительный нагрев поверхности зажигаемого слоя шихты, что может увеличивать расход газа до 10%. Это позволило определить состав сырьевой смеси с учетом физико-механических и



химических свойств фрезерного торфа, а также химический состав суглинков и грансостав компонентов.

Установлено, что в основном влажность и содержание органических веществ, входящих в состав древесных опилок, вид древесного сырья значительно влияют на теплоту сгорания топлива в составе сырьевой смеси. Так, при влажности опилок 30–40% низшая теплота их сгорания составляет 15–9 МДж/кг, а при их влажности 40–45% уменьшается на 40–50%. Большею теплотворной способностью обладают опилки, полученные от среднеплотной древесины на основе березы, дуба, клена, ольхи. Низшая рабочая теплота сгорания щепы из малоплотной древесины при влажности 35% составляет 11–12 МДж/кг, для хвойных пород 9,5–10 МДж/кг, для лиственных пород – 10,0–10,8 МДж/кг, для смешанных пород 10–11 МДж/кг. Плотность древесных опилок составляет 150–240 кг/м<sup>3</sup>, теплопроводность 0,058–0,092 Вт/м К, фракционный состав от 5 до 10 мм – 3,5%; от 2 до 5 мм – 63,3%; ниже 2 мм – 33,2% при проведении опытов на ОАО «ТБЗ Усяж». Получена математическая зависимость теплотворной способности  $Q$  древесных опилок (смешанные породы: 70% лиственные и 30% хвойные) от их влажности  $W$ :

$$Q = 0,0023W^2 - 0,35W + 17,5. \quad (1)$$

Здесь следует отметить, что применение для сырьевой смеси опилок из отходов лесозаготовок или деревообработки и отходов торфяного производства в виде некондиционных брикетов (лом брикетов) экономичнее использования импортных составляющих. Технологические параметры до проведения испытаний: температура в пламенном пространстве горна 950–1000 °С; скорость агломерационной машины (по вариатору) 80 В; уголь на отметке 4, на вариаторе 60 В; опилки на отметке 2; зазор между валками камневыведительных вальцов 10 мм; зазор между валками вальцов тонкого помола 5–15 мм. В процессе проведения испытаний контролировались следующие технологические параметры: дозировка компонентов шихты; влажность компонентов шихты; грансостав шихты; влажность шихты; скорость движения паллет машины; высота слоя спекаемой шихты; разрежение в вакуум-камерах агломерационной машины, где определялись: характеристика коржа со стороны разгрузки машины; качественные показатели полученного аглопорита, а также его теплопроводность.

Полнота и эффективность использования местных видов топлива и ВТЭР в сырьевой смеси может быть оценена с помощью показателей рациональности и безотходности составляющих с помощью критерия комплексности использования сырья

$$K_{исп} = N_p / N_T, \quad (2)$$

где  $N_p$  – число реализуемых вариантов использования сырья и сырьевой смеси с различными физико-механическими и химическими свойствами; а  $N_T$  – число теоретически возможных вариантов использования сырья и сырьевой смеси.

**Во второй главе** разработана схема обогащения сырьевых смесей с различными компонентами, отличающиеся влажностью, зольностью и

фракционным составом. Составлена структура программ модуля усреднительного склада. Проведенный анализ показал, что качество брикетов, поставляемых на переработку на ОАО «ТБЗ Усяж» (участок дробления), не обладает стабильностью. Например, зольность и влажность брикетов разных предприятий меняется от 16,8 до 29,1% по влажности, и от 10,3 до 23,3% по зольности (рисунок 1). Эти качества брикетов после их дробления являются наравне с теплотворными способностями, важными характеристиками для дальнейшего использования при получении сырьевых смесей. Здесь следует отметить, что наиболее удачными способами усреднения по влажности и зольности является «слоевой» вариант (рисунок 2), реализуемый в штабелях, где нижний слой составляет компонент с большей влажностью, позволяющий эффективно усреднять сырьевую смесь по всему объему смеси, а также технология с разгрузкой от бункеров конвейерным способом (рисунок 3), где среднее значение сырьевых смесей по зольности составляет 16,8%, по влажности 22,8%.

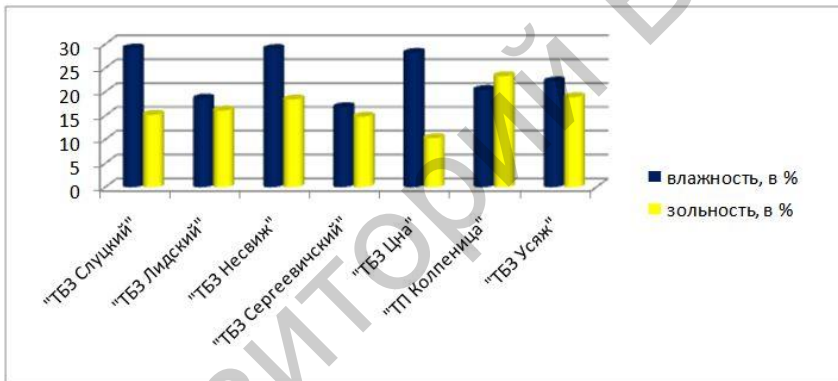


Рисунок 1. – Показатели влажности и зольности торфяных брикетов для измельчения

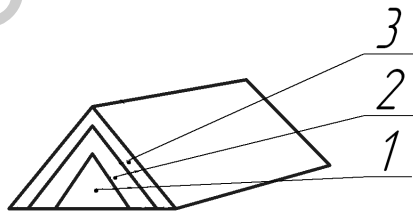
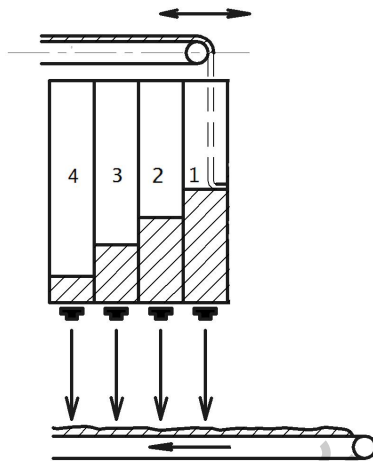


Рисунок 2. – Схема слоевого штабеля для трех компонентов



1 – глина или суглинок; 2 – уголь; 3 – древесные опилки; 4 – торф

Рисунок 3. – Схема усреднения по влажности с одновременной разгрузкой ячеек для четырех компонентов сырьевой смеси

Исследование способов усреднения по влажности и зольности показало, что модели эффективнее строятся, если преобразование применяется к функции качества продукции, которая во многом определяется свойствами сырьевой смеси. Поэтому конвейерный способ усреднения по влажности и зольности более эффективный по оперативности и скорости его использования.

При смешивании фрезерного торфа и измельченных брикетов с различным теплосодержанием, влажностью, зольностью, фракционным составом важно перед их обработкой знать концентрацию влаги в смеси. От этого зависит время сушки и обжига, удельная энергоёмкость процесса. Концентрация влаги смеси можно определить по формуле

$$p = \frac{\sum_{i=1}^n m_{bi}}{\sum_{i=1}^n m_{ci}}, \quad (3)$$

где  $m_{bi}$  – масса влаги в  $i$ -й компоненте смеси,  $m_{ci}$  – масса  $i$ -й компоненты при смешивании,  $n$  – число компонент.

На основании теории массопереноса количество влаги, перешедшей от одной компоненты смеси к другой  $\Delta m_b$ , может быть вычислено по закону

$$\Delta m_{bi} = c_{mi} m_{ci} (\theta_{i+1} - \theta_i), \quad i = \overline{1, n}, \quad (4)$$

где  $c_{mi}$  – удельная влагоемкость;  $\theta_i$  – потенциал массопереноса  $i$ -й компоненты.

Потенциал массопереноса на изометрических поверхностях есть функция удельного влагосодержания  $p = \frac{m_b}{m_c}$ . На основании экспериментальных данных получена функциональная зависимость  $\theta(p)$  для температуры окружающей среды  $T = 25$  °С для фрезерного торфа

$$\theta(p) = 178 + 0,945p. \quad (5)$$

На основании линейной зависимости вычисляются значения потенциалов массопереноса компонентов смешиваемого торфа и, следовательно, количество дрейфующей влаги  $\Delta m_{bi}$ . Усреднение происходит за счет взаимной передачи влаги между партиями торфа с различным влагосодержанием.

Анализ этого процесса во времени  $t$  можно представить в виде

$$\frac{\partial p}{\partial t} = a_m \nabla^2 p, \quad (6)$$

где  $a_m$  – коэффициент массопроводности материала и рассчитывается по формуле

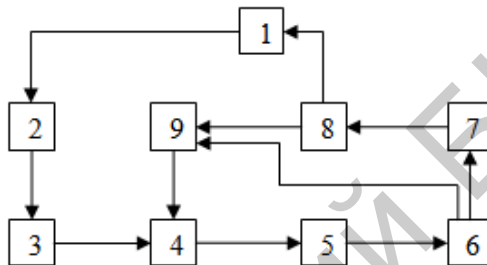
$$a_m = \frac{\lambda_m}{c_m \rho}, \quad \text{где } \lambda_m \text{ – коэффициент влагопроводности; } \rho \text{ – плотность вещества.}$$

Оператор  $\nabla^2$  в зависимости от формы объекта, может быть записан для линейного, плоского или пространственного случаев в виде

$$\nabla^2 p = \frac{\partial^2 p}{\partial x^2}, \quad \nabla^2 p = \frac{\partial^2 p}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 p}{\partial y^2}, \quad \nabla^2 p = \frac{\partial^2 p}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 p}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 p}{\partial z^2}. \quad (7)$$

Структура программного модуля усреднительного склада представлена на рисунке 4. Составляющие компоненты смеси (блок 1) классифицируются согласно схемам представленных на рисунках 2 и 3 и зависят от их количества. Для технологии обогащения сырьевых смесей важным моментом является классификация и определение их основных свойств 2 и параметров 3, так как они не обладают стабильностью. Поэтому имитационное моделирование является современным методом научного обеспечения исследований и прогнозирования последствий принимаемых решений, а также используется для совершенствования методов расчета основных показателей с учетом случайных факторов. Вектором параметров на входе системы могут являться количество сырьевой смеси,

поступившей на усреднительный склад за моделируемый период ( $\gamma$ ); содержание компонентов в смеси и их свойства ( $\alpha_i, \beta_i, \lambda_i$ ), где  $i$  изменяется от 1 до  $N$ ;  $N$  – количество компонентов;  $\sigma_{oi}$  – среднее квадратичное отклонение общего содержания компонентов на входе усреднительного склада. Вектором технологических параметров усреднительной системы 4, например, для слоевого штабеля могут быть:  $n$  – количество слоев компонентов в штабеле,  $V$  – объем смеси для конвейерного способа;  $k$  – количество компонентов для образования сырьевой смеси,  $v$  – скорость подачи компонентов из бункера на ленточный конвейер.



*1 – составляющие компоненты; 2 – обработка исходных данных;  
3 – входные параметры ( $\gamma, \alpha, \beta, \lambda$ ); 4 – усреднительная система; 5 – вектор выходных параметров; 6 – определение конечного результата; 7 – эффективность обогащения (усреднения); 8 – результат моделирования вычисленных параметров;  
9 – технологические параметры ( $L, v, h, n, V, k, v$ )*

**Рисунок 4. – Структура программного модуля усреднительного склада**

Вектором параметров на выходе 5 разработанной системы усреднительного склада может быть общее содержание всех составляющих смеси, отгружаемой со склада за моделируемый период ( $\gamma_i, \alpha_i, \beta_i, \lambda_i$ ). Эффективность обогащения может определяться критерием оптимальности качества смеси  $\sigma^2 \rightarrow \min$  в блоке 7 по влажности и зольности, по результатам вычисленных параметров 8, сравнивая результаты с 6, устанавливаются оптимальные технологические параметры 9 установки по обогащению сырьевых смесей.

**В третьей главе** представлены результаты теоретического исследования процесса затвердевания сырьевой смеси при агломерации, где важным фактором является тепловой режим обработки сырьевой смеси и процесс затвердевания при обжиге, режим обработки сырьевых смесей, где тратится до 80% всей энергии. Математическая модель процессов охлаждения с движущейся лентой в общем случае должна содержать сопряженные системы уравнений, описывающие различные физические процессы: затвердевание шихты; оплавление поверхности; перераспределение примесей, газов и др. В последнее время наблюдается тенденция изучения динамики затвердевания с помощью численных методов решения краевых задач для уравнения теплопроводности.

Поэтому здесь рассмотрены вопросы использования МВТ и ВТЭР с низкой теплотворной способностью в производстве аглопорита, где требуется разработка новых способов по обогащению и определению оптимальных сырьевых составов с целью более эффективного их сжигания в слое шихты. В процессе охлаждения сырьевой смеси после расплава и сгорания составляющих необходимо знать, как перемещается в расплаве фронт затвердевания, как распределяются температуры  $T$  в сечении твердой корки и знать время  $\tau$  окончания затвердевания.

Распределение температур в сечении твердой корки шихты определяется из решения краевой задачи

$$\frac{\partial^2 T}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial T}{\partial r} + \frac{1}{r^2} \frac{\partial^2 T}{\partial \varphi^2} = 0, \quad (8)$$

$$T|_{r=r_\tau} = T_\tau, \quad T|_{r=l} = T_\Pi. \quad (9)$$

Решение задачи получено в виде

$$T(r, \tau) = T_\tau + \frac{T_\tau - T_\Pi}{\ln \frac{r_\tau}{l}} \cdot \ln \frac{r}{r_\tau}. \quad (10)$$

С использованием уравнения теплового баланса вычислен расход теплоты с охлаждаемого участка в момент окончания затвердевания

$$\int_0^l \left( \lambda \frac{\partial T}{\partial n} \right)_{r=0} dl = \rho (L + c(T_\tau - \bar{T})) \frac{dS}{dt}, \quad (r_\tau = 0) \text{ и распределение температуры}$$

в любой точке тела в любой момент времени.

На основании анализа результатов математического моделирования вычислена оптимальная скорость движения паллет в агломерационной машине для полного затвердевания шихты, которая входит в рамки технологически заложенных скоростей движения от 0,41 до 1,25 м/мин. По полученным данным наибольший эффект в повышении газодинамических свойств спекаемого слоя за счёт сегрегации при загрузке достигается в том случае, когда в каждом элементарном слое по высоте соотношение крупных фракций торфа и фракций, которые свободно укладываются в пустоты между гранулами одного размера, будет меньше величины, обеспечивающей минимальную порозность. Для подавляющего большинства шихт соотношение крупных и мелких фракций в каждом элементарном слое должно быть 4:1. Рациональная загрузка шихты на паллеты агломерационной машины по данной методике позволили интенсифицировать процесс спекания, улучшить качество аглопорита. Данные исследования позволили получить оптимальные параметры подготовки шихты ( $v=1,12$  м/мин), уменьшить

до 10% содержание слаборазложившихся зерен в щебне, а также уменьшить до 15% потери сырьевой массы при прокаливании.

**В четвертой главе** даны результаты исследования применения МВТ и ВТЭР в технологии производства аглопорита и разработана инновационная технологическая схема использования МВТ и ВТЭР в производстве аглопорита.

На основании проведенных на МЗСМ исследований получена зависимость, определяющая соотношение для прочности и насыпной плотности аглопорита от размера его фракций (10–20 мм), при вводе в состав сырьевой смеси фрезерного торфа до 3% (остальное суглинки месторождение «Фанипольское» – 89% и уголь марки АШ – 8%)

$$\sigma(\phi) = 2,42 - 0,17\phi + 0,053\phi^2, \quad (11)$$

$$\rho(\phi) = 1,19 - 76,11\phi + 2,88\phi^2 - 0,04\phi^3. \quad (12)$$

Обработкой экспериментальных данных получена математическая зависимость, характеризующая связь прочности аглопоритового щебня от его плотности

$$\sigma = 3,79 \ln(\rho) - 22,58. \quad (13)$$

По результатам испытаний песка и щебня аглопоритовых с добавлением фрезерного торфа получен следующий зерновой состав: более 20 мм – 5,65%, от 5 до 20 мм – 50,75%, от 0,63 до 2,5 мм – 26,96%, менее 0,63 мм – 6,64 %.

При испытании состава шихты, в которую входили глина – 86%, опилки – 4%, уголь – 6–8% и отходы торфобрикетного производства (лом брикетов) – до 3% получена зависимость плотности аглопорита от его фракционного состава с размером фракции от 5 до 30 мм

$$\rho = 859,74 \phi^{-0,15}. \quad (14)$$

При определении коэффициентов теплопроводности ( $\lambda$ ) необходимо учитывать перераспределение влаги в образцах аглопорита во время опыта под воздействием градиента температур, которые должны быть минимальными. Для различных фракций аглопорита получена зависимость

$$\lambda = -0,014 \ln(\phi) + 0,18. \quad (15)$$

Методом математического планирования для серии опытов по определению прочности аглопоритового щебня ( $\sigma$ ) получена адекватная многофакторная зависимость

$$\sigma = 1,79 - 1,29x_1 + 1,23x_2 + 0,3x_3, \quad (16)$$

где  $x_1, x_2, x_3$  – математические значение факторов, которые определили сырьевую смесь, соответственно: суглинки, уголь АШ и торфяной измельченный брикет (фракционный состав до 5мм). В данной модели параметром оптимизации является прочность аглопоритового щебня. Уровни факторов и интервалы их варьирования определялись по методике ортогонального композиционного планирования и составляют соответственно для суглинков 87–89%, для измельченных торфяных брикетов 2–3%, для угля 7–8% согласно таблице 1, где  $X_1, X_2$  и  $X_3$  – физические значения факторов, а  $x_1, x_2, x_3$  – математические значения факторов;

Таблица 1. – Уровни факторов и интервалы их варьирования

№	Факторы	Суглинки		Торфяная крошка		Уголь	
		$X_1, \%$	$x_1$	$X_2, \%$	$x_2$	$X_3, \%$	$x_3$
1	Основной уровень $X=0$	88	0	2,5	0	7,5	0
2	Интервал варьирования	1		0,5		0,5	
3	Верхний уровень $X=+1$	89	+1	3	+1	8	+1
4	Нижний уровень $X=-1$	87	-1	2	-1	7	-1

Полученные аглопоритовый щебень и песок с применением фрезерного торфа и измельченных торфяных брикетов по показателям прочности и плотности соответствуют требованиям стандарта, согласно которому по показателям насыпной плотности аглопоритовый 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. Полученный аглопоритовый щебень и песок по всем качественным показателям соответствуют стандартным показателям продукции.

На рисунке 5 представлена технологическая инновационная схема получения аглопорита. Основные энергоемкие операции в технологической инновационной схеме получения аглопорита – дробление, обжиг и грохочение, прошли экспериментальную и промышленную проверку на МЗСМ.

В данной технологической схеме по результатам исследований могут применяться МВТ на основе фрезерного торфа и измельченных торфяных брикетов, ВТЭР на основе древесных опилок, лигнина, а также агломерационная пыль и недожиг после обжига сырьевой смеси.

По сравнению с импортными добавками это позволит уменьшить затраты на производство единицы выпускаемой продукции и ее себестоимость. В качестве добавок можно также использовать отходы торфяных брикетов, которые по энергетическим свойствам могут конкурировать с закупаемыми дорогостоящими добавками (уголь, антрацит).

Результаты проведенных опытов и расчеты источников пылевыведения показало, что количество пыли при производстве аглопорита поступающее в атмосферу составляет более 30 кг/ч. Отходы производства при производстве аглопорита можно использовать по предлагаемой схеме в основном производстве аглопорита, как дополнительные компоненты сырьевой смеси.





4. Получена адекватная математическая модель процессов рациональной загрузки шихты, ее обжига и охлаждения в агломерационной машине с движущейся лентой, *позволяющая* определить оптимальную скорость движения паллет ( $v=1,12$  м/мин) и интенсифицировать на 5-8 % процесс спекания шихты с учетом МВТ и ВТЭР [4, 6, 8, 9, 15].

5. Получены математические зависимости прочности и плотности аглопоритового щебня от фракционного состава, а также прочности аглопорита от его плотности с различными видами выгорающих добавок (торф, измельченные брикеты, лом брикетов и древесные опилки), *позволяющие установить* основные физико-механические свойства аглопорита, соответствующие нормативным показателям ( $\sigma = 1,5-2,5$  МПа,  $\rho = 575-800$  кг/м<sup>3</sup>) с использованием в смеси фрезерного торфа и древесных опилок [6, 8, 9].

6. Методом математического планирования на основе компьютерных методов обработки получена адекватная многофакторная зависимость для изготовления аглопоритового щебня, *позволяющая* оценить влияние композиции сырьевой смеси на его прочность и *устанавливающая* оптимальные параметры по содержанию угля (7-8%), суглинков (87-89%) и торфяной крошки (2-3%) [1, 3].

#### **Рекомендации по практическому использованию результатов**

1. Результаты диссертационной работы могут использоваться в топливной и строительной промышленности, для решения актуальной задачи разработки импортозамещающей, энергосберегающей и экологобезопасной технологии получения аглопорита и других пористых строительных материалов с использованием местных видов топлив, ВТЭР и отходов промышленности (вскрышные породы, недожог сырьевой смеси, агломерационная пыль и др.) [3, 10, 12, 17, 18, 20, 22, 25].

2. Результаты проведенных исследований позволили *внедрить* разработанные составы сырьевых смесей в производство аглопоритового щебня в 2012 году на МЗСМ с экономическим эффектом более 110 млн. бел. рублей. Возможна дальнейшая оптимизация технологического процесса, используя предложенную инновационную схему получения аглопорита по конвейерному способу [3, 23, 24, 26].

3. Рекомендуется использование в технологии получения аглопорита фрезерного торфа верхового и низинного типов фракционного состава до 5 мм. Представляет также практический интерес использование в технологии увеличение крупности частиц (фракционного состава) отходов торфобрикетного производства в виде лома брикетов до 10 мм с целью повышения его массы, плотности и теплотворной способности, что вызовет повышение температуры в спекаемом слое, изменение режимов полукоксования торфа и параметров процесса обжига сырьевой смеси [3, 11, 12, 18, 21].

4. Результаты исследований могут использоваться в учебном процессе при чтении специальных курсов студентам факультетов горного дела и инженерной экологии. Результаты диссертационной работы используются в учебном процессе для студентов специальности 1-36 10 01 «Горные машины и оборудование» БНТУ [1, 2, 14].

## СПИСОК ПУБЛИКАЦИЙ СОИСКАТЕЛЯ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

### Монографии

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. Березовский, Н.И. Разработка инновационных технологий / Н.И. Березовский, С.Н. Березовский, Б.В. Лесун. – Минск: БИП, 2013. – 84 с.
3. Применение МВТ и ВТЭР в производстве пористых строительных материалов / Н.И. Березовский, Н.П. Воронова, С.М. Грибкова, Б.В. Лесун. – Минск: БНТУ, 2014. – 120 с.

### Статьи в рецензируемых журналах, входящих в перечень ВАК

4. Некоторые вопросы утилизации сырья при обогащении на горноперерабатывающих предприятиях Беларуси / Н.И. Березовский, Н.П. Воронова, С.М. Грибкова, Б.В. Лесун // Горная механика и машиностроение. – 2013. – № 3. – С. 25–32.
5. Лесун, Б.В. Рациональное использование местных минеральных ресурсов / Б.В. Лесун // Горная механика и машиностроение. – 2014. – № 3. – С. 47–55.
6. Воронова, Н.П. Комплексное использование местных видов топлива в производстве пористых строительных материалов / Н.П. Воронова, Б.В. Лесун // Энергетика - известия высших учебных заведений и энергетических объединений СНГ. – 2014. – № 4. – С. 83–94.
7. Разработка импортозамещающих технологий при производстве строительных материалов / Н.И. Березовский, Н.П. Воронова, С.М. Грибкова, Б.В. Лесун // Наука и техника. – 2014. – № 5. – С. 30–34.
8. Лесун, Б.В. Разработка процесса агломерации сырьевой смеси при использовании фрезерного торфа и торфяных брикетов / Б.В. Лесун // Природопользование. – 2014. – № 26. – С. 209–214.
9. Лесун, Б.В. Физико-математическая модель процесса агломерации сырьевой смеси при использовании фрезерного торфа и торфяных брикетов / Б.В. Лесун // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2014. – № 6/8 (72). – С. 29–34.
10. Березовский, С.Н. Оценка гранулометрического состава гравийно-песчаных месторождений Республики Беларусь и исследования теоретического распределения высоты уступов / С.Н. Березовский, Б.В. Лесун // Горная механика и машиностроение. – 2014. – № 3. – С. 56–66.

### Материалы международных научно-технических конференций

11. К вопросу использования местных видов топлива в производстве пористых строительных материалов / Н.И. Березовский, Н.П. Воронова, Е.К. Костюкевич, С.М. Грибкова, Б.В. Лесун // Социально-экономические и экологические проблемы горной промышленности, строительства и энергетики: сборник научных трудов 9-й Международной конференции по проблемам горной промышленности, строительства и энергетики: в 3 т. – Минск-Тула-Донецк, 2013. – Т. 2. – С.366–372.

12. Возможность расширения интервала пригодности минерального сырья / Н.И. Березовский, Н.П. Воронова, Е.К. Костюкевич, С.М. Грибкова, Б.В. Лесун // Социально-экономические и экологические проблемы горной промышленности, строительства и энергетики: сборник научных трудов 9-й Международной конференции по проблемам горной промышленности, строительства и энергетики: в 3 т. – Минск-Тула-Донецк, 2013. – Т. 2. – С.372–379.

#### **Тезисы докладов международных научно-технических конференций**

13. Утилизация отходов производства / Н.И. Березовский, С.М. Грибкова, Б.В. Лесун, С.В. Попко // Наука – образованию, производству, экономике: материалы 9-й Международной научно-технической конференции, Минск, 14-18 марта 2011г.: в 4 т., / М-во образования Респ. Беларусь, БНТУ; отв. за вып. Л.Э. Ляшенко. – Минск, 2011. – Т. 1. – С. 372.

14. Лесун, Б.В. Программные средства инновационного метода обучения / Б.В. Лесун // Инновационные технологии в инженерном образовании: материалы международной научно-практической конференции, Минск, 27–28 апреля 2011 г. / БНТУ, под общ. ред. В. Л. Соломахо. – Минск, 2011 – С. 102–105

15. Влияние свойств сырья на энергозатраты при обогащении // Н.И. Березовский, Б.В. Лесун, В.Н. Нагорнов, Е.С. Драгун / Материалы IX Международной научно-технической конференции, Минск, 2012 г.: в 2 т. / БНТУ. – Минск, 2012. – Т. 1 – С. 416.

16. Организация усреднительных складов / Н.И. Березовский, Б.В. Лесун, С.Н. Березовский, Е.С. Драгун // Материалы IX Международной научно-технической конференции, Минск, 2012 г.: в 2 т. / БНТУ. – Минск, 2012. – Т. 1 – С.417.

17. К вопросу использования местных видов топлива при получении керамического кирпича / Н.И. Березовский, Е.С. Драгун, Б.В. Лесун, В.А. Юрьев, С.М. Грибкова // Наука – образованию, производству, экономике: материалы XI Международной научно-технической конференции, Минск, 2013 г.: в 2 т. / БНТУ: под общ. ред. И.А. Басалай. – Минск, 2013. – Т. 1 – С. 175.

18. Лесун, Б.В. Утилизация отходов производства / Б.В. Лесун, И.М. Ковалева, И.Г. Костюкевич // Социально-экономические и экологические проблемы горной промышленности, строительства и энергетики : сборник научных трудов молодых ученых и студентов 9-й Международной конференции, Минск, 29-31 октября 2013 г. / БНТУ: под общ. ред. И.А. Басалай. – Минск, 2013. – С. 93–94.

19. Влияние добавок местных видов топлива на качество аглопорита / Н.И. Березовский, Е.С. Драгун, Б.В. Лесун, С.М. Грибкова, В.А. Юрьев // Наука – образованию, производству, экономике: материалы XI Международной научно-технической конференции, Минск, 2013 г.: в 2 т. / БНТУ: под общ. ред. И.А. Басалай. – Минск, 2013. – Т. 1 – С.89.

20. Лесун, Б.В. К вопросу использования местных видов топлива в коммунально-бытовых целях / Б.В. Лесун, С.М. Грибкова, Е.С. Драгун // Социально-экономические и экологические проблемы горной промышленности, строительства и энергетики : сборник научных трудов молодых ученых и студентов 9-й Международной конференции, Минск, 29–31 октября 2013 г. / БНТУ: под общ. ред. И. А. Басалай. – Минск, 2013. – С. 74 - 75.

21. Использование местных видов топлива и вторичных энергоресурсов в производстве пористых строительных материалов / Н.И. Березовский, Н.П. Воронова, С.М. Грибкова, Б.В. Лесун // Наука – образованию, производству, экономике: материалы 12-ой Международной конференции, Минск, 23 января 2014 г.: в 4 т. / БНТУ. – Минск, 2014. – Т. 3. – С. 424.

22. К вопросу развития потенциала минерально-сырьевой базы / Б.В. Лесун, Е.К. Костюкевич, В.А. Береснев, И.Г. Костюкевич // Наука – образованию, производству, экономике: материалы 12-ой Международной конференции, Минск, 23 января 2014 г.: в 4 т. / БНТУ. – Минск, 2014. – Т. 3. – С. 426.

### **Патенты**

23. Шнек: пат. 8224 U Республики Беларусь, В 65G 33/26 / Н.И. Березовский, Н.П. Воронова, Е.К. Костюкевич, Ю.А. Щепочкина, Б.В. Лесун, С.М. Грибкова, Е.С. Драгун, С.Н. Березовский; заявитель БНТУ – № u 20110896; заявл. 10.11.2011; опубл. 30.04.2012 // Афіцыйны бюл. / Нац. цэнтр інтэлектуал. уласнасці. – 2012. – № 2. – С. 226.

24. Сырьевая смесь для получения аглопорита: пат. 17707 С2 Республики Беларусь, С 04В 14/12 / Н.И. Березовский, Н.П. Воронова, Е.К. Костюкевич, А.А. Крутых, Б.В. Лесун, С.М. Грибкова, Е.С. Драгун, С.Н. Березовский; заявитель БНТУ – № а 20111621; заявл. 30.11.2011; опубл. 30.12.2013 // Афіцыйны бюл. / Нац. цэнтр інтэлектуал. уласнасці. – 2013. – № 6. – С. 94.

25. Сырьевая смесь для изготовления керамического кирпича: пат. 18373 С1 Республики Беларусь, С 04В 33/132, С 04В 33/16 / Н.И. Березовский, Н.П. Воронова, Е.К. Костюкевич, А.А. Крутых, Б.В. Лесун, С.М. Грибкова, Е.С. Драгун; заявитель БНТУ – № а 20121551; заявл. 12.11.2012; опубл. 30.06.2014 // Афіцыйны бюл. / Нац. цэнтр інтэлектуал. уласнасці. – 2014. – № 3. – С. 88.

26. Осветительное устройство со шелевым зеркальным световодом: патент 19106 С2 Республики Беларусь, F 21V 8/00 / Н.И. Березовский, Н.П. Воронова, Ю.А. Щепочкина, Е.К. Костюкевич, Б.В. Лесун; заявитель БНТУ – № а 20120809; заявл. 23.05.2012; опубл. 30.04.2015 // Афіцыйны бюл. / Нац. цэнтр інтэлектуал. уласнасці. – 2015. – № 2. – С. 77.

## РЭЗЮМЕ

Лесун Барыс Уладзіміравіч

**АПТЫМІЗАЦЫЯ ПАРАМЕТРАЎ СЫРАВІННЫХ СУМЕСЕЙ  
ПРЫ УЗБАГАЧЭННІ МЯСЦОВЫХ ВІДАЎ ПАЛІВА  
З ВЫКАРЫСТАННЕМ ДРУГАСНЫХ ЭНЕРГАРЭСУРСАЎ**

**Ключавыя словы:** мясцовыя віды паліва, другасныя энергарэсурсы, матэматычная мадэль, імітацыйнае мадэляванне, аглапарыт, торф.

**Мэта працы:** распрацоўка методыкі і аптымізацыя тэхналагічных параметраў і складаў сыравінных сумесяў на аснове прымянення узбагачаных мясцовых відаў паліва і з ужываннем другасных энергарэсурсаў.

**Метады даследавання і выкарыстаная апаратура.** Выкарыставаны метады эксперыментальныя, фізічныя, камп'ютарныя, матэматычнай статыстыкі, лікавай апрацоўкі, эканамічныя, разлікова-тэрэтычныя метады, матэматычнае мадэляванне і метады планавання эксперыменту. Выкарыстана спецыялізаваная кантрольна-вымяральная апаратура.

**Атрыманья вынікі і іх навізна.**

Матэматычнае мадэляванне аптымізацыі працэсу атрымання аглапарытавага друзу для усрадняльнага склада, выкарыстоўваючы крытэрыі аптымальнасці якасці сумесі.

Матэматычныя залежнасці насыпной шчыльнасці і трываласці аглапарыту ад памеру яго фракцый і складу сыравіннай сумесі.

Матэматычныя залежнасці паміж трываласцю аглапарыту і складам яго шыхты і трываласці аглапарыту ад яго шчыльнасці з рознымі відамі выгараючых дадаткаў (пры розным змесце торфу, вугалю, драблёных брыкетаў і драўлянага пілавіння).

Рацыянальная тэхналогія цеплавой працы працяглага механізму агламерацыйнай машыны з разлікам яго даўжыні пры зададзеных хуткасцях руху палет.

**Ступень выкарыстання:** у 2011–2014 гадах на падставе лабараторных даследаванняў, праведзены вытворчыя выпрабаванні на ААТ «Мінскай завод будаўнічых матэрыялаў» з выкарыстаннем фрэзернага торфу, раскрыўных парод, драўлянага пілавіння для атрымання аглапарыту. Атрыманая таварная прадукцыя па якасці (трываласць, шчыльнасць і інш) адпавядае рэспубліканскім стандартам. Атрыманы эканамічны эффект у памеры больш за 110 млн бел. руб. у 2012 годзе.

**Галіна выкарыстання.** Вынікі дысэртацыйнай працы могуць выкарыстоўвацца ў будаўніцтве і паліўнай прамысловасці. У выніку вырашаецца актуальная задача распрацоўкі энергазберагальнай і экалагічнай тэхналогіі атрымання аглапарыту з выкарыстаннем мясцовых відаў паліваў, другасных энергарэсурсаў і адходаў прамысловасці (раскрыўных парод, недапал сыравіннай сумесі).

**РЕЗЮМЕ****Лесун Борис Владимирович****ОПТИМИЗАЦИЯ ПАРАМЕТРОВ СЫРЬЕВЫХ СМЕСЕЙ  
ПРИ ОБОГАЩЕНИИ МЕСТНЫХ ВИДОВ ТОПЛИВА  
С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ВТОРИЧНЫХ ЭНЕРГОРЕСУРСОВ**

**Ключевые слова:** местные виды топлива, вторичные энергоресурсы, математическая модель, имитационное моделирование, аглопорит, торф.

**Цель работы:** разработка методики и оптимизация технологических параметров и составов сырьевых смесей на основе применения обогащенных местных видов топлива и с применением вторичных энергоресурсов.

**Методы исследования и использованная аппаратура.** Использовались методы экспериментальные, физические, компьютерные, математической статистики, экономические, расчетно-теоретические, математического моделирования, численной обработки и методы планирования эксперимента. Использована специализированная контрольно-измерительная аппаратура.

**Полученные результаты и их новизна:**

Математическое моделирование и оптимизация процесса получения аглопоритового щебня для усреднительного склада, используя критерий оптимальности качества смеси.

Математические зависимости насыпной плотности и прочности аглопорита от размера его фракций и состава сырьевой смеси.

Математические зависимости между прочностью аглопорита и составом его шихты и прочностью аглопорита от его плотности с различными видами выгорающих добавок (при различном содержании торфа, угля, дробленых брикетов и древесных опилок).

Разработана рациональная технология тепловой работы протяжного механизма агломерационной машины с расчетом его длины при заданных скоростях движения паллет.

**Степень использования:** в 2011–2014 годах на основании лабораторных опытов, проведены производственные испытания на ОАО «Минской завод строительных материалов» с использованием фрезерного торфа, вскрышных пород, древесных опилок для получения аглопорита. Полученная товарная продукция по качеству (прочность, плотность и др.) соответствует республиканским стандартам. Получен экономический эффект в размере более 110 млн бел. руб. в 2012 году.

**Область применения.** Результаты диссертационной работы могут использоваться в строительстве и топливной промышленности. В результате решается актуальная задача разработки энергосберегающей и экологически безопасной технологии получения аглопорита с использованием местных видов топлив, вторичных энергоресурсов и отходов промышленности (вскрышные породы, недожог сырьевой смеси).

## SUMMARY

Lesun Boris Vladimirovich

### OPTIMIZING THE PARAMETERS OF THE FEED MIXTURE WITH LOCAL FUEL ENRICHMENT AND WASTE ENERGY USING

**Keywords:** local fuels, waste energy, mathematical model, simulation, agloporit, peat.

**Objective:** development of methods and optimization of process parameters and compositions of the raw mixes on the basis of using enriched local fuels and waste energy using.

**Research methods and equipment used.** Were used experimental, physical, computer, mathematical statistics, numerical processing, economic, computational and theoretical methods, mathematical modeling and experimental design methods. Was used specialized test equipment.

**The results obtained and their novelty:**

Mathematical modeling to optimize the process of obtaining agloporit rubble for sorting yard using optimality criterion of quality mixture.

Mathematical relationships bulk density and strength of agloporite from the size of its fractions and composition of the raw mix.

The mathematical relationship between the strength and composition of its agloporite charge and strength agloporite on its density with different types of burnout agents (with different contents of peat, coal, crushed briquettes and wood chips).

A rational model of thermal technology broaching operation mechanism of sintering machine with the expectation of its length at a given speed of movement of pallets.

**Degree of utilization:** in 2011–2014 years on the basis of laboratory experiments, conducted production tests at JSC "Minsk factory of building materials" with the use of milled peat, overburden, sawdust for agloporite. Obtaining commodity products quality (strength, density, etc.) corresponds to Republican standards. Economic effect obtained was more than 110 million BYR in 2012.

**Scope.** The results of research can be used in fuel and construction industries. As a result of work was developing energy-saving and environment-friendly technology of agloporit using local fuels, waste energy and industrial wastes (waste rock, underburning raw mix).



Научное издание

ЛЕСУН Борис Владимирович

**ОПТИМИЗАЦИЯ ПАРАМЕТРОВ СЫРЬЕВЫХ СМЕСЕЙ  
ПРИ ОБОГАЩЕНИИ МЕСТНЫХ ВИДОВ ТОПЛИВА  
С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ВТОРИЧНЫХ ЭНЕРГОРЕСУРСОВ**

**Автореферат**

диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук  
по специальности 25.02.01 – Обогащение полезных ископаемых

Подписано в печать 18.05.2015. Формат 60x84 1/16. Бумага офсетная. Ризография.

Усл. печ. л. 1,34. Уч.-изд. л. 1,04. Тираж 70. Заказ 396.

Издатель и полиграфическое исполнение: Белорусский национальный технический университет.

Свидетельство о государственной регистрации издателя, изготовителя, распространителя  
печатных изданий № 1/173 от 12.02.2014. Пр. Независимости, 65. 220013, г. Минск.