

БЕЛОРУССКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

На правах рукописи
УДК 662.8.053.33

ПЕХОТА
Александр Николаевич

**ТВЕРДОЕ ТОПЛИВО НА ОСНОВЕ СМЕСИ
ДРЕВЕСНЫХ И ВЯЗКИХ НЕФТЕСОДЕРЖАЩИХ ОТХОДОВ
ДЛЯ ЛОКАЛЬНЫХ СИСТЕМ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ**

Диссертация на соискание ученой степени
кандидата технических наук
по специальности 05.14.04 – Промышленная теплоэнергетика

Научный руководитель
академик, д.т.н., проф.
Хрусталеv Б. М.

Минск 2017

ОГЛАВЛЕНИЕ

Перечень сокращений и условных обозначений	4
Введение	5
Общая характеристика работы	6
Структурно-логическая схема диссертационной работы	11
Глава 1	
Проблемы использования в энергетических целях нетрадиционных видов топлива из древесных и нефтесодержащих отходов	12
1.1 Структура образования и энергетический потенциал древесных и нефтесодержащих отходов	12
1.2 Утилизация и энергетическое использование древесных и нефтесодержащих отходов	19
1.3 Технологии и методы вторичной переработки древесных и нефтесодержащих отходов	24
1.4 Методы оценки эксплуатационных свойств твердых топлив	33
1.5 Алгоритм решения проблемы получения твердого топлива из нефтесодержащих отходов	36
Выводы и постановка задач исследования	37
Глава 2	
Экспериментальная установка. Проведение эксперимента и статистический анализ результатов	39
2.1 Планирование эксперимента	39
2.2 Разработка экспериментальной установки брикетирования топлива	45
2.3 Определение коэффициентов уравнения регрессии	50
2.4 Статистический анализ результатов эксперимента и проверка адекватности модели брикетирования реальному процессу	53
Выводы	60
Глава 3	
Математическое обоснование оптимизации распространения выбросов при сжигании брикетированного твердого топлива	61
3.1 Построение математической модели образования выбросов при сжигании двухкомпонентного твердого топлива	61
3.2 Расчет расхода выбросов оксидов азота, диоксидов серы (диоксида серы), монооксида углерода и твердых частиц при сжигании двухкомпонентного брикетированного топлива	62
3.3 Математическое моделирование распространения выбросов вредных веществ при сжигании двухкомпонентного брикетированного топлива	65
3.4 Термодинамический анализ твердого топлива	69
Выводы	73
Глава 4	
Технология производства двухкомпонентного твердого топлива для локальных систем теплоснабжения	74
4.1 Совершенствование технологической схемы производства твердого топлива на основе смеси древесных и вязких нефтесодержащих отходов	74

4.2 Устройство и принцип действия установки для производства твердого топлива на основе смеси древесных и вязких нефтесодержащих отходов	75
4.3 Разработка составов топлива и исследование их свойств	81
4.4 Разработка технологии хранения, транспортировки и использования твердого топлива	87
Выводы	92
Глава 5	
Расчет экономической эффективности производства твердого топлива на основе смеси древесных и вязких нефтесодержащих отходов	93
5.1 Расчет технико-экономических параметров производства твердого топлива на основе смеси древесных и вязких нефтесодержащих отходов	93
5.2 Расчет себестоимости производства топлива твердого при использовании нефтесодержащих отходов	96
5.3 Сравнение теплотехнических характеристик и удельной стоимости различных видов топлива	100
Выводы	104
Заключение	106
Основные научные результаты диссертации	106
Рекомендации по практическому использованию результатов	107
Библиографический список	108
Список использованных источников	108
Список публикаций соискателя	116
ПРИЛОЖЕНИЯ	119
Приложение А Копия патента № 18408 «Способ получения топлива твердого многокомпонентного»	119
Приложение Б Копия патента № 18130 «Состав для брикетирования топлива многокомпонентного»	126
Приложение В Копия патента № 18463 «Состав для брикетирования топлива многокомпонентного»	130
Приложение Г Копия технических условий ТУ ВУ 490319372.001-2005	134
Приложение Д Копия актов испытаний и оценки качественных показателей разработанного твердого топлива	149
Приложение Е Копия акта внедрения передвижной установки УПНДО-035 и свидетельства о регистрации установки в РНИУП «Бел НИЦ «Экология»	152
Приложение Ж Копия акта внедрения установок ПМТ-1 и электрогидравлической обработки нефтесодержащих отходов	154
Приложение З Копия отзыва производителя промышленных котлов СООО «КОМКОНТ» о допуске к сжиганию в котлах от 150-4500 кВт	156
Приложение И Копия отзыва Филиала «Гомельские тепловые сети» РУП «Гомельэнерго» о переработке донных отложений мазутных резервуаров	157

ПЕРЕЧЕНЬ СОКРАЩЕНИЙ И УСЛОВНЫХ ОБОЗНАЧЕНИЙ

- B – расход брикетированного топлива, кг/с;
 c_p – удельная массовая изобарная теплоемкость, кДж/(кг·К);
 C_m – максимальная приземная концентрация вредного вещества, мг/м³;
 C_u – предельно допустимая концентрация вредного вещества, мг/м³;
 e – удельная массовая эксергия, кДж/кг;
 F – площадь поверхности, м²;
 F_p – критерий Фишера;
 ξ – случайный фактор (ошибка);
 G – расход выбросов вредного вещества, г/с;
 k – количество факторов;
 m – масса, кг;
 ω – массовая доля, кг/кг;
 N – мощность, кВт;
 P – производительность шнекового пресса, кг/мин;
 p – давление, Па;
 q – максимальная безразмерная приземная концентрация вредного вещества;
 Q_H – низшая удельная теплота сгорания, МДж/кг;
 Q_B – высшая удельная теплота сгорания, МДж/кг;
 R – отношение объема использования отходов к объему их образования;
 T – абсолютная температура, К;
 t – температура, °С;
 W – влагосодержание материала, %;
 w – влажность, кг/кг;
 V – объем, м³;
 V_1 – расход газозвдушной смеси, м³/с;
 x – доля нефтесодержащего компонента в брикете;
 x_1 – доля древесного компонента в брикете;
 η_k – коэффициент полезного действия котла;
 ρ – плотность вещества, кг/м³;
 ВВП – валовой внутренний продукт;
 МВТ – местные виды топлива;
 ТЭК – топливно-энергетический комплекс;
 ТЭР – топливно-энергетические ресурсы;
 ПП – промышленные потребители;
 ПМТ-1 – пресс многокомпонентного топлива с производительностью производства топлива 1 т/ч;
 УПНДО-0,35 – установка по переработке нефтесодержащих и древесных отходов с производительностью топлива 350 кг/ч;
 УВС – углеводородсодержащие отходы;
 ТТ – твердое топливо.

Введение

Одна из основных задач устойчивого развития Республики Беларусь в области энергосбережения – снижение энергоемкости ВВП и увеличение доли местных и нетрадиционных видов топлива в общем балансе топливно-энергетических ресурсов. Анализ тенденций потребления ТЭР в разных государствах мира позволяет утверждать, что в перспективе ожидается повышение доли использования вторичных, местных сырьевых и нетрадиционных энергетических ресурсов для локальных систем теплоснабжения.

В нашей стране большое внимание уделяется развитию нефтедобывающей и нефтеперерабатывающей промышленности. Это требует содержания и эксплуатации складов хранения нефтепродуктов, резервуарных парков, что приводит к повсеместному образованию технологических нефтесодержащих отходов, вязкие фракции которых из-за отсутствия доступных технологий приходится в большинстве случаев складировать. Только за последние пять лет объем таких образований превысил 1170 тыс. т.

По мере роста лесозаготовок и расширения деревообработки образуются древесные отходы, утилизация которых достигается получением твердого топлива (пеллеты, брикеты и т. п.), причем традиционные технологии по разным причинам позволяют использовать их только на 40–50 %.

Существующие отечественные и зарубежные технологии для переработки нефтесодержащих и древесных отходов в топливо, как правило, требуют дополнительных операций подготовки сырья, а получаемые новые виды топлива необходимо сжигать с помощью специального энергетического оборудования, что в конечном итоге не всегда экономически выгодно, хотя только подтвержденный энергетический ресурс нефтесодержащих отходов, ежегодно накапливающихся в Республике Беларусь, составляет более 300 тыс. ГДж. При этом за счет переработки неиспользуемых древесных отходов можно дополнительно получать не менее 2 млн м³ древесного топлива.

Безусловный интерес представляет разработка технологии, обеспечивающей комплексное использование древесных и нефтесодержащих отходов в качестве топлива с приемлемым экологическим уровнем безопасности, применение которого позволит сэкономить первичные энергоресурсы, обеспечить топливом локальные системы теплоснабжения и удовлетворить внутренние потребности страны в местных видах топлива.

Именно поэтому для решения проблем использования нефтесодержащих отходов весьма актуальными являются разработка технологии и определение оптимальных составов, обеспечивающих получение брикетированного твердого топлива на основе древесных отходов с использованием в качестве связующего вязких нефтесодержащих отходов, что имеет научную новизну и практическое значение для увеличения доли местных видов топлива, создания стабильной сырьевой базы для локальных систем теплоснабжения.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Связь работы с крупными научными программами, проектами и темами

Тема диссертации соответствует целям и задачам ряда республиканских программ в области энергетики и энергосбережения: Государственной программы «Энергосбережение» на 2016–2020 гг., утвержденной постановлением Совета Министров Республики Беларусь № 248 от 28.03.2016, Концепции энергетической безопасности, утвержденной постановлением Совета Министров Республики Беларусь № 1084 от 23.12.2015, Указа Президента Республики Беларусь № 209 от 18.05.2015 «Об использовании возобновляемых источников энергии», Перечня проектных направлений фундаментальных, прикладных и научных исследований по разделу «Энергообеспечение, энергосбережение, энергоэффективные технологии», утвержденного постановлением Совета Министров Республики Беларусь № 585 от 19.04.2010, Республиканской программы энергосбережения на 2011–2015 гг., утвержденной постановлением Совета Министров Республики Беларусь № 1882 от 24.12.2010.

Цель и задачи исследования

Цель исследования – разработать технологию производства твердого топлива для локальных систем теплоснабжения на основе смеси древесных и вязких нефтесодержащих отходов и оборудование для его получения с последующим внедрением.

Цель исследования достигалась решением следующих задач:

– исследовать проблемы использования в энергетических целях нетрадиционных видов топлива из смеси древесных и нефтесодержащих отходов, провести анализ структуры образования в Республике Беларусь нефтесодержащих и древесных отходов, пригодных для производства твердого топлива, определить алгоритм решения и установить эффективные методы, технологии и средства их переработки;

– разработать для локальных систем теплоснабжения твердое топливо на основе смеси древесных и вязких нефтесодержащих отходов с оптимальным компонентным составом, допускающим его сжигание в котлоагрегатах со слоевыми топками;

– разработать опытно-промышленную и передвижную установки для производства твердого топлива на основе смеси древесных и вязких нефтесодержащих отходов и исследовать влияние долей компонентного состава топлива и влажности прессуемой смеси на производительность;

– разработать технологию получения твердого топлива и составы с оптимальными характеристиками, обеспечивающие его сжигание в котлах со слоевыми топками локальных систем теплоснабжения без дополнительного переоборудования;

– определить физико-химические и механические характеристики, тепло-творные свойства, влагопоглощение разработанного топлива, условия его хранения и транспортировки;

– провести экологическую оценку распространения выбросов вредных веществ при сжигании двухкомпонентного топлива методом математического моделирования;

– выполнить сравнительную оценку эффективности использования различных видов топлива на основе экономического расчета себестоимости твердого топлива по разработанной технологии.

Объект и предмет исследования

Объект исследования – смеси древесных (опилки деревообработки, измельченные лесосечные отходы) и вязких нефтесодержащих отходов (углеводородсодержащие нефтешламы, отработанные нефтепродукты).

Предметом исследования являются новый вид брикетированного твердого топлива для локальных систем теплоснабжения из смеси древесных и вязких нефтесодержащих отходов и технология получения (производства) брикетированного двухкомпонентного твердого топлива на их основе.

Научная новизна заключается:

– в разработке нового вида твердого топлива для локальных систем теплоснабжения на основе смеси нефтесодержащих отходов с теплотой сгорания не менее 18 МДж/кг при доле нефтешламов от 22 до 27 % в брикете, удовлетворяющего экологическим требованиям при сжигании в слоевых топках;

– в результате исследования процесса брикетирования смеси древесных отходов и нефтешламов, осуществленного с использованием теории планирования эксперимента, установлено, что при получении разработанного твердого топлива производительность шнекового пресса при формовании брикетов в диапазоне изменения влажности прессуемой смеси от 30 до 50 % достигает максимального значения при влажности формуемой смеси, равной $43,4 \pm 0,9$ %, в диапазоне изменения доли нефтешламов от 10 до 30 %;

– в определении технологических параметров производства двухкомпонентного твердого топлива с использованием выведенного уравнения регрессии в качестве целевой функции, позволяющей ограничивать приземную безразмерную концентрацию выбросов вредных веществ для двухкомпонентного брикетируемого твердого топлива на уровне от 0,9 до 1,0;

– в результате математического моделирования процесса распространения выбросов оксидов азота, диоксида серы, монооксида углерода и твердых частиц при сжигании разработанного двухкомпонентного твердого топлива для локальных систем теплоснабжения со слоевыми топками и нахождения аналитических зависимостей максимальной приземной безразмерной концентрации выбросов от доли нефтесодержащих компонентов в брикетах установлено, что

кривая зависимости для двухкомпонентного твердого топлива имеет минимум концентрации выбросов вредных веществ при доле нефтешламов, равной 0,13;

– в разработке, в отличие от существующих традиционных технологий брикетирования, принципиально новой технологии получения твердого топлива для локальных систем теплоснабжения, которая обеспечивает более высокую пожаробезопасность и экономичность за счет замены в технологической схеме брикетирования процесса сушки формуемой смеси на процесс сушки сформированных брикетов при температуре 60–110 °С;

– в определении оптимального состава твердого топлива для локальных систем теплоснабжения на основе смеси древесных и вязких нефтесодержащих отходов, при котором брикетирование осуществляется с влажностью смеси 42–45 % с последующей сушкой сформированных брикетов до влажности 10–20 %, в том числе в атмосферных условиях в теплый период года, что обеспечивает более высокую экономичность в отличие от традиционной технологической схемы брикетирования, требующей значительных энергетических затрат на предварительную подготовку сырья до необходимой влажности прессования 5–12 %.

Положения диссертационной работы, выносимые на защиту:

– совокупность теоретического и экспериментального исследований, позволяющих предложить метод выбора параметров технологии при производстве брикетов разработанного твердого топлива на основе решения задачи максимизации производительности шнекового пресса с использованием найденного уравнения регрессии в качестве целевой функции и зависимости максимальной безразмерной концентрации выбросов (в качестве ограничения по экологическим требованиям до уровня от 0,9 до 1,0) от доли нефтесодержащего компонента в брикетах;

– результаты основанного на теории планирования эксперимента исследования процесса брикетирования смеси древесных отходов и нефтешламов, позволившие установить, что при получении разработанного твердого топлива для локальных систем теплоснабжения производительность шнекового пресса при формовании брикетов достигает максимального значения при влажности формуемой смеси, равной $43,4 \pm 0,9$ %, в пределах изменения доли нефтешламов от 10 до 30 %; при этом в диапазоне влажности прессуемой смеси до 30 % и свыше 50 % получение качественного топлива не обеспечивается;

– анализ результатов математического моделирования процесса распространения выбросов оксидов азота, диоксида серы, монооксида углерода и твердых частиц при сжигании разработанного твердого топлива для локальных систем теплоснабжения со слоевыми топками котельной и нахождения аналитических зависимостей максимальной безразмерной концентрации q выбросов от доли x нефтесодержащей компоненты в брикетах, позволившие установить, что кривая зависимости $q(x)$ для двухкомпонентного твердого топлива имеет минимум при доле нефтешламов, равной 0,13;

– технология получения твердого топлива на основе смеси древесных и вязких нефтесодержащих отходов для локальных систем теплоснабжения, которая в отличие от существующих традиционных технологий брикетирования обеспечивает более высокую пожаробезопасность и экономичность за счет замены в технологической схеме брикетирования процесса сушки компонентов топлива сушкой уже сформированных брикетов при температуре 60–110 °С.

Личный вклад соискателя

В получении всех научных результатов, представленных в диссертации, соискатель ученой степени принимал участие, совместно с руководителем работы академиком НАН Беларуси, доктором техн. наук, профессором Б. М. Хрусталевым выбрано научное направление и определены задачи исследования, разработаны составы и способ получения твердого топлива для локальных систем теплоснабжения, проведен комплекс теоретических и экспериментальных исследований, внедрены результаты в производство.

Лично соискателем разработаны устройства реализации технологии получения брикетированного многокомпонентного твердого топлива на основе нефтедревесных отходов в виде опытно-промышленной установки по производству брикетированного твердого топлива на основе модернизированного пресса многокомпонентного топлива (ПМТ-1) и передвижной установки по переработке нефтесодержащих и древесных отходов (УПНДО-0,35), выполнено планирование эксперимента, проведены экспериментальные исследования как в лабораторных условиях, так и в условиях действующих промышленных предприятий, осуществлена обработка полученных опытно-промышленных и экспериментальных данных с использованием компьютерных программ, по результатам теоретических и экспериментальных исследований получены математические зависимости для расчетов оптимальных режимов и составов брикетированного твердого топлива, методика, позволяющая рассчитывать доли его компонентного состава, удовлетворяющего экологическим требованиям топливосжигающего оборудования со слоевыми топками локальных систем теплоснабжения. Разработаны технические условия ТУ ВУ 490319372.001–2005 с Извещением № 1 и 2 об изменении технических условий. Способ получения разработанного топлива и составы защищены патентами Национального центра интеллектуальной собственности Республики Беларусь (№ 18130,18408, 18463). Произведен технико-экономический расчет себестоимости производства разработанного брикетированного двухкомпонентного твердого топлива и периода возврата капитальных затрат для опытно-промышленной установки с использованием ПМТ-1 и УПНДО-0,35.

Исследования выбросов от сжигаемого полученного твердого топлива выполнялись совместно с канд. техн. наук Ю. А. Пшеничным. Определение концентрационной составляющей эксергии осуществлялось совместно с доктором техн. наук, профессором В. Н. Романюком, доработка и корректировка ТУ ВУ 490319372.001–2005 с Извещением № 1 – совместно с канд. техн. наук

В. Т. Полянковым. Результаты работы подтверждены патентами, справками и актами внедрения.

Апробация результатов диссертационной работы

Результаты работы доложены и обсуждены на следующих конференциях и семинарах:

Международной научно-практической конференции «Проблемы безопасности на транспорте» (секция «Энергетическая и экологическая безопасность транспорта») (Гомель, 2012);

11-й и 12-й международных научно-технических конференциях (Минск, 2013 и 2014);

IV Międzynarodowa Konferencja Naukowa “Społeczeństwo i gospodarka wobec wyzwań XXI wieku. Nauka na rzecz społeczeństwa i biznesu” (Польша, Белостокский государственный политехнический университет, 2014);

Международной научной конференции «Технология строительства и реконструкции» (Минск, 2015);

Международной научно-практической конференции «Инновационные решения проблем экономики знаний Беларуси и Казахстана» (Минск, БНТУ, 2016).

Опубликованность результатов диссертации

Основные положения диссертации опубликованы в 19 научных работах, в том числе в семи статьях в рецензируемых журналах, включенных в перечень ВАК Республики Беларусь, девяти материалах конференций и тезисах докладов, трех патентах Республики Беларусь на изобретения.

Структура и объем диссертации

Диссертационная работа состоит из введения, общей характеристики работы, пяти глав, заключения, списка использованных источников и приложений. Полный объем диссертации – 157 страницы, в том числе рисунков – 41, таблиц – 15, приложений – 9. Список используемых источников состоит из 106 наименований. Список публикаций автора – 20 наименований.

Структурно-логическая схема диссертационной работы



ГЛАВА 1

**ПРОБЛЕМЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ В ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ЦЕЛЯХ
НЕТРАДИЦИОННЫХ ВИДОВ ТОПЛИВА
ИЗ ДРЕВЕСНЫХ И НЕФТЕСОДЕРЖАЩИХ ОТХОДОВ****1.1 Структура образования и энергетический потенциал
древесных и нефтесодержащих отходов**

Учитывая невысокую обеспеченность Республики Беларусь собственными энергоресурсами, объем которых не превышает 16 % и в основном представлен древесиной, нефтью, торфом, углем различных видов и горючими сланцами, проблема обеспечения энергетической безопасности имеет первостепенное значение [1, 2, 3, 4, 5]. В соответствии с Директивой № 3 [3] и Указом Президента Республики Беларусь [6] приоритетным направлением внутренней и внешней политики страны является обеспечение ее энергетической безопасности и энергетической независимости.

Именно поэтому одним из направлений повышения экономической эффективности производства и энергетической безопасности является рациональное использование местных сырьевых, возобновляемых и вторичных ресурсов (отходов).

Общие запасы древесины (возобновляемый ресурс) в стране оцениваются в 1093,2 млн м³, торфа – в 5,65 млрд т, нефти – в 71,7 млн т, бурого угля – в 410 млн т, неогенового угля – в 152 млн т, горючих сланцев – в 1228,7 млн т (невозобновляемые ресурсы) [7, 8, 9, 10, 11, 12].

Определено, что для частичного замещения экспортируемых энергоресурсов целесообразно использовать местные виды топлива из возобновляемых и вторичных энергетических ресурсов [13], [14], [15], [103].

Структура потребления котельно-печного топлива в Республике Беларусь в 2000 году и согласно планам на 2020-й представлена на рисунке 1.1 [9].

Технический прогресс и технологии в этой области совершенствуются и способствуют более широкому использованию таких видов топлива, как топливная щепа, древесные гранулы, брикеты, гидростабилизированное топливо, водомазутные эмульсии и т. п.

Образование углеводородсодержащих (нефтесодержащих) отходов происходит при добыче, переработке, производстве, хранении, транспортировке нефти и нефтепродуктов, а также в результате выполнения технологических операций при эксплуатации различных видов транспорта и промышленного оборудования.

Ежегодный объем образования углеводородсодержащих отходов в виде отходов отработанных минеральных масел и эмульсий, нефтесодержащих шламов в Республике Беларусь составляет более 30 тыс. т [16]. Большое количество отходов, в частности, накапливается в агропромышленном комплексе страны [17].



Рисунок 1.1. – Структура потребления котельно-печного топлива в Республике Беларусь в 2000 году и согласно планам на 2020-й

Динамику объемов образования и использования отходов химического производства и производств, связанных с ними, на территории Республики Беларусь в 2008–2013 годах иллюстрирует построенная на основании данных [18] диаграмма, приведенная на рисунке 1.2.

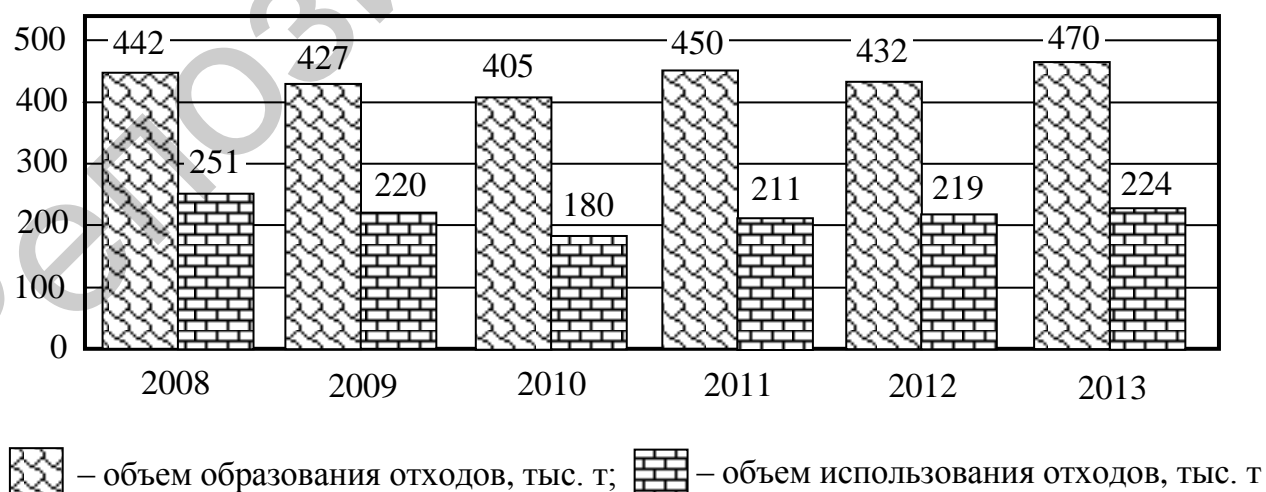


Рисунок 1.2. – Динамика объемов образования и использования отходов химического производства и производств, связанных с ними, на территории Беларуси с 2008 по 2013 год [20]

Анализ данных показывает, что ежегодный объем образования отходов химических производств и производств, связанных с ними, в период с 2008 по 2013 год колеблется в диапазоне от 405 до 470 тыс. т в год. Причем первые три года происходило снижение объемов образования отходов, а в последующие три года наблюдалась тенденция их роста. Объем использования отходов также снижался первые три года, затем увеличился и в течение последующих трех лет оставался приблизительно одинаковым. Данное обстоятельство подтверждает актуальность диссертационного исследования.

Интерполяции значений величины объемов отходов по данным, приведенным на рисунке 1.2, позволяет найти коэффициент использования отходов R , определяемый как отношение объема использования отходов к объему их образования. Значения коэффициента R , графики линейной и кубической регрессий, показаны на рисунке 1.3.

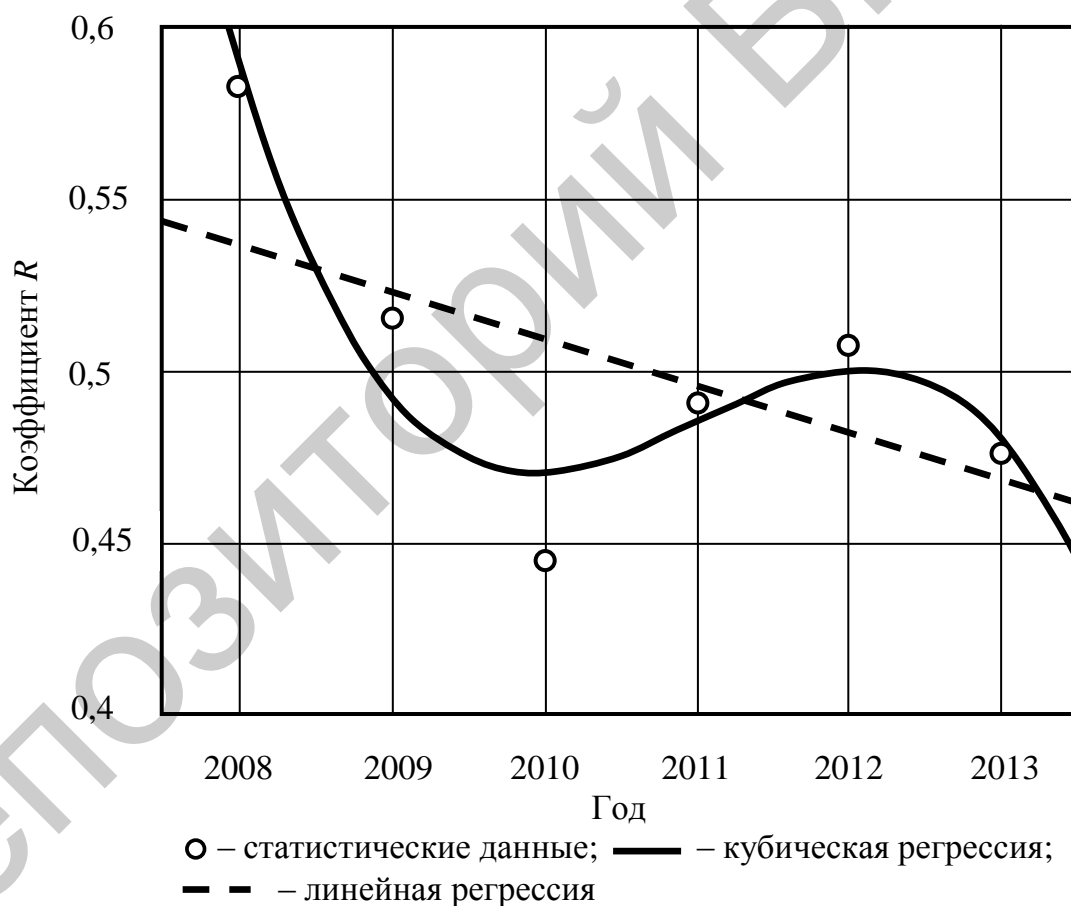


Рисунок 1.3. – Динамика использования отходов химического производства и производств, связанных с ними, к объему их образования на территории Беларуси с 2008 по 2013 год

По результатам исследования [16] разработан реестр организаций Республики Беларусь [19], в процессе производственной деятельности которых образуются углеводородсодержащие отходы, среди них выделяются предприятия Министерства транспорта, концерна «Белнефтехим», «Белэнерго» и т. д.

Кроме того, выполнен анализ технологий и оборудования по подготовке к использованию таких отходов в качестве топлив [20]. Осуществлена оценка антропогенного воздействия на окружающую среду процесса сжигания углеводородсодержащих отходов и сформулированы основные требования к их использованию в качестве топлива, обеспечивающие выполнение норм законодательства в области охраны окружающей среды.

Министерством природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Беларусь разработан технический кодекс установившейся практики [21], в котором определены правила использования углеводородсодержащих отходов, требования к проведению технологических работ, сбору, хранению, процессу сжигания и порядку ввода и эксплуатации установок по использованию таких отходов в качестве топлива, а также порядок разработки технических нормативных правовых актов и проведение производственного контроля. Указанный выше технический кодекс регламентирует требования по использованию углеводородсодержащих отходов в качестве топлива, а также в виде добавки (компонента) к основному топливу.

С учетом образующихся в Республике Беларусь видов углеводородсодержащих отходов на рисунке 1.4 представлена структура их образования с указанием их процентного соотношения.

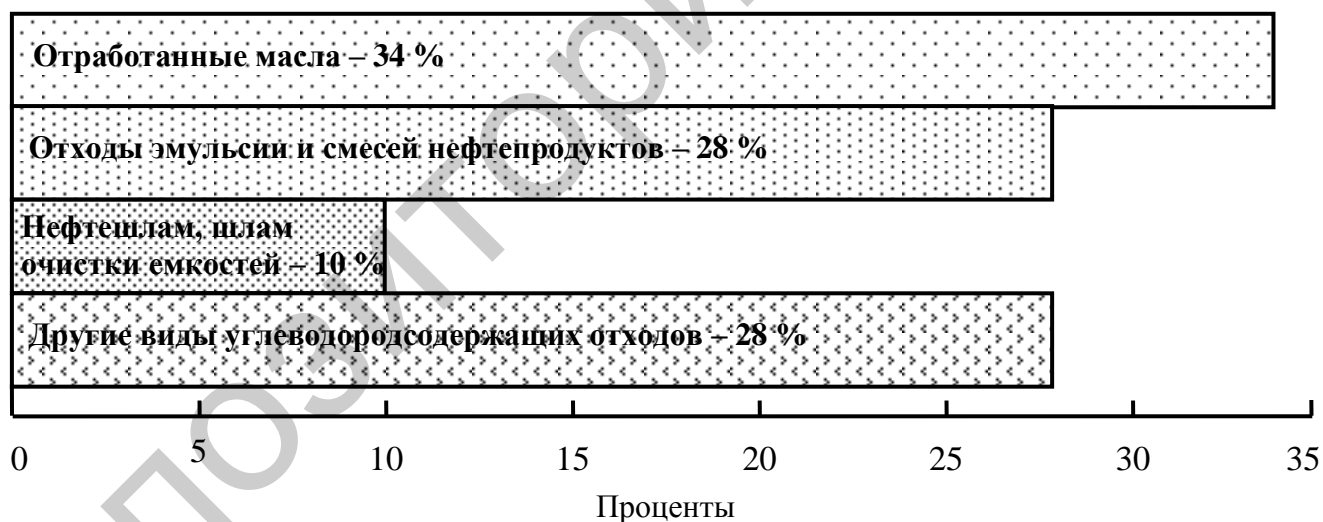


Рисунок 1.4. – Структура образования углеводородсодержащих отходов [16]

Практика показывает, что часть углеводородсодержащих отходов можно перерабатывать с минимальными затратами на их подготовку, а остальная часть отходов требует внедрения и использования различных, как правило, дорогих и малодоступных для предприятий технологий и оборудования, позволяющих применять эти отходы в качестве вторичного ресурса. Например, в Германии, Бельгии и Италии более 50 % (55, 50 и 55 % соответственно) отработанных масел от сбора поступает на установки регенерации с целью получения регенерированных базовых масел. В других странах ЕЭС отработанные масла нашли основное применение в качестве топлива для сжигания,

в Национальном институте сельскохозяйственной техники (NIAE, Великобритания) разработана новая технология переработки отработанного масла в топливо для дизельных двигателей. В России организован сбор около 48 % отработанных масел, из которых только 14–15 % идет на регенерацию, а остальные 26–33 % используются как топливо [16].

Основные виды углеводородсодержащих отходов, которые могут быть использованы в качестве топлива, представлены в таблице 1.1 [16].

Таблица 1.1. – Виды углеводородсодержащих отходов, которые могут быть использованы в качестве топлива

Наименование отходов	Объем образования отходов, тыс. т	Объем использования отходов, тыс. т	Уровень использования отходов, %
Отработанные масла	10,4	10,0	96,1
Отходы эмульсий и смесей нефтепродуктов	17,2	8,1	47,1
Шламы минеральных масел, остатки, содержащие нефтепродукты	10,8	2,6	24,1
Нефтешлам механической очистки сточных вод, шлам очистки емкостей	3,0	0,4	7,5
Кубовые остатки	25,9	1,6	6,2

Анализ представленных в таблице данных и диаграммы, представленной на рисунке 1.4, показывает, что уровень использования отработанных масел в Республике Беларусь довольно высок и достигает 96,1 %, но при этом такие масла составляют только 34 % от общего объема образования углеводородсодержащих отходов. В общем объеме нефтесодержащих отходов велика доля смесей отработанных нефтепродуктов и шламов минеральных масел, остатков, содержащих нефтепродукты, которые образуются при проведении регламентных технических работ по обслуживанию резервуаров, автоцистерн, трубопроводов, насосного оборудования и т. п. В связи с тем, что в соответствии с требованием ГОСТа [22] периодически не менее одного раза в два года необходимо проводить зачистку резервуаров хранения нефтепродуктов от технологических остатков и донных отложений, образование этого вида отходов происходит повсеместно. Например, постоянным источником образования отходов, служат мазутные резервуары, эксплуатируемые на ТЭЦ и районных котельных областных центров, а также на городских котельных и промышленных предприятиях.

Они предназначены для обеспечения запаса топливных ресурсов, необходимых для работы котлов в случае перебоев с поступлением основного топлива.

Углеродсодержащие отходы – это отходы продуктов переработки нефти [23], являющиеся физико-химическими смесями, насыщенными углеводородсодержащими соединениями, из которых состоят нефтепродукты, механических примесей и воды.

УВС отходы обладают значительным энергетическим потенциалом вследствие высокого содержания углерода (86–88 %) и водорода (10–14 %). Отходы данного вида представляют собой вещества или их смеси, образующиеся в результате производственной деятельности. Они охватывают преимущественно смеси отработанных нефтепродуктов, отработанные масла, нефтешламы, шлам очистки емкостей, отходы нефтеловушек очистных сооружений, использованные сорбирующие материалы, промасленную ветошь, опилки и др.

Обширный диапазон значений показателей химического состава и физических свойств нефтесодержащих (углеводородсодержащих) отходов, присутствие в них механических примесей, тяжелых металлов, серы, избыточное содержание воды требуют проведения детального анализа отходов и при необходимости подготовительных мероприятий для использования их в качестве топлива (обезвоживания, фильтрации, кавитационной обработки). Подтвержденный ресурс углеводородсодержащих отходов, требующих предварительной подготовки, в Республики Беларусь составляет около 20 тыс. т с энергетическим выходом более 300 тыс. ГДж [18].

В европейских странах и США для минимизации количества отработанных нефтепродуктов и нефтешламов применяют технологии, которые позволяют уменьшить их образование в основном за счет повторного использования. Вместе с тем находят применение высокотехнологичное оборудование и технологии переработки отходов, приводящие к их структурно-химическим изменениям с образованием различных продуктов, которые используются в том числе и для получения энергии [23, 24].

Древесные (углеводородкислородсодержащие) отходы относятся к побочным материальным ресурсам и по своим свойствам, химическому составу могут быть использованы в народном хозяйстве вместо первичного сырья в том числе в качестве топлива.

Теплофизические свойства древесины определяются теплотой сгорания, влажностью, химическим составом, количеством летучих веществ, твердого углерода, золы и т. д. Древесина в рабочей массе содержит до 50,0 % углерода, 6,1 % водорода и 42,3 % кислорода и небольшое количество, не превышающее 0,05 %, серы. Целесообразность использования древесины в качестве топлива определяется тем, что данный вид сырья является возобновляемым местным ресурсом [25].

Отходы деревообработки образуются в результате механической и химической переработки древесины. К первому виду относятся отходы лесозаготовительного производства, лесопиления при получении деловой древесины, мебельного и фанерного производств, производства шпал, деревянных конструкций и изделий, товаров народного потребления; ко второму – отходы гидролизного и целлюлозно-бумажного производств (гидролизный и щелочной лигнин, древесная смола и др.).

Наибольшую долю всех отходов, получаемых от заготовки и переработки древесины, составляют лесосечные отходы. В их состав входят сучья, тонкие вершины, пни, корни, древесная зелень. Объемы образования древесных отходов представлены в таблице 1.2.

Таблица 1.2. – Образование древесных отходов и их виды [27]

Древесные отходы, млн т					Всего
лесозаготовок	лесопиления и деревообработки	естественного отпада	коммунально-бытовые	при уходе за древесно-кустарниковой растительностью*	
1,00	2,00	4,00	0,20	0,25	7,45

* Растительность, которая не входит в лесной фонд.

Например, древесный отпад представляет собой сухие и усыхающие деревья в древостое. Ориентировочные объемы древесного отпада в лесах Беларуси колеблются в пределах 12–13 млн м³ в год. Имеющийся в лесах отпад по разным причинам можно использовать на 40–50 %. Следовательно, возможно вовлечь в хозяйственный оборот 5–7 млн м³ древесного отпада.

На предприятиях деревообрабатывающей промышленности ежегодно образуется значительное количество отходов. Часть из них возвращается в технологический процесс, часть используется в качестве топлива, небольшое количество, около 25 %, применяется в различных отраслях промышленности, остальные отходы поступают в места хранения, как правило, организованные на предприятиях. Также существует проблема с использованием опилок, имеющих повышенную влажность или пропитанных нефтепродуктами.

Необходимо учитывать и то, что на предприятиях деревообработки имеется огромное количество отходов опилок, находящихся в отвалах. Основной проблемой их дальнейшего использования являются деструктивные изменения, наличие повышенного содержания влаги, накопленной в результате их хранения на открытых площадках. Использование в технологических производственных процессах таких материалов крайне проблематично, в том числе это относится к сжиганию древесного топлива и древесных отходов, переувлажненных из-за неправильного хранения [26]. В существующих условиях снижается производительность котлов,

увеличиваются затраты на их обслуживание, возникает необходимость дополнительного использования при их сжигании природного газа или мазута.

Такое положение дел не единично, поскольку на промышленных предприятиях проводится переоборудование котельных установок с целью перевода их на альтернативные виды топлива, в качестве которого использовались отходы деревообработки, прежде всего опилки. Причем для обеспечения бесперебойной работы котельных установок складировались большие объемы опилок, условия хранения которых приводили к критическому увеличению их влажности. Это вызывает необходимость дополнительных затрат энергии на удаление влаги при сжигании опилок, что не позволяет добиваться планируемого экономического эффекта от перехода на работу с местными видами топлива.

Использование высоковлажных древесных отходов при производстве древесностружечных и древесноволокнистых плит затрудняют высокая стоимость затрат на сушку и преодоление деструктивных изменений, происходящих в древесных отходах. Длительное пребывание во влажном состоянии вызывает изменение цвета древесных отходов вследствие окисления, что также не позволяет использовать их в технологическом процессе производства продукции.

Одной из проблем комплексного использования древесины является организация эффективной переработки низкосортного сырья, имеющего повышенную влажность или содержащего нефтепродукты, а также древесных отходов, не находящихся по разным причинам (окисление, изменение внешнего вида, засорение примесями и т. п.) технологического применения.

1.2 Утилизация и энергетическое использование древесных и нефтесодержащих отходов

Проблему утилизации нефтесодержащих и древесных отходов посредством получения на их основе твердого топлива исследовали [27–50]: А. А. Абросимов [28], Е. И. Бахонина [29], В. М. Бельков [30], М. В. Гомонай [31], А. К. Карабанов, И. И. Лиштван, В. С. Зубрицкий, В. В. Ходин, Н. А. Кульбеда, Ю. П. Богдан и Е. С. Бернат [18], С. П. Кундас [32], С. П. Кундас, С. С. Позняк и Л. В. Шенец [33], В. Г. Лисиенко, Я. М. Щелоков и М. Г. Ладыгичев [34], Т. А. Литвинова [35], Н. А. Лысухо и Д. М. Ерошина [36], Т. И. Масловская [37], Р. З. Миннигалимов [38], Л. В. Мисун, Г. А. Рускевич и В. М. Раубо [39], Н. А. Модин и А. Н. Ерошкин [40], М. Б. Равич и А. М. Галева [41], В. М. Наумович, Б. Д. Перьмский [42], П. П. Пальгунов и М. В. Сумароков [43], Н. Ф. Тимербаев [44], Н. А. Филина и С. Я. Алибеков [45], М. Г. Ясовеев и И. В. Чернова [46], Abrishamian R., Kabrick R. и Swett G. [47, 48].

Исследования по утилизации и использованию нефтесодержащих и древесных отходов в большинстве своем проводятся с учетом потребности в экономии топливно-энергетических и сырьевых ресурсов крупных предприятий. Так, научно-исследовательское и проектно-производственное республиканское унитарное предприятие «Институт НИИСМ» ведет разработки в области получения альтернативных видов топлива из отходов переработки нефти, в частности нефтекокса, торфа (торфобрикета), отработанных автомобильных покрышек, а в перспективе – из твердых бытовых отходов, высокосернистых и местных бурых углей. Этим предприятием создана линия по сжиганию шин в цементной вращающейся печи мокрого способа в ОАО «Кричевцементношифер». В 2010 году в ОАО «Белорусский цементный завод» с его участием внедрена в эксплуатацию опытно-промышленная установка сжигания молотого торфобрикета в горелке декарбонизатора на печи, что позволило в процессе обработки технологии обжига клинкера обеспечить замещение природного газа молотым торфобрикетом в декарбонизаторе до уровня 60–80 % [49].

В 2012–2013 годах на данном предприятии проведены лабораторные исследования и промышленные испытания по использованию нефтекокса в качестве топлива с высокой калорийностью и малым выходом зольного остатка на печах мокрого и сухого способов производства цементного клинкера. Результаты этих исследований позволяют прогнозировать замещение традиционного топлива нефтекоksom в балансе топливопотребления цементных заводов на уровне 50 %.

РУП «Научно-практический центр НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства» совместно с ГНУ «Институт тепло- и массообмена НАН Беларуси» разработали технологию и оборудование для производства высокодисперсных топливных смесей на основе мазута с добавлением сивушных, рапсовых масел, отработанных масел и смазывающих охлаждающих жидкостей, торфяных и угольных отходов.

РУП «Научно-практический центр НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства» и РУП «БелНИИтоппроект» разработали и получили патенты (№ а 19990780, а 20031114, а 20010254) на гранулированное топливо и топливные брикеты из торфа и лигнина. Соответствующие разработки внедрены на производстве.

Тем не менее перечисленные исследования и внедрения не учитывают возможность и не решают проблему применения группы малоиспользуемых отходов, включающих смеси отработанных нефтепродуктов, донных отложений мазутных резервуаров, остатки от очистки емкостей и резервуаров для перевозок железнодорожным и автомобильным транспортом, шлам нефтеловушек, нефтешлам, использованные сорбирующие материалы, насыщенные нефтепродуктами ветошь и опилки. Поэтому исследования в данном направлении представляются весьма актуальными.

В Республике Беларусь и за рубежом применяется ряд технологий по утилизации, переработке и обезвреживанию нефтесодержащих и древесных отходов с целью получения на их основе различных видов топлива [21].

Находят распространение технология кавитационной обработки водотопливных эмульсий с образованием гидростабилизированного топлива [51, 50].

НТЦ «Экология производства» (г. Москва) разработала технологию обезвреживания отходов нефтепродуктов [51], позволяющую получать энергетическое дисперсное топливо и добавки к жидкому топливу с использованием процессов деэмульгации, гидродинамического разделения несмешивающихся жидкостей и гомогенизирования конечного продукта. Данная технология включает предварительное использование специальных деэмульгаторов типа «Нефтенол Д» в сочетании с прогревом до 40–50 °С. Ее недостатками являются жесткие требования к содержанию в перерабатываемых веществах различных включений, возможность деэмульгирования только жидких фракций отходов, при этом сжигание полученных смесей возможно только на специализированных установках, что существенно ограничивает их применение.

Применение химических методов утилизации в нашей стране и в России осуществляется с использованием промышленно-технологического комплекса по переработки нефтемаслоотходов «Крот-1» и «Истеб». Принцип работы обеих установок заключается в обработке в реакторе-смесителе нефтемаслоотходов или нефтешламов в среде специального препарата «Эконафт». Сущность применяемого химического способа обезвреживания нефтемаслоотходов заключается в том, что последние обрабатываются негашеной известью с добавкой модификатора путем перемешивания. Основными недостатками химических методов являются возможность их применения только к жидким фракциям нефтесодержащих отходов, невысокая скорость протекания процессов и необходимость создания оптимальных условий использования препаратов-реагентов (температура применения, постоянное перемешивание механизмами и др.), а также большой объем извести как сорбента-реагента (в соотношении 1:1 по объему), которая относится к востребованным ресурсам.

Каждый из перечисленных методов и способов эффективен на определенном этапе, а затраты зависят от физико-химического состояния, объема и ликвидности получаемого вторичного продукта.

При этом стоит учитывать, что технология сжигания углеродсодержащих отходов является наиболее целесообразной, поскольку реализация остальных технологий утилизации и переработки нефтесодержащих отходов связана с большими материальными и энергетическими затратами. При этом производительность этих способов невысокая и требует определенных температурных режимов, использования специальных реагентов, а кроме того, многие методы не позволяют осуществить их полную переработку и утилизацию.

Существует ряд способов использования горючих отходов путем смешивания отходов нефтепродуктов с угольным мелкофракционным зерном (отсевом, мелочь, пыль). При этом допускается добавление опилок, торфа с целью получения твердого топлива (патенты России № 2144559, 2268914, 2114902). Это позволяет предложить возможность замены основного компонента (угольной мелкофракционной крошки) на древесные опилки – наиболее распространенный в настоящее время в Республике Беларусь горючий вид отходов.

Технологии энергетического использования древесных отходов постоянно совершенствуются. Одной из давних технологий использования древесных отходов в качестве источника получения теплоты является прямое их сжигание в бытовых и производственных котельных установках. Однако к существенным недостаткам данного технологического процесса относится непосредственное сжигание древесного топлива и древесных отходов, переувлажненных из-за неправильного хранения [52]. Вследствие этого снижается производительность котлов, увеличиваются затраты на их обслуживание, появляется необходимость «подсветки» факела горения природным газом или мазутом.

Немаловажный фактор достижения тепловой эффективности – влажность отходов и их фракционный состав. Эти показатели являются определяющими для выбора конструкции и характеристик установок для сжигания древесных отходов. Если же качественные параметры поступающих на сжигание древесных отходов неизвестны, то это существенно влияет на эффективность работы котлов. Перечисленные факторы требуют постоянного совершенствования и подбора рациональных схем подготовки и сжигания отходов, а также модернизации топочных устройств или их дополнительной установки [53].

Основная задача утилизации древесных отходов состоит в их механической переработке с целью получения твердого топлива заданного качества, обеспечивающего транспортировку и хранение с минимальными затратами, а также наиболее полное сгорание с высокой тепловой эффективностью.

Перспективной технологией рециклинга древесных отходов, удовлетворяющей таким требованиям, является производство топливных гранул и брикетов.

Технология гранулирования древесных отходов включает сбор отходов, измельчение, сушку и гранулирование. Сущность ее заключается в строгом соблюдении технологического процесса, состоящего из удаления влаги, воздействия на сухую мелкодисперсную (тонкозернистую) сыпучую массу сырья потоков с высокой температурой и давлением с использованием высокотехнологичных матриц, что, как правило, является ноу-хау.

Преимуществами данной технологии являются рациональное использование древесных отходов, получение высококалорийного, экологически чистого топлива, механизация и автоматизация эксплуатации топочных устройств, повышение устойчивости процессов горения. Ее недостатки заключаются в вы-

сокой стоимости установок для гранулирования (стоимость мини-завода по производству гранул составляет 500–750 тыс. евро) и малом ресурсе формующей матрицы, которая изготавливается с использованием сложных технологий из жаростойких и высокопрочных марок сталей. Кроме того, при производстве гранул необходимо использовать только измельченную древесину с размером фракций частиц до 1,0 мм, с влагосодержанием в пределах 6–12 % и отсутствием в прессуемой массе механических включений (песка, коры, листьев и т. п.).

Анализ патентов показал, что во многих странах растет интерес к разработке оборудования и технологических схем производства топлива различными методами из растительной биомассы. Гранулированное топливо в государствах СНГ получают на основе тонкозернистых древесных отходов (патенты России № 2007102840, 2008137467, 2369631, 2362798), отходов торфа (патент России № 2008137467), лигнина (патенты Республики Беларусь № 960455; патенты России № 96118804, 2124521), а также с полным или частичным использованием органических отходов производства зерновых культур, растительной биомассы (патент Республики Беларусь № 20090319).

В странах Западной Европы и США к наиболее распространенным видам получения твердого топлива относится гранулирование тонкозернистых древесных отходов (патенты США us 000006635093b1, us 000007252691b2; патенты Германии de 000019529441c2, de 000019961634a1, de 000019955844a1, de 000010205105a1, de 000010207811a1, de 000010207811b4, de 202005004140u1, de 000010357282a1, de 000060016122t2; патенты Франции fr 000002777901a1, fr 000002936810; патенты Всемирной организации интеллектуальной собственности wo 001999051710, wo 002000060030a1, wo 002002051969a1, wo 002002070635a3, wo 002006003615a1, wo 002008007096a3, wo 002006006863a1, wo 002008036605a3, wo 002008093234a2, wo 002009120842a2, wo 00201001440a1).

При этом в последнее время, например в Германии, активно патентуются технологии производства гранулированного топлива, в которых в качестве связующего компонента используют даже полиэтилен (патенты Германии de 000010119903, de 00006006122t2).

Однако, выполнив патентный поиск, не удалось найти способов гранулирования древесных отходов с углеводородными связующими. Это вызвано тем, что из-за особенности процесса гранулирования и высоких температур на мелкозернистой структуре частиц используемого материала отсутствует достаточное количество неровностей и шероховатостей, влияющих на механическое закрепление на нем связующего [54].

Как отмечалось ранее, сжигание жидких фракций углеродсодержащих отходов, как правило, не вызывает существенных проблем. Кроме того, использование отходов нефтепродуктов вязких фракций находило применение в виде связующего вещества, например при брикетировании угольной пыли [55, 56, 57, 58].

1.3 Технологии и методы вторичной переработки древесных и нефтесодержащих отходов

Во многих государствах мира используются технологии получения топливных брикетов путем механического воздействия, воздействия высоким давлением и высокой температурой на сухие опилки древесины хвойных и лиственных пород, помещаемые в специальное прессовальное оборудование. К основным достоинствам древесных брикетов относятся возможность изготовления их с использованием отходов деревообработки, а также минимальное влияние на окружающую среду при сгорании по сравнению с другими видами твердого топлива.

В основу технологии производства древесных топливных брикетов принят процесс прессования мелкоизмельченных отходов древесины (опилок) высоким давлением при нагревании. При этом связующим элементом может являться лигнин, который содержится в клетках растений.

Основными техническими характеристиками прессового оборудования являются: производительность, удельное давление, потребляемая мощность, вес и параметры конечного продукта.

В настоящее время в области промышленного получения твердого топлива широкое применение находят технологии брикетирования с применением гидравлических, ударно-механических и шнековых прессов. У них также и общие требования к исходному сырью, которое должно быть равномерно измельченным и иметь влажность в диапазоне 8–12 %.

Рассмотрим достоинства и недостатки каждой технологии прессования отдельно с учетом качества конечной продукции и особенностей эксплуатации оборудования.

При гидравлическом способе прессование осуществляется гидравлическим усилием, создаваемым установкой. Популярное оборудование, работающее по этому принципу, производит фирма RUF. Изготовленные на нем брикеты имеют форму параллелепипеда. Оборудование надежно и сравнимо по стоимости и эксплуатационным характеристикам с механическими прессами ударного действия. К основным недостаткам этих брикетов относятся: необходимость использовать опилки влажностью 5–12 %, пористая структура брикета, имеющая тенденцию поглощать влагу из воздуха и деформироваться, а главное то, что фиксированная форма и размер брикета ограничивают его применение промышленным рынком. Образцы продукции фирмы RUF показаны на рисунке 1.5.

Ударно-механические прессы отличаются от гидравлических более высокой надежностью и производительностью. Оборудование этого класса, например датской фирмы C. F. Nielsen a/s, предназначено для производства брикетов промышленного и бытового назначения различных типоразмеров.

Продукция, полученная на оборудовании фирмы C. F. Nielsen a/s, показана на рисунке 1.6.



Рисунок 1.5. – Образцы брикетов фирмы RUF



Рисунок 1.6. – Образцы брикетов, произведенных на прессах фирмы C. F. Nielsen a/s

Изготовление ударно-механических прессов для переработки древесных опилок налажено в таких странах, как Дания, Италия и Германия. Принцип их работы состоит в том, что вращающийся эксцентрик, или коленвал, взаимодействует с поршнем, который уплотняет и продавлиывает древесные отходы через фильеру.

Шнековое прессование представляет собой процесс непрерывного прессования измельченного древесного материала в обогреваемой матрице-фильере. Брикет, полученный методом шнекового прессования, принято называть пинибрикетом. Их внешний вид показан на рисунке 1.7.



Рисунок 1.7. – Брикет Pini Kei

Брикет Pini Kei имеет плотность 1,0–1,4 г/см³. Чем выше температура прессуемого материала, тем меньшее усилие необходимо при прессовании. Это объясняется тем, что с ростом температуры увеличивается пластичность материала, т. е. силы трения между древесными частицами и поверхностью канала матрицы снижаются. Во время прохождения прессуемой массы по нагретому каналу на поверхности брикета образуется прочная пленка, удаляется часть влаги и формируются физико-механические связи между частицами [33].

На рисунке 1.8 представлена типовая технологическая схема линии шнекового прессования древесных опилок в топ-

ливные брикеты, в состав которой дополнительно может устанавливаться оборудование, позволяющее измельчать кусковые древесные отходы до необходимых гранулометрических размеров частиц. Энергопотребление представленной на рисунке установки, по производству топливных брикетов производительностью в пределах 500 кг/ч составляет 75 кВт, а более мощные производственные линии производительностью 1,0–1,2 т/ч в зависимости от производителя (ООО «ЭкоЭнергия» Российская Федерация, ООО «Промбрикет» Республика Беларусь) потребляют 120–170 кВт.

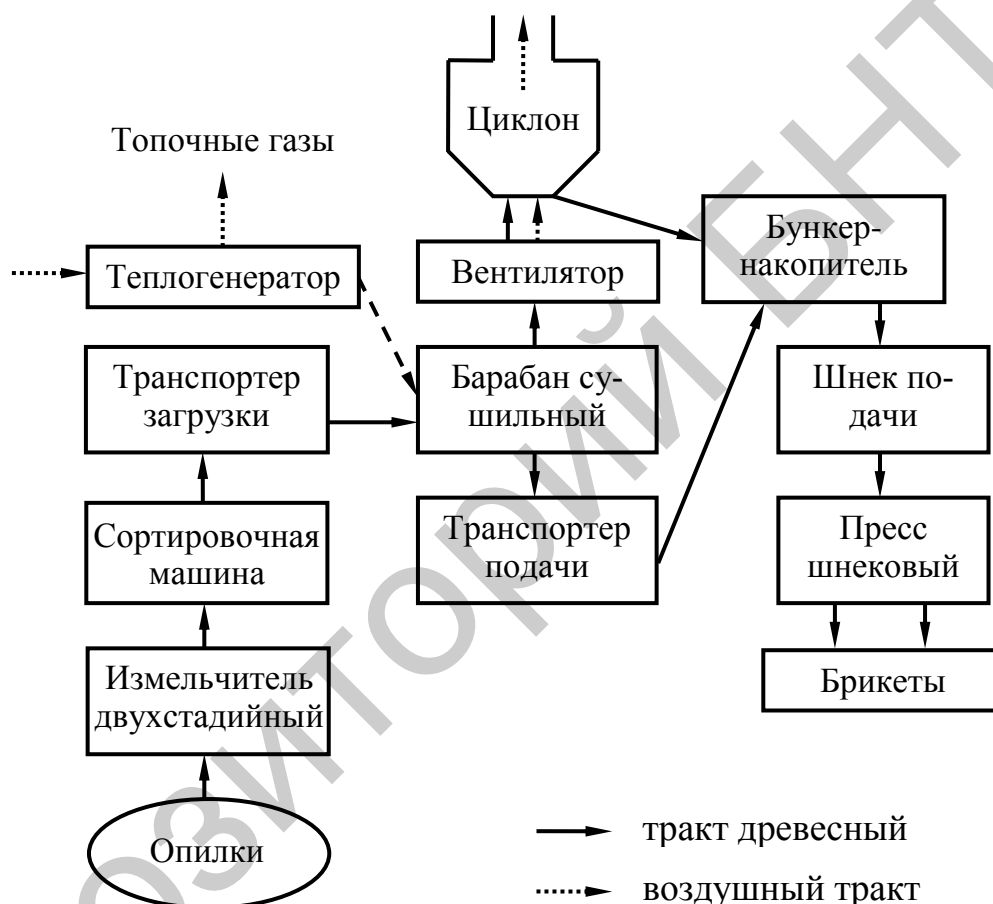


Рисунок 1.8. – Типовая технологическая схема линии шнекового прессования древесных опилок

Производительность таких линий увеличивается только за счет использования дополнительных брикетных прессов и более мощных сушильных агрегатов типа АВМ-0.65, АВМ-1,0.

К основным недостаткам типовой технологической схемы брикетирования твердого топлива относится необходимость обеспечения непрерывной работы применяемых в технологии сушильных агрегатов и теплогенераторов, так как любая поломка вызывает остановку технологического процесса. Процесс сушки требует генерации топочных газов высокой температуры, поскольку низкие

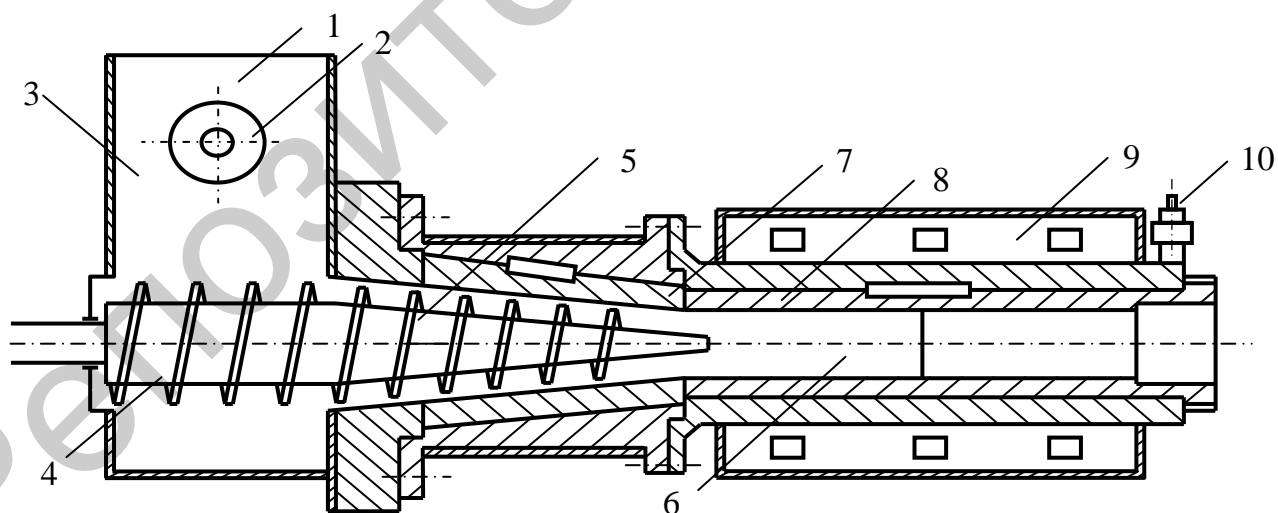
качественные показатели температуры топочных газов обуславливают высокий градиент влажности подготавливаемого сырья к брикетированию. Особенностью технологии получения брикетов является необходимость применения только измельченных древесных опилок, при этом в составе древесных отходов не допускается абразивных и механических включений, а при смешивании опилок с различной влажностью при одинаковых параметрах сушки возможно самовозгорание опилок в процессе сушки. Технологические схемы насыщены различным основным и вспомогательным оборудованием, что требует значительных капитальных затрат и многопрофильного обслуживающего персонала.

Для генерации высокотемпературных топочных газов, как правило, необходимо использование различных видов топлива, что приводит к снижению экономического эффекта такого производства.

Принцип работы установки шнекового брикетирования включает следующие основные стадии: прессование, формование, обжиг.

Устройство пресса-экструдера для производства топливных брикетов методом непрерывного прессования сухих древесных опилок показано на рисунке 1.9.

Древесные опилки поступают в приемный бункер, проходят загрузочное окно 1 через ворошитель 2 и сыпаются в камеру 3, где расположен вращающийся подающий шнек 4. К нему соосно примыкает прессующая часть шнека 5, свободный конец которого входит в рабочий канал 6, состоящий из конической втулки 7, переходящей в цилиндрическую формирующую часть матрицы-фильеры 8 на выходе.



- 1 – загрузочное окно, 2 – ворошитель, 3 – камера, 4 – подающая часть шнека,
5 – прессующая часть шнека, 6 – рабочий канал, 7 – коническая втулка,
8 – матрица-фильера, 9 – нагревательные элементы, 10 – термопара

Рисунок 1.9. – Устройство пресса-экструдера для производства топливных брикетов методом непрерывного прессования сухих древесных опилок

По мере заполнения камеры 3 шнек 4 подает сырье в коническую часть канала втулки, где происходит ее прессование, выдавливание в цилиндрическую часть канала. Усилия от прессующего шнека 5 действуют в осевом направлении и в вертикальной плоскости. Коническое исполнение хвостовика прессующего шнека способствует повышению плотности брикета.

В конической части канала втулки происходит формирование брикета при давлении 15–20 МПа. На коническую поверхность втулки 7 действуют большие усилия, вследствие чего возникает сопротивление в виде сил трения. Усилия от прессующего шнека уплотняют смесь по всему сечению. Под действием сил сжатия и подвода теплоты к смеси от нагревательных элементов 9 выделяется из клеток древесины естественное связующее (лигнин). При последующем охлаждении брикета связующее пластифицируется. Температура нагрева прессующего канала контролируется термопарой 10, которая подключена к блоку регулирования температуры от 240 до 280 °С.

При такой температуре на внешней и внутренней поверхностях брикета образуется науглероженный слой, выполняющий функции защитной гидрофобной оболочки при хранении и транспортировке брикета, а также смазки, что способствует непрерывному прохождению брикета в конической втулке 7 и матрице-фильере 8 пресса. Коническое исполнение хвостовика прессующего шнека также способствует повышению плотности брикета.

Важной характеристикой топливных брикетов является большая продолжительность горения. По сравнению с обычными дровами закладку брикетов в печь можно производить в три раза реже. Брикеты горят с минимальным количеством дыма, не стреляют, не искрят и обеспечивают постоянную температуру горения.

Рассмотрим преимущества опилочных брикетов по сравнению с непрессованными опилками. Объем брикетов в 3–4 раза меньше, чем объем непрессованных, свободных опилок. Это обстоятельство дает соответствующую экономию в складских площадях. Брикеты, обладая большей плотностью, чем опилки, становятся транспортабельным топливом (1 м³ хвойных сырых опилок имеет массу 200–250 кг, а 1 м³ брикетов – 800–1400 кг). Калорийность брикетов значительно выше, чем калорийность опилок. Во время горения в топке опилки перекрывают пламя, горит только верхний слой, часть недогоревших опилок выносятся в трубу, что снижает коэффициент использования их как топлива. Брикеты таких недостатков не имеют. Опилки могут сжигаться только в специальных котлах, в то время как брикеты горят в обычных котлах, топках и печах.

В основе многих способов и технологий производства древесных топливных брикетов лежит процесс прессования мелкоизмельченных отходов древесины (опилок) под высоким давлением и при нагревании. При этом содержащийся в опилках лигнин обеспечивает формирование брикета (патенты Республики Беларусь № 960455, u20090319; патенты России № 2080254, 2369633, 2074236, 2191799).

Каждая разработка в большинстве случаев привязывается к использованию местных ресурсов и вторичного сырья, применение которых позволяет значительно повысить технико-экономические показатели производства топлива.

Для решения проблем с использованием в качестве вторичных ресурсов, например, гидролизного лигнина и отходов добычи и переработки торфа в Республике Беларусь разработаны способы производства топливных брикетов. РУП «БелНИИтоппроект» разработал и запатентовал (патент Республики Беларусь № 20010254) способ получения топливных брикетов, включающий дозирование торфа и лигнина, их смешивание, рассев, измельчение, сушку и прессование торфолигнинной смеси, отличающийся тем, что предварительно выполняется естественная воздушная подсушка сырого исходного лигнина до влажности не более 50 % путем равномерного заполнения лигнином спланированной площадки. Смешивание торфа и лигнина производится при следующем соотношении компонентов, мас. %: торф – 10–50; лигнин – 50–90. Также ГНУ «Институт проблем использования природных ресурсов и экологии Национальной академии наук Беларуси» разработало способ производства кускового топлива (патент № 20031114), отличающийся тем, что экскавацию торфа ведут на всю толщину его слоя, в качестве армирующей упрочняющей добавки используют фитомассу быстрорастущих растений или отходы производства и переработки сельскохозяйственной продукции, дробленые до размера, менее поперечного сечения мундштука формователя. В совместном патенте № 19990780 ГНУ «Институт проблем использования природных ресурсов и экологии Национальной академии наук Беларуси» и РУП «Речицкий опытно-промышленный гидролизный завод» описан способ получения кускового лигнина, включающий нейтрализацию лигнина, перемешивание, пластификацию и влажное формование с последующей сушкой сформованных кусков в естественных условиях. Технологии, защищенные патентами России № 2486232, 2126816, отличаются тем, что формование брикета осуществляется после предварительной сушки лигнина до остаточной влажности 8–10 % при температуре 170–230 °С и давлении 90–110 МПа.

При брикетировании щепы требуются более мощные прессы, чем для брикетирования опилок. С целью получения топлива брикетированию подвергают, как правило, только опилки. Их влажность перед брикетированием должна быть не более 12–15 % и не менее 5–8 %.

Утилизацией отходов с целью получения топлива с помощью брикетирования занимаются многие государства цивилизованного мира. Об этом свидетельствует большое количество патентов, защищающих предложенные методы и составы топлив, направленные на повышение эффективности топлива с использованием различных компонентов (патенты России № 2268914, 2157402, 2237083, 2330063, 2114902; 2100420, 2119532, 2129142, 2130047, 2131912, 2144559, 2187542, 2206602, 2208045, 2100417, 2100418, 2100419, 2100420).

Большое внимание разработке различных методов брикетирования древесных отходов с целью получения твердого топлива в последнее десятилетие уделяется и в западных странах (патент США us 02005001111a1; патенты Великобритании gb 000002389857a, gb 000002448531a; Германии de 000019927443, de 000010243066a1, de 112007002839a5; патенты Франции fr 000002668774b1, fr 000002586254b1; Всемирной организации интеллектуальной собственности (ВОИС) wo 00200913384a3, wo 002004106473a1, wo 002008106993a1).

При производстве твердого топлива методом брикетирования используются способы шнекового прессования (патенты США us 000006655943b1, us 000007628826b2, us 0200402477720a1; патент Франции fr 00002636882a1; Всемирной организации интеллектуальной собственности wo 002008089968a1, wo 002007087827a1).

В связи с образованием большого количества нефтесодержащих отходов и необходимостью их эффективной утилизации в ряде государств ведутся разработки по их использованию в качестве добавки к древесным отходам при производстве топлива (патент Германии de 000060025429t2; патенты ВОИС wo 1997006226a1, wo 1999051709a1, wo 002008014838a1).

Брикеты на основе нефтесодержащих и древесных отходов можно производить прямым прессованием на гидравлическом или механическом прессе (патенты России № 2330063, 93056068).

К основным недостаткам этих методов получения топлива относятся низкая производительность оборудования, высокие требования к сырью – размеры частиц опилок 0,1–5,0 мм, влажность опилок 9–14 %. В качестве органического связующего для брикетирования используется низко- или среднеплавкий нефтяной остаток, требующий специальной подготовки и расплавления. Режим брикетирования требует создания давления не менее 30 МПа.

Анализ показал, что наиболее производительным и позволяющим изготавливать брикеты с высокими показателями по качеству и сжиганию является метод прессования с использованием прессов-экструдеров. Для брикетирования применяются в основном три типа прессов-экструдеров: конические шнековые, шнековые с нагревательной матрицей (без нагревательной матрицы) и двухшнековые. Плотность материала готового брикета может достигать 1,2 кг/дм³.

Брикетирование представляет собой сложный физико-химический процесс взаимодействия разобщенных твердых частиц, который может осуществляться без использования высокотехнологичного оборудования, что обеспечивает его преимущество по сравнению с другими альтернативными способами производства твердого топлива. При горячем брикетировании измельченную однородную массу нагревают без доступа кислорода до 240–280 °С. Нагретая масса с выделившейся смолой прессуется под давлением 15–25 МПа. При холодном брикетировании однородные по размеру частицы перемешивают со связующим веществом и подвергают сжатию в прессах до 120–150 МПа [59].

В [47] приведены результаты исследований брикетирования опила из древесных отходов, в том числе насыщенных нефтепродуктами в частности, и после их использования на аварийных разливах нефтепродуктов.

Согласно представленным в диссертации Н. А. Филиной [60] исследованиям утилизации нефтяного конгломерата, образованного при очистке водной поверхности от нефтяного загрязнения, предложена технология изготовления брикетов из древесного опила, насыщенного нефтепродуктами, гидравлического и шнекового брикетирования, как чистых древесных отходов, так и пропитанных нефтяных конгломератов. При изготовлении брикетов применяли холодное брикетирование. Брикеты с использованием предлагаемых технологий брикетирования имеют форму шайбы с геометрическими размерами: диаметр 4 см, высота 0,9–1,5 см.

Результаты экспериментов по изучению физико-механических свойств прессованных чистых и пропитанных нефтепродуктами древесных отходов, образовавшихся при очистке водной поверхности от нефтяных загрязнений, представлены на рисунке 1.10.

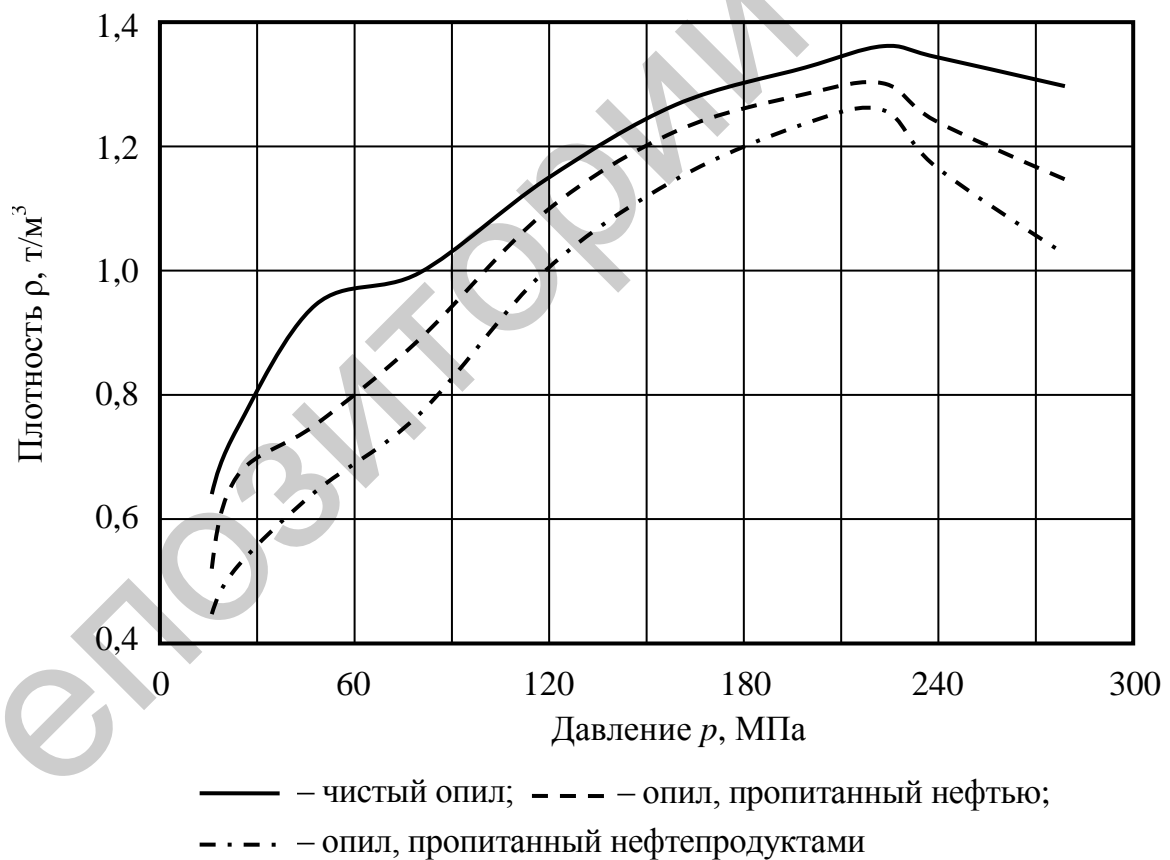


Рисунок 1.10. – Изменение плотности сосновых брикетов в зависимости от давления прессования [62]

На первом этапе исследования результаты экспериментов показали, что топливные брикеты при гидравлическом прессовании в условиях комнатной температуры с влажностью 10–12 % плохо сохраняли форму. Однако, когда в составе

имеется 20–25 % по массе нефтепродуктов при влажности древесных опилок 10–12 % и массовой доле 75–80 % и прессование произведено давлением прессы до 240 МПа, брикеты сохраняли форму. При более высокой влажности и содержании нефтепродуктов брикеты при хранении покрывались плесенью.

В результате проведенных исследований [62] было установлено, что плотность полученных брикетов с использованием пропитанных нефтепродуктами сосновых опилок больше, чем с применением березовых опилок, однако брикеты из березовых опилок значительно прочнее, чем из сосновых. Брикетированию подвергались только мелкодисперсионные древесные частицы с размерами зерен частиц не более 5–7 мм и влажностью не более 12–15 %. При этом определено, что оптимальной фракцией опилок являются древесные частицы размером 1–3 мм. Насыпная масса опила составляла 160–220 кг/м³, а насыпная масса брикетов, полученных прессованием, – 460 кг/м³.

В работе [62] приведены данные измерений теплотворной способности изготовленных брикетов, а также испытания процесса их горения. Установлено, что древесные отходы, пропитанные нефтепродуктами, представляют собой композиционный состав, в котором за счет капиллярно-структурной организации смеси происходил наиболее полный и эффективный процесс пиролиза до образования золы, обусловивший возрастание теплоты сгорания смеси. Как показано на рисунке 1.11, теплота сгорания опила, пропитанного нефтепродуктами, по сравнению с чистыми опилками увеличилась в 2,5 раза, что является высоким показателем для твердого топлива.

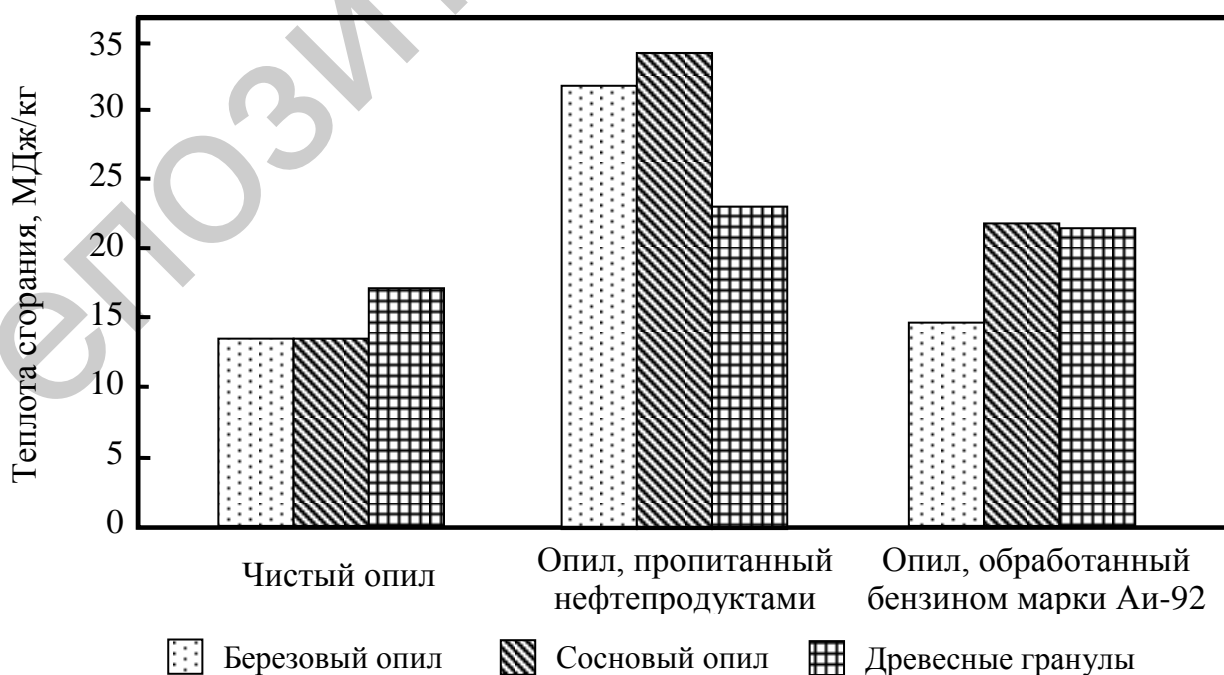


Рисунок 1.11. – Зависимость теплоты сгорания от материала образцов [62]

Недостатками технологической схемы утилизации нефтяного конгломерата, образованного при очистке водной поверхности от нефтяного загрязнения, являются низкие качественные показатели при хранении полученных брикетов, что отмечается автором в работе [62]: при более высокой влажности и содержании нефтепродуктов брикеты плохо сохраняются – плесневеют при комнатной температуре в течение 12–13 дней. Насыпная масса брикетов, полученных прессованием, составляет не более 460 кг/м^3 при том, что брикетирование методом шнекового прессования позволяет при заявленной влажности достигать плотности не менее 800 кг/м^3 . В работе предложено использовать опилки, высушенные до влажности, не превышающей 12 %, что в свою очередь требует дополнительных затрат на их подготовку к брикетированию.

1.4 Методы оценки эксплуатационных свойств твердых топлив

Твердое топливо является очень важным энергетически ресурсом. Оно широко используется как в энергетике, так и на производстве. Исследованиями эксплуатационных свойств топлива занимались многие известные ученые. По определению Д. И. Менделеева, «топливом называется горючее вещество, умышленно сжигаемое для получения теплоты» [61].

Для разработки нового вида твердого топлива необходимо руководствоваться существующими методами оценки качественных параметров, которые будут позволять произвести оценку свойств с необходимой достоверностью и воспроизводимостью, при этом используемые методики и приборы должны быть чувствительны к изменению определяемых свойств и оценочных параметров.

Именно поэтому при разработке новых видов топлива при определении эксплуатационных свойств необходимо использовать специальные, воспроизводимые лабораторные методы контроля и оценки качества твердого топлива.

Важным эксплуатационным параметром является химический состав топлива, который классифицируется тремя группами, представленными в таблице 1.3 [62].

Таблица 1.3. – Классификация топлива по химическому составу [64]

Класс	Химический состав	Вид топлива
I	Углерод	Все виды кокса и древесный уголь
II	Углерод и водород	Нефть, нефтепродукты, газообразные углеводы и др.
III	Углерод, водород и кислород	Древесина, торф, ископаемый уголь, брикеты, гранулы, генераторный, смешанный и водяной газы

Количество теплоты, выделяющейся при сгорании топлива, зависит от его элементарного состава. Любое топливо содержит органическую (горючую) часть и так называемый балласт. В состав органической части топлива могут входить следующие элементы: углерод (С), водород (H_2), сера (S), кислород (O_2), азот (N_2). Наиболее ценными элементами органической части, с точки зрения получения теплоты, являются углерод (С) и водород (H_2). Сера при ее сгорании образует кислотные окислы SO_2 и SO_3 . Кислород и азот теплоты не выделяют, это внутренний балласт топлива. Внешним балластом, не входящим в состав соединений, образующих органическую часть топлива, являются минеральные примеси (при сгорании образуют золу) и вода [27].

Брикетирование древесных отходов заключается в прессовании сыпучего мелкозернистого сырья под высоким давлением со связующими или без них. Более широко применяется брикетирование без связующих.

Сыпучие материалы, например опилки, занимают значительный объем, который после брикетирования в 4–6 раз уменьшается, при этом плотность сформированных брикетов дает возможность транспортировать их, выполнять погрузо-разгрузочные работы с минимальными затратами в обращении. Брикетирование сыпучих отходов позволяет за счет формирования плотной структуры брикета увеличить его удельную объемную теплотворную способность, снижает поглощение влаги.

Структура брикета образуется путем контактов частиц между собой или через прослойки связующих за счет создаваемых усилий прессования. Разнообразие технологических приемов и специфичность отдельных видов брикетирования материалов не позволяют создать единой теории брикетирования. Однако необходимо рассматривать и учитывать основные факторы и явления, на основе современных представлений макромолекулярной структуры связующих, влияющие на процесс брикетирования со связующим [56].

Многообразие физико-химических и структурно-реологических процессов, которые протекают в период формирования структурного каркаса брикета, обусловлено большим количеством необходимых для этого условий. Каждое из них оказывает воздействие на интенсивность адгезионных взаимодействий как во время подготовки брикетной смеси, так и при ее прессовании.

Среди основных факторов, оказывающих существенное структурообразующее действие, прежде всего следует учитывать гранулометрический состав, геометрический профиль поверхности, влажность и температуру компонентов, температуру связующего, условия смешивания компонентов, давление и температуру прессования.

Состав грануломерата оценивается суммарной поверхностью контакта зерен, числом и размером пустот в структурном каркасе брикетов, наличием остроугольных зерен, рельефом твердой поверхности и присутствием пылевидных частиц. А принцип подбора смеси частиц различной крупности заключается в создании структурной композиции, отвечающей наиболее плотной упаковке (рисунок 1.12) [56, 57].

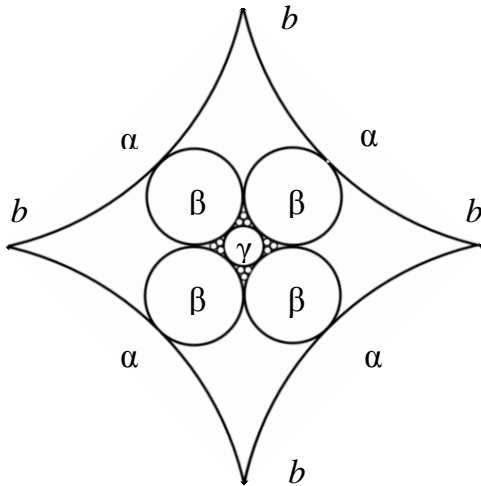


Рисунок 1.12. – Схема структуры с наиболее плотной (кубической) упаковкой зерен диаметрами α , β , γ и т. д. в смеси

Четыре крупных зерна α условно рассматривались как сферы, которые, касаясь друг друга в точках b , образуют фигуру в виде криволинейного ромба. Свободное пространство между зернами α заполняется зернами β . Далее пространство между зернами α и β заполняют зерна γ и т. д. Как видно, начиная с зерна α , размеры которого должны быть заданы, существует оптимальная пропорция между размерами зерен β и γ и т. д., при которой достигается наиболее плотная их упаковка.

В такой структуре массовое и объемное соотношение размеров зерен описывается эмпирическим уравнением Г. Фуллера [56]

$$U = \sqrt{\frac{d_s}{D_s}}, \quad (1.1)$$

где U – доля зерен, проходящих через сито с диаметром отверстий, равным d ;

d_s – диаметр любого зерна смеси от 0 до D , мкм;

D_s – максимальный диаметр зерна смеси, мкм.

Суммарные характеристики зернистости описываются уравнением Розина–Раммлера [60]

$$R = 100 \exp(b_u d^\psi), \quad (1.2)$$

где R – суммарный выход класса, крупнее d (остаток на сите), %;

d – диаметр отверстия сита, мкм;

b_u и ψ – коэффициенты уравнения (параметры, зависящие от свойств материала и размерности d).

Уравнение (1.2) описывает зависимость R от d , оптимальный верхний предел крупности и позволяет выбрать гранулометрический состав, обеспечивающий наиболее плотную упаковку зерен (частиц) в смеси.

Для оценки соответствия твердого топлива требованиям проводятся испытания, при выполнении которых необходимо соблюдать правила техники безопасности по ГОСТ 12.1.004, ГОСТ 12.1.019. Применяемые средства измерений и оборудование должны быть поверены и (или) аттестованы в установленном порядке. Подготовка пробы оценки соответствия включает в себя последовательные операции дробления, сокращения, измельчения и деления пробы. Операции подготовки проб проводят ручным или механизированным способом с применением дробилок, делителей, мельниц и набора сит для отсева пробы.

Пробу после дробления до размера частиц не более 5 мм тщательно перемешивают, доводят до массы не менее 1 кг и делят на две лабораторные пробы. Массовую долю частично разрушенных брикетов M_k , %, вычисляют по формуле

$$M_k = \frac{M_2}{M_1} \cdot 100 \quad (1.3)$$

где M_1 – масса брикетов, кг;

M_2 – то же частично разрушенных брикетов, кг.

Полученные результаты округляют до 0,1 %.

Контроль на наличие посторонних включений в брикете осуществляют визуально при дневном свете. Длину брикетов определяют линейкой измерительной металлической по ГОСТ 427. За результат принимают среднеарифметическое значение четырех определений. Контроль качества упаковки и маркировку осуществляют визуально.

Для всех видов твердого топлива необходимо проверять уровень содержания цезия-137 который определяют в соответствии с методиками изложенными в МВИ.МН 1866-2003.

1.5 Алгоритм решения проблемы получения твердого топлива из нефтедревесных отходов

Исследования показывают, что к основным параметрам брикетированности как физико-механического процесса относятся способность используемых компонентов к уплотнению, упрочнению, упругости, пластичности. Установлено, что эти параметры зависят от температуры, влажности, давления, скорости прессования. Поэтому важно иметь их значение, которое соответствует минимальным энергетическим затратам и максимальной производительности прессования при необходимом качестве брикета. Таким образом, брикетирование нефтедревесных отходов целесообразно производить с использованием брикетизирующего пресса с приемлемым уровнем энергопотребления и высокой производительностью по готовому продукту. Рабочие детали пресса должны быть технологичными в изготовлении, стойкими к износу и легкозаменяемыми.

Учитывая ранее проведенные теоретические исследования и практический опыт брикетирования отходов углей со связующими из различных нефтесодержащих отходов, которые компонуют и «склеивают» разобщенные твердые частицы, сохраняя их прочный контакт в условиях значительных внешних воздействий, связующие вещества, используемые при брикетировании, должны обладать специфическими свойствами, удовлетворяющими следующим требованиям:

- иметь значительную поверхностную активность, максимально смачивать твердую поверхность материала не только за счет слабой физико-химической адсорбции, обеспечивая высокое взаимодействие с субстратом;
- отличаться высокой гидрофобностью, мало зависеть от влажности субстрата и действия воды;
- быть устойчивыми к атмосферным воздействиям, нагреву, действию солнечных лучей, окислению и т. п.;
- не изменять структуру субстрата в процессе эксплуатации; обладать эластическими и пластическими свойствами;
- отличаться недефицитностью и невысокой ценой, особенно, если они употребляются в больших количествах;
- обеспечивать тепло-, массоустойчивость брикетов при повышенных летних температурах и их достаточную эластичность в условиях разгрузочно-погрузочных работ;
- иметь высокую теплоту сгорания и малый выход летучих веществ.

Выводы и постановка задач исследования

1. Из проведенного анализа статистических данных по образованию и использованию отходов химического производства и производств, связанных с ними, на территории Беларуси с 2008 по 2013 год следует, что коэффициент использования R этого вида отходов, равный отношению используемых объемов к объему образующихся отходов, в последние четыре года не превышает значения 0,5 и имеет общую тенденцию к снижению. Поскольку данные отходы являются углеродводородсодержащими веществами, обладающими значительным энергообразующим потенциалом, их применение для получения местного возобновляемого топлива представляется чрезвычайно важным. Решение такой задачи позволило бы расширить гамму местных видов топлива и повысить их удельный вес в энергобалансе страны.

2. Географическая разбросанность и многочисленность источников углеродводородсодержащих отходов обуславливает необходимость создания малогабаритных и передвижных средств их переработки, в том числе и с целью получения твердого топлива.

3. Наряду с традиционными углеродводородсодержащими отходами, для которых разработаны широко применяемые технологии переработки, включая

технологии создания на их основе топлив, в Республики Беларусь образуется большое количество вязких нефтесодержащих отходов, являющихся ценным углеводородным сырьем, для переработки которого требуется создание эффективных технологий. В то же время наличие и рост объемов таких отходов создают экологические проблемы, наносящие значительный ущерб окружающей среде.

4. Накопившиеся большие объемы длительно хранившихся, переувлажненных и засоренных древесных отходов, в первую очередь опилок, требуют разработки новых подходов и путей их рационального использования.

5. Сравнительный анализ существующих методов, технологий и средств переработки нефтедревесных отходов, пригодных для получения твердого топлива, выявил ряд их существенных недостатков: сложность технологических решений, высокую пожароопасность, значительные энергетические затраты и дороговизну технологического оборудования.

6. Анализ научных исследований показывает пути возможного решения проблемы использования вязких нефтесодержащих и влажных древесных отходов в качестве твердого топлива, применение которого по своим физическим и теплотехническим свойствам не требует значительной модернизации существующего энергетического оборудования.

Таким образом, в диссертационном исследовании требуется:

– разработать для локальных систем теплоснабжения твердое топливо, включающее в качестве связующего вязкие нефтесодержащие отходы, с оптимальным компонентным составом, допускающим его сжигание в котлоагрегатах со слоевыми топками;

– создать опытную установку для производства твердого топлива и установить зависимость ее производительности от долей компонентного состава топлива и влажности прессуемой смеси;

– создать передвижную установку для производства брикетированного твердого топлива обеспечивающую переработку отходов в местах их образования;

– исследовать физико-химические характеристики разработанного топлива, определить технические условия его применения в энергетических установках и провести эколого-экономическую оценку разработанной технологии получения твердого топлива;

– разработать технологию получения двухкомпонентного твердого топлива, пригодного для сжигания в топочных устройствах локальных систем теплоснабжения.

ГЛАВА 2

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ УСТАНОВКА. ПРОВЕДЕНИЕ ЭКСПЕРИМЕНТА И СТАТИСТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ

2.1 Планирование эксперимента

Целью проведения эксперимента является решение задач описания общих закономерностей процесса, протекающего в установке при получении брикетированного твердого топлива на основе смеси нефтедревесных отходов, и оптимизация режима работы установки по производству этого топлива, позволяющего получать максимальное его количество в единицу времени заданного качества.

Решение первой задачи связано с представлением математической модели протекающего в установке технологического процесса. В диссертации, в силу сложности изучаемого процесса, требуемую математическую модель строили на основе экспериментальных исследований. Один из наиболее эффективных методов реализации такой научной задачи заключается в привлечении теории планирования эксперимента, заложенной в трудах Р. Фишера [63, 64]. Большой вклад в развитие этого направления сделали В. В. Налимов [65] и Ю. П. Адлер [66].

Цель планирования эксперимента – нахождение таких условий и правил проведения опытов, при которых с наименьшими затратами удастся получить надежную и достоверную информацию об объекте с минимальными затратами труда, а также представить эту информацию в компактной форме с количественной оценкой точности. Другими словами, применение теории планирования эксперимента позволяет формализовать многие действия исследователя, минимизировать число опытов, варьировать одновременно все исследуемые факторы в соответствии со специальными алгоритмами и после каждой серии опытов выбирать обоснованные стратегии дальнейшего проведения исследования [67]. При этом достигается максимальная точность измерений при минимальном количестве проведенных опытов и сохранении статистической достоверности результатов [68, 69].

Теория планирования эксперимента рассматривает только активный тип экспериментов, когда имеется возможность независимо и целенаправленно изменять значения факторов v во всем диапазоне измерений.

Воздействие на исследуемый объект осуществляется по специально разработанному плану, который составляется в соответствии с теорией планирования эксперимента путем рационального выбора факторов, существенно влияющих на объект исследования, определения необходимого количества проводимых опытов и последовательности их реализации [70]. При данном подходе достигается получение максимально возможного объема информации на основе минимально допустимого количества опытных данных [71].

В соответствии с теорией планирования эксперимента установка для получения твердого топлива на основе нефтедревесных отходов является объектом, который рассматривается как «черный ящик», имеющий управляемые независимые входные (факторы) и выходные (отклики системы) параметры [67].

Предварительные опыты показали, что на производительность P установки, т. е. на массу изготовленных брикетов в единицу времени, наибольшее влияние оказывает массовая влажность w смеси, загружаемой в бункер установки, и доля x нефтесодержащих веществ в формуемой смеси.

Давление p прессования и температура T сырья во время эксперимента не изменялись.

Под массовой влажностью в эксперименте понимается безразмерная величина, равная отношению массы воды к массе сухой смеси. Доля x нефтесодержащих веществ в смеси также является безразмерной величиной, определяемой как отношение массы нефтесодержащих веществ в килограммах к массе сухой смеси в килограммах.

Таким образом, анализ априорной информации позволил выявить входные и выходные параметры основного эксперимента. Входными параметрами (факторами) приняты влажность смеси w и доля x нефтесодержащих веществ в ней, а выходным параметром (откликом системы) – производительность P установки, кг/мин. Производительность является и параметром оптимизации процесса в установке. Уровнем фактора является его значение, фиксированное при проведении эксперимента.

При используемом подходе моделируется внешнее функционирование установки по принципу «черного ящика» (рисунок 2.1).

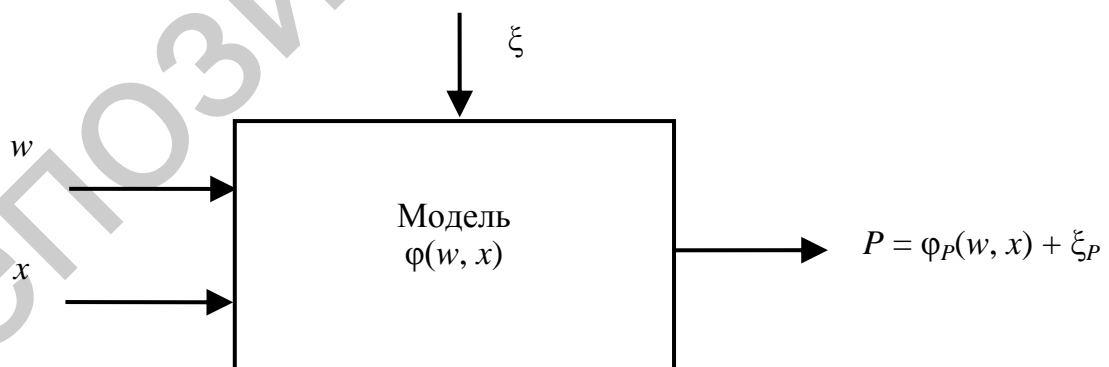


Рисунок 2.1. – Кибернетическое представление эксперимента

На рисунке 2.1 использованы обозначения:

w, x – входные переменные (факторы);

P – выходная переменная (отклик системы, реакция системы);

ξ – ошибка, помеха, вызываемая наличием случайных факторов;

φ – оператор, моделирующий действие реальной системы, определяющий зависимость отклика от факторов;

ξ_P – ошибка измерения P , вызванная наличием случайных факторов;

φ_P – оператор, определяющий зависимость отклика P системы от факторов.

Математическая модель исследуемой системы формировалась по результатам экспериментов методом регрессионного анализа.

Таким образом, принималось количество факторов k , равное 2, т. е. рассматривалось двумерное факторное пространство.

Согласно теории планирования эксперимента для выбранных факторов необходимо задать их область определения – совокупность значений, которые может принимать данный фактор. Массовая влажность w и доля x нефтесодержащих веществ являются однозначно управляемыми и операциональными, т. е. поддающимися регулированию и фиксации в течение всего опыта [72].

Количество опытов N по плану определяется по формуле

$$N = nk, \quad (2.1)$$

где n – количество уровней (фиксированных значений фактора относительно начала его отсчета);

k – количество факторов.

Области определения факторов зададим неравенствами:

$$w_{\min} \leq w \leq w_{\max}; \quad (2.2)$$

$$x_{\min} \leq x \leq x_{\max}, \quad (2.3)$$

где w_{\min} и w_{\max} – минимальное и максимальное значение массовой влажности w ;

x_{\min} и x_{\max} – то же доли x нефтепродуктов.

Значения верхнего и нижнего уровней устанавливаются предварительными опытами.

В области определения факторов выбирался его нулевой уровень значений влажности w_0 и доли x_0 , которые в предварительных исследованиях были признаны наилучшими с точки зрения оптимизации производительности P .

Задавался интервал варьирования факторов Δw и Δx . Определялись верхние и нижние уровни факторов:

$$w_{\max} = w_0 + \Delta w; \quad w_{\min} = w_0 - \Delta w; \quad (2.4)$$

$$x_{\max} = x_0 + \Delta x; \quad x_{\min} = x_0 - \Delta x \quad (2.5)$$

при условии, что $w_{\max} > w_{\min}$ и $x_{\max} > x_{\min}$.

В предварительных опытах было установлено, что $\Delta w = 0,04$, $\Delta x = 0,04$.

Выбранные значения w_{\min} , w_0 , w_{\max} , x_{\min} , x_0 и x_{\max} представлены в таблице 2.1.

Таблица 2.1. – Области вариации факторов

Фактор	Значение фактора		
	минимальное	нулевого уровня	максимальное
w	$w_{\min} = 0,38$	$w_0 = 0,42$	$w_{\max} = 0,46$
x	$x_{\min} = 0,18$	$x_0 = 0,22$	$x_{\max} = 0,26$

При построении плана эксперимента перейдем к новым факторам z_w и z_x :

$$z_w = \frac{w - w_0}{\Delta w}; \quad (2.6)$$

$$z_x = \frac{x - x_0}{\Delta x}. \quad (2.7)$$

Данная процедура называется нормализацией, или кодированием, факторов.

При $w = w_{\max}$ и $w = w_{\min}$ фактор z_w принимает значения, равные +1 и –1 соответственно. Аналогично при $x = x_{\max}$ и $x = x_{\min}$ фактор z_x принимает безразмерные значения +1 и –1 соответственно, независимо от того, какую размерность имеют исходные факторы.

Кодирование факторов позволяет упростить процедуру расчетов коэффициентов уравнения регрессии. После определения этих коэффициентов всегда можно посредством подстановки безразмерных факторов согласно формулам (2.6) и (2.7) в найденное уравнение регрессии в виде $P = P_z(z_w, z_x)$ перейти к уравнению регрессии в форме $P = P(w, x)$.

Значение фиктивной переменной z_0 принималось равным единице, т. е. $z_0 = 1$.

Зависимость, например, отклика P от факторов z_w и z_x называется функцией отклика, а геометрические представления функций отклика – поверхностями отклика.

План эксперимента – это совокупность данных, определяющих количество, условия и порядок реализации опытов [73]. Полным факторным планом, или планом полного факторного эксперимента типа 2^k , является множество всех точек в k -мерном пространстве, координаты которых представляют собой комбинации значений факторов, равных +1 или –1.

В простейшем случае число факторов $k = 2$ и k -мерное пространство является плоскостью, а количество точек плана $N = 2^k$, т. е. $N = 4$.

Геометрическое отображение такого плана полного факторного эксперимента приведено на рисунке 2.2 [12–А].

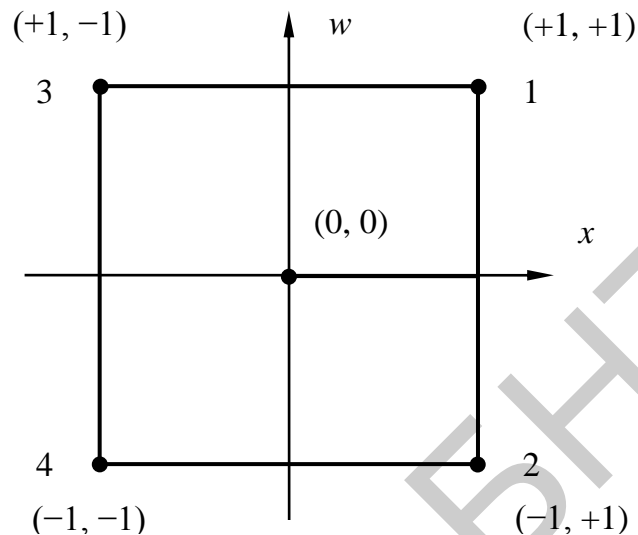


Рисунок 2.2. – Композиционный ортогональный план первого порядка для $k = 2$

План проведения эксперимента (матрица планирования) записывается в виде таблицы 2.2.

Таблица 2.2. – План полного факторного эксперимента для двух факторов

Номер опыта	z_0	z_w	z_x	P
1	+1	+1	+1	P_1
2	+1	+1	-1	P_2
3	+1	-1	+1	P_3
4	+1	-1	-1	P_4

На основе этого плана по результатам эксперимента представлялась модель исследуемого объекта – линейное уравнение регрессии, описываемое полиномом первой степени:

$$P = b_0 + b_1 z_w + b_2 z_x, \quad (2.8)$$

где b_0 , b_1 и b_2 – коэффициенты полинома.

Коэффициент b_1 определяет влияние на отклик P фактора z_w , а коэффициент b_2 – фактора z_x .

Результаты полного двухфакторного двухуровневого эксперимента позволяют найти в уравнении регрессии четвертый коэффициент, учитывающий взаимодействие факторов z_w и z_x . В этом случае уравнение регрессии может быть представлено в виде

$$P = b_0 z_0 + b_1 z_w + b_2 z_x + b_{12} z_w z_x, \quad (2.9)$$

где b_{12} – коэффициенты полинома при произведении $z_w z_x$.

План такого эксперимента приведен в таблице 2.3.

Таблица 2.3. – План полного факторного эксперимента для двух факторов с учетом взаимодействия факторов

Номер опыта	z_0	z_w	z_x	$z_w z_x$	P
1	+1	-1	-1	+1	P_1
2	+1	+1	-1	-1	P_2
3	+1	-1	+1	-1	P_3
4	+1	+1	+1	+1	P_4

Линейное уравнение регрессии, как показали результаты обработки опытов, не обеспечивает необходимую точность и достоверность результатов моделирования, т. е. адекватность модели исследуемому процессу.

В этой связи в работе эксперименты были осуществлены с применением ротатбельного планирования [74, 75], для которого дисперсия отклика, предсказанного уравнением регрессии, постоянна для всех точек, находящихся на равном расстоянии от центра эксперимента. При таком планировании используются все точки рассмотренного плана первого порядка, которые дополняются так называемыми звездными точками. Благодаря увеличению количества опытов в центре плана и специальному выбору величины звездного плеча ротатбельное планирование дает возможность получить более точное математическое описание по сравнению, например, с ортогональным центральным композиционным планированием [76].

Использование ротатбельного планирования второго порядка позволяет получить уравнение регрессии, описываемое полиномом второй степени:

$$P = b_0 + b_1 z_w + b_2 z_x + b_{12} z_w z_x + b_{11} z_w^2 + b_{22} z_x^2, \quad (2.10)$$

где P – значение отклика системы;

b_{11} и b_{22} – коэффициенты полинома при вторых степенях z_w и z_x соответственно.

В данном случае каждый фактор необходимо фиксировать как минимум на трех уровнях ($n = 3$).

Преимущество такого плана заключается в том, что точность предсказания значений параметра оптимизации одинакова на равных расстояниях от центра эксперимента и не зависит от направления.

При ротatableльном планировании точки плана при $k = 2$ располагаются на окружности, как показано на рисунке 2.3.

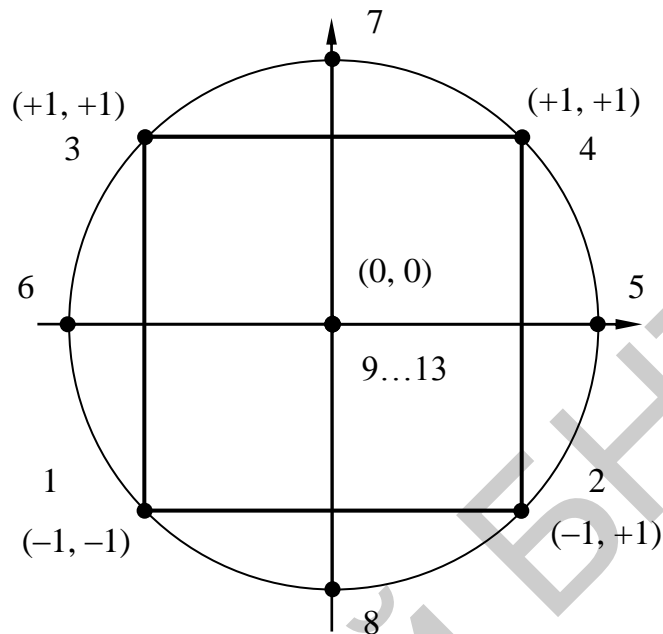


Рисунок 2.3. – Геометрическое представление центрального композиционного ротatableльного равномер-планирования

Чтобы привести план 2-го порядка к ротatableльному, величину звездного плеча выбирают из условия [77]

$$\alpha = 2^{\frac{k}{4}}. \quad (2.11)$$

При $k = 2$ величина $\alpha = 1,414$.

При использовании ротatableльных планов 2-го порядка отпадает необходимость в постановке дополнительных параллельных опытов для оценки дисперсии воспроизводимости, которую определяют по опытам в центре плана.

2.2 Разработка экспериментальной установки брикетирования топлива

Для проведения экспериментальных исследований (опытов) была создана опытно-промышленная установка, на которой измерялись и фиксировались следующие параметры:

- доли компонентного состава брикетируемой массы;
- влажность брикетируемой массы;
- производительность установки по изготовлению твердого топлива.

При этом для каждой комбинации компонентного состава измеряли следующие величины:

- влажность брикета на выходе из рабочего канала и в процессе его сушки (методом взвешивания образцов);

- продолжительность выхода брикета заданной длины из установки;
- температуру массы сырья и сформированного брикета;
- наружные диаметры сформованного и высушенного брикетов.

Кроме того, документировали внешний вид, состояние поверхности, наличие трещин и т. п., а также возможность транспортировки брикета для сушки.

При проведении опытов принимались постоянными: давление, создаваемое прессом, время перемешивания (подготовки) компонентов к брикетированию, температурный режим в помещении, температурный режим сушки, время сушки.

В процессе выполнения опытов использовали одни и те же приборы, методики, средства измерения для определения показателей:

- электронные весы ВСП-4К, цена деления 0,5 г;
- электронные весы ВСП-60/10-5КС, цена деления 10 г;
- тарелку алюминиевую прямоугольную (длина 600 мм, высота 30 мм, ширина 160 мм, толщина стенок 0,5 мм);
- гигрометр ВИТ-2;
- влагомер МГ-4Д;
- линейку длиной 1 м по ГОСТ 427–75;
- штангенциркуль ШП-1 по ГОСТ 166–73;
- термометр электронный Checktemp HI98501;
- секундомер механический типа СОСпр-2б-2-010;
- вспомогательные средства – перчатки, маркер, полиэтиленовую пленку.

Кроме того, при определении влажности брикетов-образцов твердого топлива применяли следующие приборы, инструменты и оборудование:

- сушильный шкаф с электрическим обогревом и терморегулятором с отверстиями для естественной вентиляции и поддержания постоянной температуры нагрева в камере на уровне 900 ± 15 °С;
- технический стеклянный ртутный термометр по ГОСТ 2888–68 с ценой деления шкалы 2 градуса для замера температуры в камере сушильного шкафа;
- термопреобразователь с пределом измерения температуры до 1000 °С, с измерительным устройством;
- вспомогательные средства: щипцы тигельные, эксикатор, мельница, набор сит и т.д..

Перед основными опытами в соответствии с теорией планирования эксперимента проведены предварительные испытания с целью определения диапазона варьирования факторов (входных параметров) влажности и доли нефтепродуктов, в котором возможно получение твердого топлива.

За основные критерии качества принимались такие показатели, как вид, форма, вязкость сформированной массы брикета. Определили границы возможности получения твердого топлива, при которых брикетируемый состав продавливается через формующую фильеру, не теряет форму, поддается транспортировке и перемещению.

Установлено, что при влажности w брикетируемой смеси от 0,12 до 0,30 сформованная масса рассыпается самопроизвольно, в том числе и от механического воздействия авторезки. При ступенчатом увеличении влажности смеси от 0,30 в условиях неизменной доли нефтесодержащих отходов повышается производительность, и брикет соответствует принятым в эксперименте критериям его качества.

На производительность установки P наибольшее влияние оказывает влажность смеси w , увеличение которой более 0,6 приводит к невозможности получения сформованных брикетов, так как прессуемый материал выходит в пастообразном, обводненном состоянии и не сохраняет заданную форму, а также не поддается транспортировке.

В соответствии с теорией планирования принятый диапазон изменения влажности w и доли нефтепродуктов x был уменьшен и выбраны значения факторов, указанные в таблице 2.4.

Таблица 2.4. – Выбор значений факторов

Номер опыта	Параметр	
	Доля влажности в прессуемой смеси w	Доля нефтешламов в прессуемой смеси x
1	$w_{\max} = 0,440$	$x_{\max} = 0,240$
2	$w_{\max} = 0,440$	$x_{\min} = 0,160$
3	$w_{\min} = 0,360$	$x_{\max} = 0,240$
4	$w_{\min} = 0,360$	$x_{\min} = 0,160$
5	$w_{\alpha 1} = 0,457$	$x_{\alpha 1} = 0,200$
6	$w_{\alpha 2} = 0,343$	$x_{\alpha 2} = 0,200$
7	$w_{\alpha 3} = 0,400$	$x_{\alpha 3} = 0,257$
8	$w_{\alpha 4} = 0,400$	$x_{\alpha 4} = 0,143$
9	$w_0 = 0,400$	$x_0 = 0,200$

Кроме того, проведено исследование зависимости формы прессуемого оптимального компонентного состава на производительность. В ходе эксперимента изменяли формы матрицы-фильеры рабочего канала пресса с целью определения их влияния на производительность и качественные показатели, а также оптимальных условий упаковки, транспортировки получаемых брикетов.

Отбор образцов брикетов и их подготовку для лабораторных и механических испытаний производили в соответствии с ГОСТ 5396–77 и ГОСТ 11130–75.

Отобранные образцы прошли испытания с целью определения параметров плотности, прочности, теплоты сгорания полученного альтернативного топлива. В испытаниях использовались образцы различных компонентных составов, спрессованные под одним давлением, но при различной влажности, впоследствии высушенные до влажности $10 \pm 1 \%$.

Внешний вид исследуемых образцов брикетов представлен на рисунке 2.4.



Рисунок 2.4. – Внешний вид и варианты изготовленных образцов брикетов

В испытаниях по определению плотности высушенных образцов брикетированного твердого топлива использовали три случайно выбранных брикета-образца длиной 500 мм с допуском ± 5 мм. Диаметры исследуемых образцов измеряли с погрешностью ± 1 мм. Массу m_n отобранной пробы определяли путем взвешивания образцов с погрешностью не более 0,01 кг.

Обработка результатов измерения геометрических параметров и свойств для каждого из трех брикетов-образцов производилась согласно [78]. Объем брикета-образца V , м^3 , определяли по формуле

$$V = L (F - F_1), \quad (2.12)$$

где L – длина брикета-образца, м;

F – площадь поперечного сечения образца брикета, равная площади пуансона прессы, м^2 ;

F_1 – то же внутреннего отверстия ($F_1 = \pi d^2/4$), м^2 ;

d – диаметр внутреннего отверстия, м.

Плотность брикета ρ , $\text{кг}/\text{м}^3$, определяли по формуле

$$\rho = \frac{m_n}{V}, \quad (2.13)$$

где m_n – масса брикета-образца, кг;

V – объем брикета-образца, м^3 .

Итоговую плотность брикета находили как среднеарифметическое плотностей трех брикетов-образцов. Результаты расчетов округляли до 0,01 $\text{кг}/\text{м}^3$. Расхождение результатов вычислений составило ± 5 %.

Плотность исследуемых образцов брикета из опытной партии равна $0,85 \pm 0,04 \text{ кг}/\text{м}^3$.

Влажность брикета-образца определяли методом его высушивания в камере сушильного шкафа при температуре 103 ± 2 °С. Предварительно взвешенная тарелка с размещенным в ней исследуемым брикетом-образцом по-

мещалась в нагретый сушильный шкаф и сушилась при постоянной температуре в течение четырех часов. Затем тарелку с брикетом-образцом вынимали из шкафа, закрывали крышкой, охлаждали до комнатной температуры и производили контрольное взвешивание. После этого осуществляли контрольное подсушивание в течение 30 мин с последующим определением потери массы брикета-образца. Если потеря массы брикета-образца составляла более 0,1 г, производилась последующая контрольная сушка в течение 30 мин. Этот процесс продолжался до тех пор, пока разность в массе при двух последовательных взвешиваниях не превышала 0,1 г. Для расчета использовали данные последнего измерения массы.

Взвешивания производились с точностью до 0,1 г.

Массовая доля общей влаги W_i^r , %, брикета-образца твердого топлива определялась по формуле

$$W_i^r = \frac{m_1 - m_2}{m_2 - m} \cdot 100\% \quad (2.14)$$

где m – масса тарелки, г;

m_1 и m_2 – масса тарелки с брикетом-образцом соответственно до и после высушивания, г.

Среднеинтегральную влажность брикета находили как среднеарифметическое значение влажностей трех брикетов-образцов, участвующих в измерениях.

Зольность брикета-образца (степени минерализации) определяли методом прокаливания пробы в камере сушильного шкафа. В предварительно взвешенной тарелке с крышкой равномерно распределялась тщательно перемешанная проба, которая помещалась в муфельную печь при комнатной температуре. В течение 30 мин температура в печи повышалась до 500 °С. В последующие 30–60 мин температуру в печи повышали до (815 ± 15) °С и выдерживали пробу в течение 60 мин. После прокаливания тарелку накрывали крышкой и удаляли из печи. После охлаждения до комнатной температуры производилось взвешивание. Контрольное прокаливание проводилось до постоянной массы в течение нескольких 15-минутных периодов при (815 ± 15) °С, при которых повторялось взвешивание. Взвешивание пробы до и после озоления проводилось с точностью до 0,2 мг. Этот процесс продолжался до тех пор, пока разность в массе при двух последовательных взвешиваниях не превышала 0,001 г.

Зольность A^r , %, брикета-образца твердого топлива определяли по формуле

$$A^r = \frac{m_3 - m_1}{m_2 - m_1} \cdot 100\% \quad (2.15)$$

где m_1 – масса тарелки, г;

m_2 – то же с пробой, г;

m_3 – то же с золой, г.

Результаты определялись с точностью до 0,1 %.

Зольность сухого топлива A^d , %, рассчитывали по формуле

$$A^d = \frac{100 A^r}{100 - W_t^r} \cdot 100 \% . \quad (2.16)$$

Обработку экспериментальных данных проводили методами математической статистики [79].

Низшую удельную теплоту сгорания Q_H , кДж/кг, определяли по формуле Д. И. Менделеева [80] (без учета теплоты, образующейся при конденсации водяных паров):

$$Q_H = 339C + 1030H - 109O + 109S - 25W, \quad (2.17)$$

где C , H , O и S – содержание в древесине углерода, водорода, кислорода и серы соответственно, %;

W – влажность топлива, %,

$$W = \frac{m - m_0}{m} \cdot 100\%, \quad (2.18)$$

где m – начальная масса образца;

m_0 – масса абсолютно сухого материала.

Низшая теплота сгорания для брикетированного твердого топлива, например с содержанием нефтешламов 25 %, влажностью 10 %, рассчитанная по формуле (2.17), составляла

$$Q_H = 21,0 \text{ МДж/кг (5,0 ккал/кг)}.$$

Теплота сгорания единицы массы брикета в пределах погрешности измерений незначительно зависит от породы используемых опилок, так как элементный химический состав различных пород древесины примерно одинаковый. В то же время установлено незначительное увеличение теплоты сгорания при использовании в компонентном составе с нефтешламами опилок хвойных пород по сравнению с использованием в составе древесных отходов из лиственных пород.

2.3 Определение коэффициентов уравнения регрессии

Для получения адекватной модели во всех точках факторного пространства функция отклика P аппроксимировались полиномом второго порядка вида

$$P = b_0 + b_1 z_w + b_2 z_x + b_{12} z_w z_x + b_{11} z_w^2 + b_{22} z_x^2 \quad (2.19)$$

где $b_0, b_1, b_2, b_{11}, b_{12}, b_{22}$ – коэффициенты уравнения регрессии для производительности P .

Реализованные четыре опыта полного факторного эксперимента типа 2^2 дополнялись результатами четырех опытов ($n_\alpha = 2 \cdot k = 2 \cdot 2 = 4$) в «звездных» точках и пяти опытов в центре плана. Из результатов опытов формируем матрицу ротатабельного равномер-планирования, представленную таблицей 2.5.

Таблица 2.5. – Матрица ротатабельного равномер-планирования

Содержание плана	Номер опыта	Фактор						Отклик системы
		z_0	z_w	z_x	$z_w z_x$	z_w^2	z_x^2	
Ядро плана	1	+1	-1	-1	+1	+1	+1	P_1
	2	+1	+1	-1	-1	+1	+1	P_2
	3	+1	-1	+1	-1	+1	+1	P_3
	4	+1	+1	+1	+1	+1	+1	P_4
«Звездные» точки	5	+1	+1,414	0	0	2	0	P_5
	6	+1	-1,414	0	0	2	0	P_6
	7	+1	0	+1,414	0	0	2	P_7
	8	+1	0	-1,414	0	0	2	P_8
Центр плана	9	+1	0	0	0	0	0	P_9
	10	+1	0	0	0	0	0	P_{10}
	11	+1	0	0	0	0	0	P_{11}
	12	+1	0	0	0	0	0	P_{12}
	13	+1	0	0	0	0	0	P_{13}

Величинам z_w и z_x в «звездных» точках 5, 6, 7 и 8 согласно формулам:

$$w = z_w \Delta w + w_0, \quad x = z_x \Delta x + x_0 \quad (2.20)$$

соответствуют значения влажности и доли нефтесодержащих отходов:

$$w_{\alpha 1} = \sqrt{2} \Delta w + w_0, \quad x_{\alpha 1} = 0 \Delta x + x_0; \quad (2.21)$$

$$w_{\alpha 2} = -\sqrt{2} \Delta w + w_0, \quad x_{\alpha 2} = 0 \Delta x + x_0; \quad (2.22)$$

$$w_{\alpha 3} = 0 \Delta w + w_0, \quad x_{\alpha 3} = \sqrt{2} \Delta x + x_0; \quad (2.23)$$

$$w_{\alpha 4} = 0 \Delta w + w_0, \quad x_{\alpha 4} = -\sqrt{2} \Delta x + x_0. \quad (2.24)$$

В соответствии с планом эксперимента были выполнены четыре факторных эксперимента типа 2^2 , четыре опыта ($n_\alpha = 2 \cdot k = 2 \cdot 2 = 4$) в «звездных» точках и пять экспериментов в центре плана, результаты которых приведены в таблице 2.6 [13–А].

Таблица 2.6. – Результаты измерения факторов и отзыва

Номер опыта	Параметр прессуемой смеси		Производительность установки P , рассчитанная после сушки брикета до влажности $w = 0,1$, кг/мин
	Влажность w	Доля x нефтешламов	
1	$w_{\max} = 0,440$	$x_{\max} = 0,240$	17,2
2	$w_{\max} = 0,440$	$x_{\min} = 0,160$	13,9
3	$w_{\min} = 0,360$	$x_{\max} = 0,240$	15,8
4	$w_{\min} = 0,360$	$x_{\min} = 0,160$	12,8
5	$w_{\alpha 1} = 0,457$	$x_{\alpha 1} = 0,200$	16,7
6	$w_{\alpha 2} = 0,343$	$x_{\alpha 2} = 0,200$	12,0
7	$w_{\alpha 3} = 0,400$	$x_{\alpha 3} = 0,257$	17,1
8	$w_{\alpha 4} = 0,400$	$x_{\alpha 4} = 0,143$	15,0
9	$w_0 = 0,400$	$x_0 = 0,200$	15,2
10	$w_0 = 0,400$	$x_0 = 0,200$	16,0
11	$w_0 = 0,400$	$x_0 = 0,200$	16,1
12	$w_0 = 0,400$	$x_0 = 0,200$	16,4
13	$w_0 = 0,400$	$x_0 = 0,200$	16,7

Коэффициенты квадратичного полинома $b_0, b_1, b_2, b_{11}, b_{12}, b_{22}$ определялись согласно [79]

$$b_0 = \frac{A}{N} \left[2\lambda^2(k+2) \sum_{i=1}^N P_i - 2\lambda c \left(\sum_{i=1}^N z_{w,i}^2 P_i + \sum_{i=1}^N z_{x,i}^2 P_i \right) \right], \quad (2.25)$$

где

$$c = \frac{n}{\sum_{j=1}^n x_{ij}^2}, \quad \lambda = \frac{nk}{(k+2)n_1} = \frac{k(n_1 + n_0)}{(k+2)n_1}, \quad A = \frac{1}{2\lambda[(k+2)\lambda - k]}; \quad (2.26)$$

n_0 – число опытов в центре плана;

n_1 – то же в остальных опытах;

A, λ, c – константы, табличные значения которых для $k = 2$ и «ядра» плана в виде полного факторного эксперимента 2^2 равны $A = 0,492, \lambda = 0,8125, c = 1,625$;

$N = 13$ – общее число опытов;

P_i – экспериментальные значения параметра P из всех 13 опытов, $i = 1, 2, \dots, 13$.

Коэффициенты при линейных слагаемых:

$$b_1 = \frac{c}{N} \cdot \sum_{i=1}^N z_{w,i} P_i ; \quad (2.27)$$

$$b_2 = \frac{c}{N} \cdot \sum_{i=1}^N z_{x,i} P_i . \quad (2.28)$$

Коэффициент при парных взаимодействиях

$$b_{12} = \frac{c^2}{N\lambda} \cdot \sum_{i=1}^N z_{w,i} z_{x,i} P_i . \quad (2.29)$$

Коэффициенты при квадратичных слагаемых:

$$b_{21} = \frac{A}{N} \left[c^2 [\lambda(k+2) - k] \sum_{i=1}^N z_{w,i}^2 P_i + c^2 (1-\lambda) \left[\sum_{i=1}^N z_{w,i}^2 P_i + \sum_{i=1}^N z_{x,i}^2 P_i \right] - 2\lambda c \sum_{i=1}^N P_i \right] ; \quad (2.30)$$

$$b_{22} = \frac{A}{N} \left[c^2 [\lambda(k+2) - k] \sum_{i=1}^N z_{x,i}^2 P_i + c^2 (1-\lambda) \left[\sum_{i=1}^N z_{w,i}^2 P_i + \sum_{i=1}^N z_{x,i}^2 P_i \right] - 2\lambda c \sum_{i=1}^N P_i \right] . \quad (2.31)$$

2.4 Статистический анализ результатов эксперимента и проверка адекватности модели брикетирования реальному процессу

Дисперсия выходного параметра P определялась по результатам пяти опытов ($i = 9, 10, 11, 12, 13$) в центре плана по формуле [81]

$$D_P = \frac{1}{n_0 - 1} \sum_{i=n_1}^N (P_i - \bar{P}_c)^2 , \quad (2.32)$$

где \bar{P}_c – математическое ожидание отклика системы в центре плана

$$\bar{P}_c = \frac{1}{n_0} \sum_{i=n_1}^N P_i . \quad (2.33)$$

Дисперсия свободного слагаемого уравнения регрессии для параметра P вычислялась по формуле

$$D_0 = \frac{2A\lambda^2(k+2)}{N} D_P . \quad (2.34)$$

Дисперсия коэффициентов при линейных членах:

$$D_1 = \frac{c}{N} D_P; \quad D_2 = \frac{c}{N} D_P. \quad (2.35)$$

Дисперсия слагаемого при парных взаимодействиях

$$D_{12} = \frac{c^2}{\lambda N} D_P. \quad (2.36)$$

Дисперсия квадратичных слагаемых определялась по формулам:

$$D_{21} = \frac{Ac^2[\lambda(k+1) - (k-1)]}{N} D_P; \quad (2.37)$$

$$D_{22} = \frac{Ac^2[\lambda(k+1) - (k-1)]}{N} D_P. \quad (2.38)$$

Среднеквадратичные ошибки нахождения коэффициентов уравнения регрессии рассчитывались по формулам:

$$\sigma_0 = \sqrt{D_0}; \quad \sigma_1 = \sqrt{D_1}; \quad \sigma_2 = \sqrt{D_2}; \quad \sigma_{12} = \sqrt{D_{12}}; \quad \sigma_{21} = \sqrt{D_{21}}; \quad \sigma_{22} = \sqrt{D_{22}}. \quad (2.39)$$

Табличное значение критерия Стьюдента при 5%-ном уровне значимости и числе степеней свободы $f = n_0 - 1 = 5 - 1 = 4$ составляет $t = 2,78$ [82].

Доверительные интервалы для коэффициентов уравнения регрессии определялись из выражений:

$$\Delta b_0 = t\sigma_0; \quad \Delta b_1 = t\sigma_1; \quad \Delta b_2 = t\sigma_2; \quad \Delta b_{12} = t\sigma_{12}; \quad \Delta b_{21} = t\sigma_{21}; \quad \Delta b_{22} = t\sigma_{22}. \quad (2.40)$$

Если все коэффициенты уравнения регрессии по абсолютной величине больше своих доверительных интервалов, то уравнение регрессии, полученное в результате ротатабельного планирования второго порядка, запишется в виде

$$P = b_0 + b_1 z_w + b_2 z_x + b_{12} z_w z_x + b_{11} z_w^2 + b_{22} z_x^2. \quad (2.41)$$

Для оценки значимости коэффициентов регрессии и проверки адекватности разработанной математической модели вычислялось значение критерия Фишера [83, 84]

$$F_p = \frac{D_a}{D_p}, \quad (2.42)$$

где D_a – дисперсия адекватности [85] :

$$D_a = \frac{S_r - S_e}{f}; \quad (2.43)$$

$$f = N - k_p - (n_0 - 1) = 3, \quad (2.44)$$

где k_p – количество значимых коэффициентов модели, $k_p = 6$, $N = 13$,

$$S_E = \sum_{i=9}^{13} (P_a - y_i)^2; \quad (2.45)$$

$$S_R = \sum_{i=1}^{13} (\theta_i - y_i)^2. \quad (2.46)$$

Если

$$F_p < F_t, \quad (2.47)$$

где F_t – табличное значение критерия Фишера при 5%-ном уровне значимости и числе степеней свободы для большей дисперсии D_p [84],

$$f = n_0 - 1 = 4 \quad (2.48)$$

и для меньшей дисперсии D_a , то построенная модель адекватна изучаемому процессу.

Уравнение регрессии позволяет вычислить значение функции $P(z_w, z_x)$ не только в девяти точках плана, но и в любой точке факторного пространства.

Следовательно, выражение

$$\theta_i = b_0 + b_1 z_{w,i} + b_2 z_{x,i} + b_{12} z_{w,i} z_{x,i} + b_{21} z_{w,i}^2 + b_{22} z_{x,i}^2, \quad (2.49)$$

где i – номер точки плана, $i = 1, 2, \dots, 13$, можно продолжить на всю область значений факторов z_w и z_x факторного пространства.

Тогда функция двух переменных z_w и z_x имеет вид

$$P_z(z_w, z_x) = b_0 + b_1 z_w + b_2 z_x + b_{12} z_w z_x + b_{21} z_w^2 + b_{22} z_x^2. \quad (2.50)$$

Если в этой формуле перейти от безразмерных факторов z_w и z_x к размерным w и x , подставив в уравнение для $P_z(z_w, z_x)$ выражения для z_w и z_x согласно (2.6) и (2.7), то получим

$$b_0 + b_1 \left(\frac{w - w_0}{\Delta w} \right) + b_2 \left(\frac{x - x_0}{\Delta x} \right) + b_{12} \frac{w - w_0}{\Delta w} \frac{x - x_0}{\Delta x} + b_{21} \left(\frac{w - w_0}{\Delta w} \right)^2 + b_{22} \left(\frac{x - x_0}{\Delta x} \right)^2. \quad (2.51)$$

Преобразовав данное соотношение в полином относительно степеней w и x , получим искомое уравнение регрессии [12–А]

$$P(w, x) = \beta_0 + \beta_1 w + \beta_2 x + \beta_{21} wx + \beta_{21} w^2 + \beta_{22} x^2, \quad (2.52)$$

где

$$\beta_0 = b_0 - \frac{b_1 w_0}{\Delta w} - \frac{b_2 x_0}{\Delta x} + \frac{b_{12} w_0 x_0}{\Delta w \Delta x} + \frac{b_{21} w_0^2}{\Delta w^2} + \frac{b_{22} x_0^2}{\Delta x^2};$$

$$\beta_1 = \frac{b_1}{\Delta w} - \frac{b_{12} x_0}{\Delta w \Delta x} - \frac{2b_{21} w_0}{\Delta w^2}; \quad \beta_2 = \frac{b_2}{\Delta x} - \frac{b_{12} w_0}{\Delta w \Delta x} - \frac{2b_{22} x_0}{\Delta x^2};$$

$$\beta_{12} = \frac{b_{12}}{\Delta w \Delta x}; \quad \beta_{21} = \frac{b_{21}}{\Delta w^2}; \quad \beta_{22} = \frac{b_{22}}{\Delta x^2}.$$

Уравнение регрессии получено в виде

$$P(w, x) = -96 + 0,50 \cdot 10^2 w + 21,8x + 44,9wx - 0,59 \cdot 10^2 w^2 - 58x^2. \quad (2.53)$$

Построенная модель адекватна исследуемому процессу, так как выполнилось неравенство

$$F_p < F_t,$$

где F_t – табличное значение критерия Фишера при 5 %-ном уровне значимости; F_p – критерий Фишера, рассчитанный по формуле (2.40).

Производительность P , кг/мин, установки, рассчитанная после сушки брикета до влажности $w = 0,1$ в зависимости от доли нефтешламов x в прессуемой смеси, изображена на рисунке 2.5.

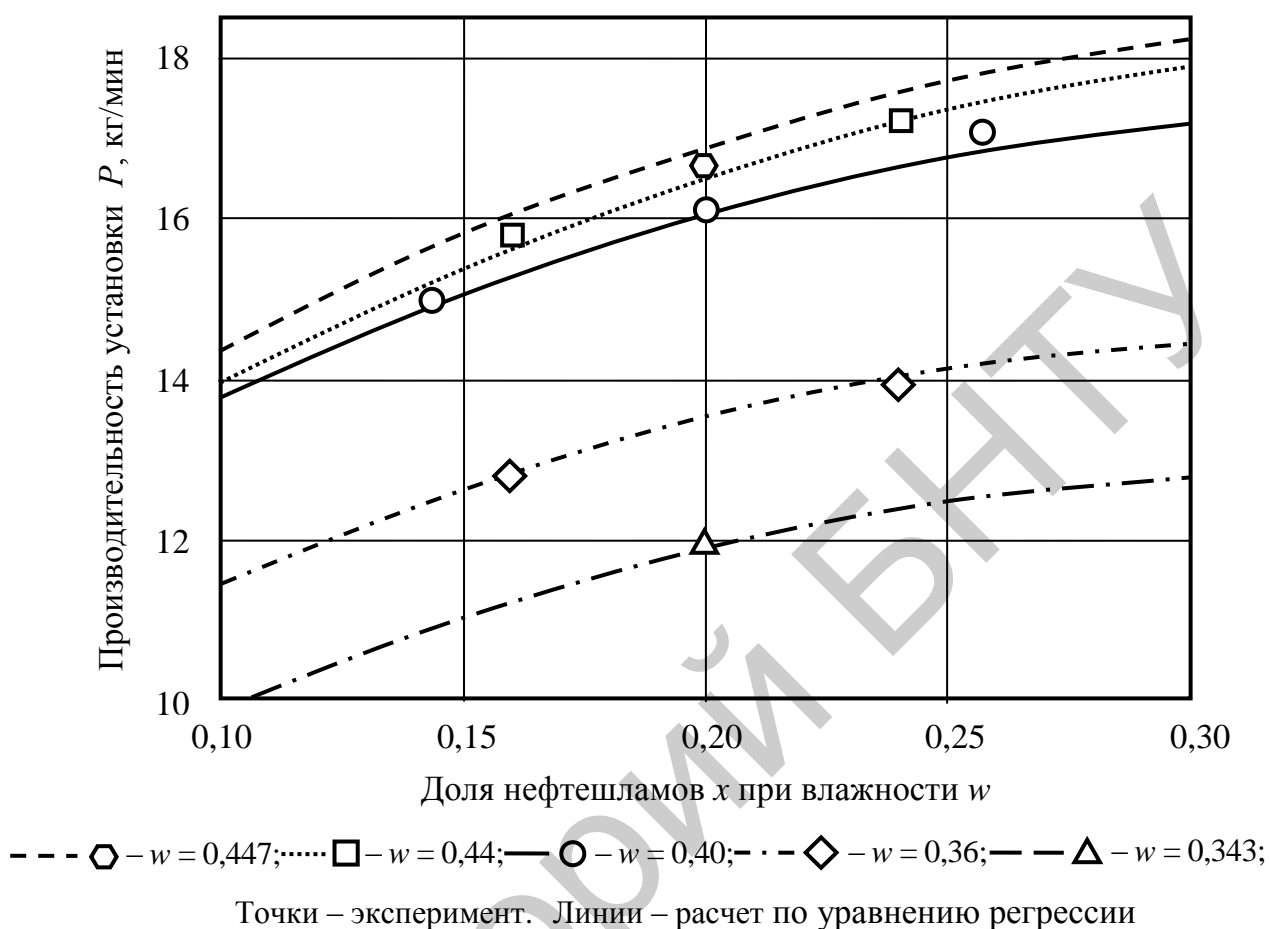


Рисунок 2.5. – Сравнение расчетных и экспериментальных данных для зависимости производительности P установки от доли нефтепродуктов x

Из данных, представленных на рисунке 2.5, следует, что с ростом доли x нефтешламов в прессуемой смеси производительность P установки для получения брикетированного твердого топлива увеличивается [9-А].

Связь производительности P установки, пересчитанной на массу готового брикета после сушки с влажностью 10 %, и влажности w прессуемой смеси изображена на рисунке 2.6.

Согласно построенным зависимостям с ростом доли x нефтешламов в прессуемой смеси производительность P установки повышается, а с увеличением влажности w прессуемой смеси в диапазоне от $w = 0,30$ до $w = 0,45$ возрастает, а от $w = 0,45$ до $w = 0,60$ уменьшается.

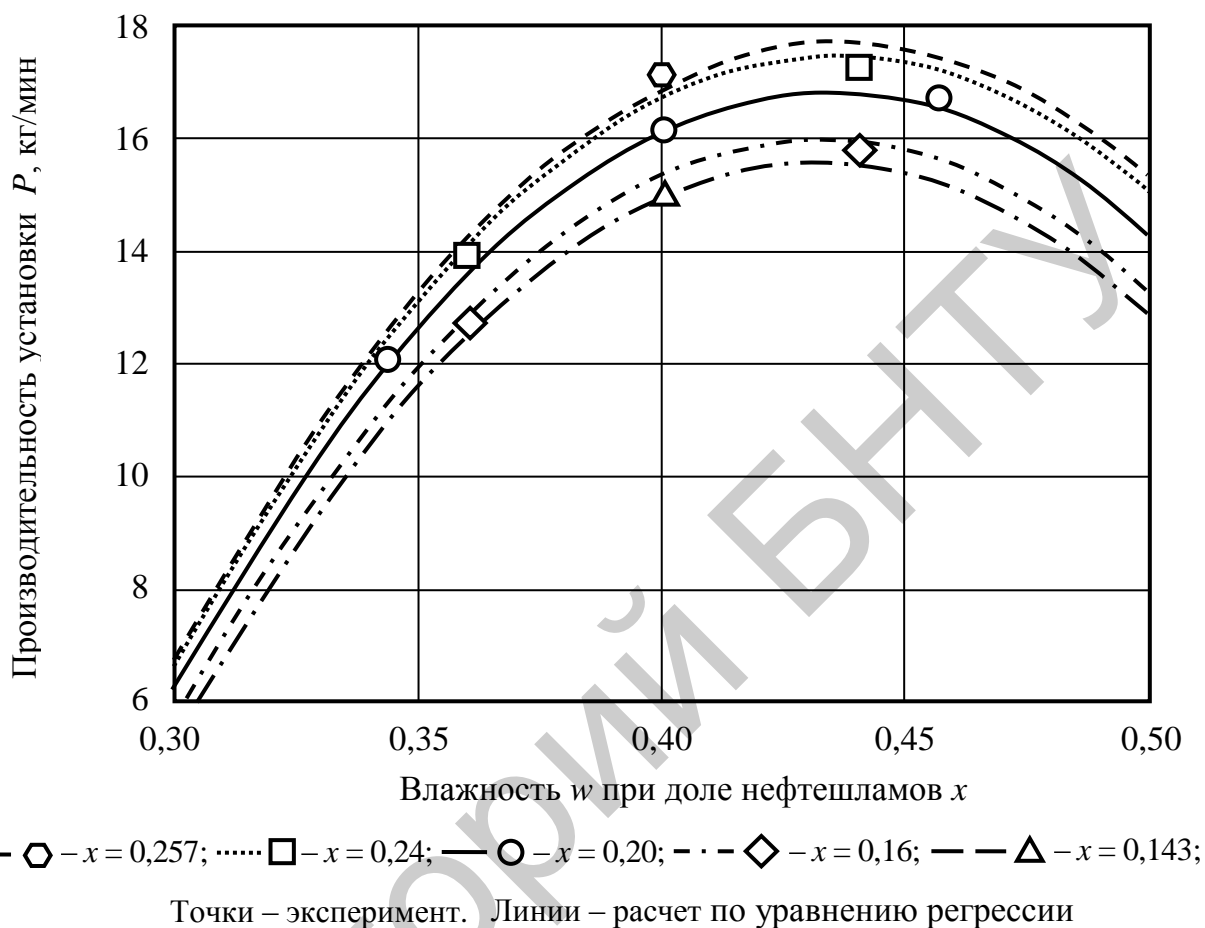


Рисунок 2.6. – Сравнение расчетных и экспериментальных данных для зависимости производительности P установки от влажности в сечении $x = 0,22$

На рисунке 2.7 представлена зависимость производительности P от влажности w и доли нефтешламов x согласно уравнению регрессии (2.51) в виде поверхности в трехмерной системе координат [9–А].

Из результатов опытов следует, что с повышением влажности w прессуемой смеси производительность P установки для получения твердого топлива в диапазоне $w = 0,30–0,43$ увеличивается, а в диапазоне $w = 0,43–0,50$ уменьшается.

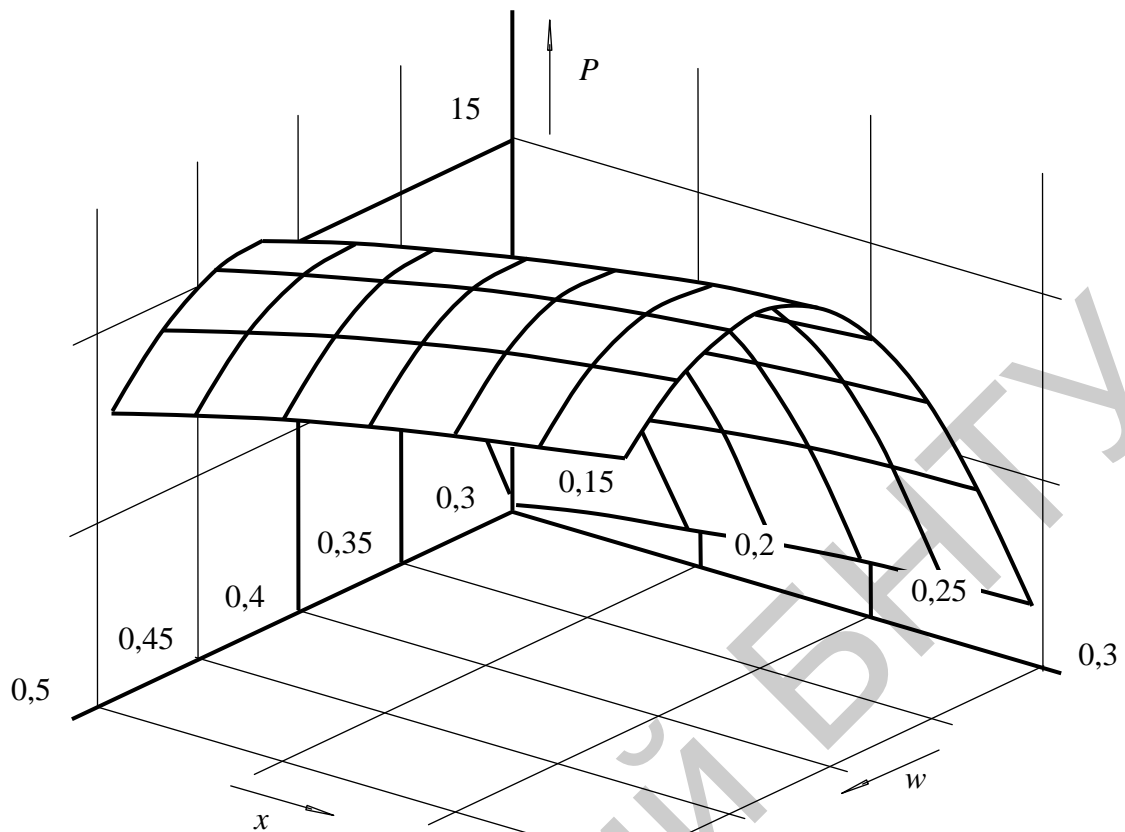


Рисунок 2.7. – Зависимость производительности P от влажности w и доли нефтешламов x в трехмерной системе координат

Во всем исследованном диапазоне изменения влажности w и доли нефтепродуктов полученное уравнение регрессии для нахождения производительности установки P согласуется с результатами эксперимента.

Результаты сравнения элементных составов горючей массы для различных видов топлива приведены в таблице 2.7.

Таблица 2.7. – Элементные составы горючей массы различных видов топлива

Вид топлива	Рабочий состав топлива (по массе), %				
	Углерод, С	Кислород, O ₂	Водород, H ₂	Азот, N ₂	Сера, SO ₂
Твердое топливо с содержанием нефтешламов 25 % *	61,42	31,05	6,43	0,33	0,77
Твердое топливо с содержанием смеси отработанных нефтепродуктов 30 % *	58,88	36,09	4,56	0,20	0,27
Дрова	51,00	42,30	6,10	0,60	–
Торф	58,00	33,60	6,00	2,10	0,30

* Приведенные в таблице данные получены в аналитической лаборатории РУП «Белгослес». Аттестат аккредитации № ВУ/112 02.1.0.0417.

Выводы

1. С использованием теории планирования эксперимента разработана математическая модель технологического процесса в установке для получения твердого топлива для локальных систем теплоснабжения на основе нефтедревесных отходов.

2. Получено уравнение регрессии исследуемого процесса.

3. Определены дисперсия выходного параметра P , среднеквадратичные ошибки, доверительные интервалы, значение критерия Фишера F_p . Из результата сравнения значения F_p и табличного значения критерия Фишера F_t при 5%-ном уровне значимости, числе степеней свободы $f = 4$ следует, что представленная модель адекватна изучаемому процессу.

4. В результате основанного на теории планирования эксперимента исследования процесса брикетирования смеси древесных отходов и нефтешламов установлено, что при получении разработанного твердого топлива производительность шнекового пресса при формовании брикетов достигает максимального значения при влажности формуемой смеси, равной $43,4 \pm 0,9$ %, в пределах изменения доли нефтешламов от 10 до 30 %; при этом в диапазоне влажности прессуемой смеси до 30 и свыше 50 % получение качественного топлива не обеспечивается.

ГЛАВА 3

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ РАСПРОСТРАНЕНИЯ ВЫБРОСОВ ПРИ СЖИГАНИИ АЛЬТЕРНАТИВНОГО ТВЕРДОГО ТОПЛИВА

3.1 Построение математической модели образования выбросов при сжигании двухкомпонентного твердого топлива

В процессе горения топлива, наряду с выделением теплоты, с отходящими газами удаляется ряд веществ, оказывающих отрицательное воздействие на окружающую среду. Их характеристики представлены в таблице 3.1.

Таблица 3.1. – Основные вещества, выбрасываемые в атмосферу энергетическими объектами [86]

Наименование	Характеристика
Диоксид серы (SO ₂)	Вызывает окисление, разрушает материалы и вредно воздействует на здоровье человека (раздражает слизистую оболочку дыхательных путей). Используется для генерации ряда химикатов и консервирования фруктов
Оксид азота (NO ₂)	Оказывает вредное воздействие на здоровье человека, способствует образованию парникового эффекта и разрушению озонового слоя, что также отрицательно. Вызывает «вымирание лесов», «кислотные дожди»
Монооксид углерода (CO)	Выделяется при неполном сгорании топлива, взаимодействует с другими веществами, оказывает разнообразное вредное воздействие (угарный газ). Является высококалорийным топливом в процессе газификации угля
Углекислый газ (CO ₂)	Наличие CO ₂ – необходимое условие процесса горения (производства энергии). Однако экологические законы ограничивают уровень выбросов CO ₂ (протокол, принятый в Киото в 1997 г.). Способствует созданию парникового эффекта. Применяется в пищевой и холодильной промышленности
Твердые частицы	Сажа и другие несгоревшие материалы. Переносят тяжелые металлы и углеводороды, могут быть источниками выбросов в атмосферу радионуклидов, например, при сжигании древесины из Чернобыльской зоны

На окружающую среду воздействуют также и другие газы, поступающие в атмосферу: пар, метан, хладагенты. Однако основное влияние оказывают соединения, представленные в таблице 3.1.

В результате проведения экспериментального исследования процесса брикетирования получено уравнение регрессии и установлено, что производительность этого процесса достигает максимального значения при влажности посту-

пающей в шнековый пресс смеси $43,4 \pm 0,9 \%$ в диапазоне изменения доли нефтешламов от 10 до 30 % в смеси. В то же время с ростом доли нефтешламов в сформированном брикете увеличивается по линейному закону прямо пропорционально теплота его сгорания. Однако с повышением доли нефтешламов в брикете при его сжигании растет количество выбросов вредных веществ. Другими словами, доля нефтешламов в брикете ограничена экологическими требованиями, заключающимися в том, что безразмерная максимальная концентрация выбросов при эксплуатации котельной должна быть меньше единицы. Поэтому стоит задача изучения влияния доли нефтешламов в брикете построения модели распространения выбросов при сжигании разработанного топлива из одиночного источника с целью установления величины доли нефтешламов, которая учитывает экологические требования.

Построение модели сжигания основывается на методиках, изложенных в [87]. Модель сжигания топлива, включающая несколько компонентов, подобна модели для случая двухкомпонентного твердого топлива.

Низшая рабочая теплота сгорания двухкомпонентного брикета Q , МДж/кг, определяется по формуле

$$Q(x_1, x_2) = Q_1 x_1 + Q_2 x_2, \quad (3.1)$$

где x_1 – массовая доля древесных отходов в брикете;

x_2 – то же нефтесодержащих отходов в брикете.

Расчетный расход B , кг/с, брикетированного топлива при максимальной нагрузке котла выражается формулой

$$B = \frac{100N}{[Q_1 x_1 + Q_2 (1 - x_2)] \eta_k} \quad (3.2)$$

где N – расчетная нагрузка котла при сжигании брикетов, МВт;

η_k – коэффициент полезного действия котла, $\eta_k = 67-90 \%$. Принимаем $\eta_k = 80 \%$.

3.2 Расчет расхода выбросов оксидов азота, диоксидов серы (диоксида серы), монооксида углерода и твердых частиц при сжигании двухкомпонентного брикетированного топлива

Для расчета максимального количества оксидов азота G_{1,NO_x} , кг/с, при сгорании древесный отходов использовалась формула [89]

$$G_{1,NO_x} = B_{1,s} Q_1 K_{1,NO_x} \beta_p, \quad (3.3)$$

где

$$B_{1,s} = \left(1 - \frac{q_{41}}{100}\right) x_1 B, \quad (3.4)$$

где q_{41} – коэффициент, зависящий от типа топки и топлива, $q_{41} = 1,5$;

K_{1,NO_2} – удельный выброс оксидов азота, г/МДж, определяемый по формуле

$$K_{1,NO_x} = 10^{-3} H_{1,T} K_{1,T} \alpha_T \sqrt{B_{1,s} Q_1^3}, \quad (3.5)$$

где $H_{1,T}$, $K_{1,T}$, α_T и β_p – коэффициенты, значения которых приведены в [89].

Примечание. NO_x – собирательное название оксидов азота NO и NO_2 .

С учетом (3.4) и (3.5) формула (3.3) для расчета максимального расхода оксидов азота G_{1,NO_x} , кг/с, сгорания в котлах производительностью до 25 МВт древесных отходов принимает вид

$$G_{1,NO_x} = \left(1 - \frac{q_{41}}{100}\right) \frac{100N}{[Q_1 x_1 + Q_2 (1 - x_1)] \eta_k} \times \\ \times x_1 Q_1 \left[10^{-3} H_{1,T} K_{1,T} \alpha_T \sqrt{\left(1 - \frac{q_{41}}{100}\right) \frac{100N}{[Q_1 x_1 + Q_2 (1 - x_1)] \eta_k} x_1 Q_1^3} \right] \beta_p. \quad (3.6)$$

где согласно [89] $H_{1,T} = 14,3$; $K_{1,T} = 0,4$; $\alpha_T = 1,5$; $\beta_p = 1$.

В случае сгорания в котлах производительностью до 25 МВт нефтесодержащих отходов максимальный расход G_{2,NO_x} , г/с, оксидов азота определяем по формуле, структура которой подобна формуле (3.6):

$$G_{2,NO_x} = \left(1 - \frac{q_{42}}{100}\right) (1 - x_1) \frac{100N}{[Q_1 x_1 + Q_2 (1 - x_1)] \eta_k} \times \\ \times Q_2 \left[10^{-3} H_{2,T} K_{2,T} \alpha_T \sqrt{\frac{100N}{[Q_1 x_1 + Q_2 (1 - x_1)] \eta_k} (1 - x_1) Q_1^3} \right] \beta_p, \quad (3.7)$$

где согласно [89] $q_{42} = 0$, $H_{2,T} = 14,3$; $K_{2,T} = 0,4$; $\alpha_T = 1,5$; $\beta_p = 1$.

Для максимального расхода диоксидов серы (двуокиси серы) при сгорании древесных отходов справедлива формула

$$G_{1,SO_2} = 20 \frac{100N}{[Q_1 x_1 + Q_2 (1 - x_1)] \eta_k} x_1 S_{1,r} (1 - \eta_{s_1}) (1 - \eta_{s_2}), \quad (3.8)$$

где согласно [89] $\eta_{s_1} = 0,55$, $S_{1,r} = 0,05$.

Подобная формула для максимального расхода диоксида серы (двуокиси серы) при сгорании нефтесодержащих отходов имеет вид

$$G_{2,\text{SO}_2} = 20 \frac{100N}{[Q_1x_1 + Q_2(1-x_1)]\eta_k} (1-x_1)S_{2,r}(1-\eta_{s_1})(1-\eta_{s_2}), \quad (3.9)$$

где согласно [89] $\eta_{s_2} = 0,1$; $S_{2,r} = 1,55$.

Максимальный расход монооксида углерода при сгорании древесных отходов рассчитываем по формуле

$$G_{1,\text{CO}} = \frac{100N}{[Q_1x_1 + Q_2(1-x_1)]\eta_k} x_1C_{1,\text{CO}}, \quad (3.10)$$

а при сгорании нефтесодержащих отходов – по формуле

$$G_{2,\text{CO}} = \frac{100N}{[Q_1x_1 + Q_2(1-x_1)]\eta_k} (1-x_1)C_{2,\text{CO}}, \quad (3.11)$$

где $C_{1,\text{CO}} = q_{13}R_1Q_1$; $q_{13} = 0,3$; $R_1 = 1$; $C_{2,\text{CO}} = q_{23}R_2Q_1$; $q_{23} = 0,2$; $R_2 = 0,825$.

Для расчета выбросов твердых частиц применяем формулу [89]

$$G = 10B(1-\eta_{1,c}) \left(\alpha_{ab}A_r + q_{ab} \frac{Q}{\tau} \right), \quad (3.12)$$

где A_r – доля твердых частиц, улавливаемых в золоуловителях, $A_r = 5$; τ – безразмерная константа, $\tau = 32,68$.

В случае сгорания древесных отходов эта формула принимает вид

$$G_{1,PM} = 10 \frac{100N}{[Q_1x_1 + Q_2(1-x_1)]\eta_k} x_1(1-\eta_{1,c}) \left(\alpha_{1,ab}A_r + q_{1,ab} \frac{Q_1}{\tau} \right), \quad (3.13)$$

а в случае сгорания нефтесодержащих отходов – вид

$$G_{2,PM} = 10 \frac{100N}{[Q_1x_1 + Q_2(1-x_1)]\eta_k} (1-x_1)(1-\eta_{2,c}) \left(\alpha_{2,ab}A_r + q_{2,ab} \frac{Q_2}{\tau} \right), \quad (3.14)$$

где согласно [89, приложение В] $\alpha_{1,ab} = 0,2$; $q_{1,ab} = 0,7$; $\eta_{1,c} = 0,9$; $\alpha_{2,ab} = 0,05$, $q_{2,ab} = 0,02$; $\eta_{2,c} = 0,5$.

Таким образом, получены формулы для расчета расхода выбросов оксидов азота, диоксидов серы (двуокиси серы), монооксида углерода и твердых частиц при сжигании двухкомпонентного твердого брикетированного топлива.

3.3 Математическое моделирование распространения выбросов вредных веществ при сжигании двухкомпонентного брикетированного топлива

Максимальное значение приземной концентрации вредного вещества C_m , мг/м³, при выбросе газовой смеси из одиночного точечного источника с круглым устьем определяется по формуле [88, 89, 90, 91]

$$C_m = \frac{AGfn_e m_e \eta_e}{H^2 \sqrt[3]{V_1 \Delta T}}, \quad (3.15)$$

где A – коэффициент, с^{2/3}К^{1/3}мг/г, величина которого зависит от температурной стратификации атмосферы, $A = 160$;

G – расход выбросов вредного вещества, г/с;

f – безразмерный коэффициент, учитывающий скорость оседания вредных веществ в атмосферном воздухе, принимается для газов $f = 1$, для твердых частиц $f = 3$;

η_e – то же, учитывающий влияние рельефа местности;

n_e и m_e – безразмерные коэффициенты, учитывающие условия выхода газовой смеси из устья источника выбросов;

H – высота источника выброса над уровнем земли, м;

ΔT – разность между температурой выбрасываемой газовой смеси и температурой окружающего атмосферного воздуха, К;

H – высота одиночного точечного источника выбросов с круглым устьем, м;

V_1 – расход газовой смеси, м³/с,

$$V_1 = 1,1\alpha V_0 \frac{T_g}{273} B, \quad (3.16)$$

где V_0 – удельный объем газовой смеси, образующейся при сжигании 1 кг топлива, м³/кг;

T_g – температура газовой смеси, $T_g = 400$ К;

α – безразмерный коэффициент избытка воздуха $\alpha = 1,36$;

ΔT – разность между температурой выбрасываемой газовой смеси T_g и температурой окружающего атмосферного воздуха, $\Delta T = 120$ К;

Данная формула с учетом (3.2) примет вид

$$V_1 = \frac{4,03V_0\alpha(273 + T_g)N}{\eta_k [Q_1x_1 + Q_2(1 - x_1)]}. \quad (3.17)$$

Безразмерную максимальную приземную концентрацию q вредного вещества определим по формуле

$$q = \frac{C_m}{C_u},$$

где C_u – предельно допустимая концентрация этого вещества.

Тогда с учетом (3.15)) формула для безразмерной максимальной приземной концентрации q вредного вещества примет вид

$$q = \frac{AGfn_e m_e \eta_e}{C_u H^2 \sqrt[3]{V_1 \Delta T}}. \quad (3.18)$$

По мере увеличения доли опилок безразмерная концентрация q уменьшается, достигая минимального значения, а затем растет.

Таким образом, для расчета безразмерной максимальной приземной концентрации вредных веществ, образующихся при сгорании двухкомпонентного твердого топлива получена формула [7-А]

$$q(x_1) = \frac{0,1354 A F_M n_e m_e \eta_e N}{H^2 \sqrt[3]{\alpha V_0 T_g N [Q_1 x_1 + Q_2 (1 - x_1)]^2 \eta_k^2 \Delta T}} \times \\ \times [(q_{11}(x_1) + q_{12}(x_1)) + q_2(x_1) + q_3(x_1) + q_4(x_1)], \quad (3.19)$$

где

$$q_{11}(x_1) = \frac{\beta_p}{C_{uNO_x}} \left(1 - \frac{q_{41}}{100}\right) x_1 Q_1 \left[H_{1,T} K_{1,T} \alpha_T \sqrt{\left(1 - \frac{q_{41}}{100}\right) \frac{100N}{[Q_1 x_1 + Q_2 (1 - x_1)] \eta_k} x_1 Q_1^3} \right], \quad (3.20)$$

$$q_{12}(x_1) = \frac{\beta_p}{C_{uNO_x}} (1 - x_1) Q_2 \left[H_{2,T} K_{2,T} \alpha_T \sqrt{\frac{100N}{[Q_1 x_1 + Q_2 (1 - x_1)] \eta_k} (1 - x_1) Q_2^3} \right], \quad (3.21)$$

$$q_2(x_1) = \frac{20000}{C_{uSO_2}} [x_1 S_{1,r} + (1 - x_1) S_{2,r}] (1 - \eta_{s_1}) (1 - \eta_{s_2}), \quad (3.22)$$

$$q_3(x_1) = \frac{x_1 C_{1,CO} + (1 - x_1) C_{2,CO}}{C_{uCO}}, \quad (3.23)$$

$$q_4(x_1) = \frac{10000}{C_{uPM}} \left[x_1 (1 - \eta_{1,c}) \left(\alpha_{1,ab} A_r + q_{1,ab} \frac{Q_1}{\tau} \right) \right] +, \\ + \frac{10000}{C_{uPM}} \left[(1 - x_1) (1 - \eta_{2,c}) \left(\alpha_{2,ab} A_r + q_{2,ab} \frac{Q_2}{\tau} \right) \right]. \quad (3.24)$$

Пример, зависимости безразмерной приземной концентрации q от доли древесных отходов в брикете x_1 для оксидов азота представлен на рисунке 3.1[11-А].

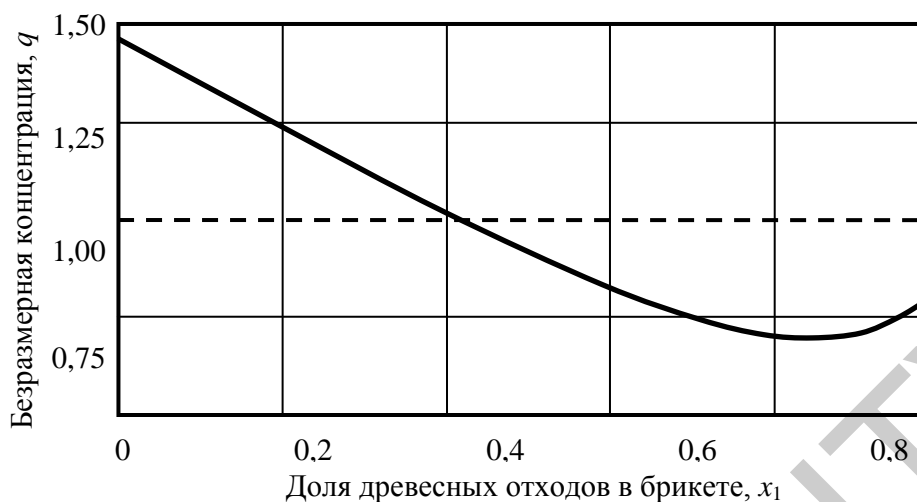


Рисунок 3.1. – Зависимость безразмерной концентрации q для NO_x от доли древесных отходов в брикете

Особенностью данного графика является наличие у кривой $q(x_1)$ минимума максимальной безразмерной приземной концентрации вредных выбросов [10–А].

Полученные аналитические зависимости вредных выбросов азота оксидов, серы диоксидов, углерода окиси, твердых частиц в единицу времени от доли нефтесодержащих отходов x в брикете для различных значений мощности N котельной показаны на рисунке 3.2.

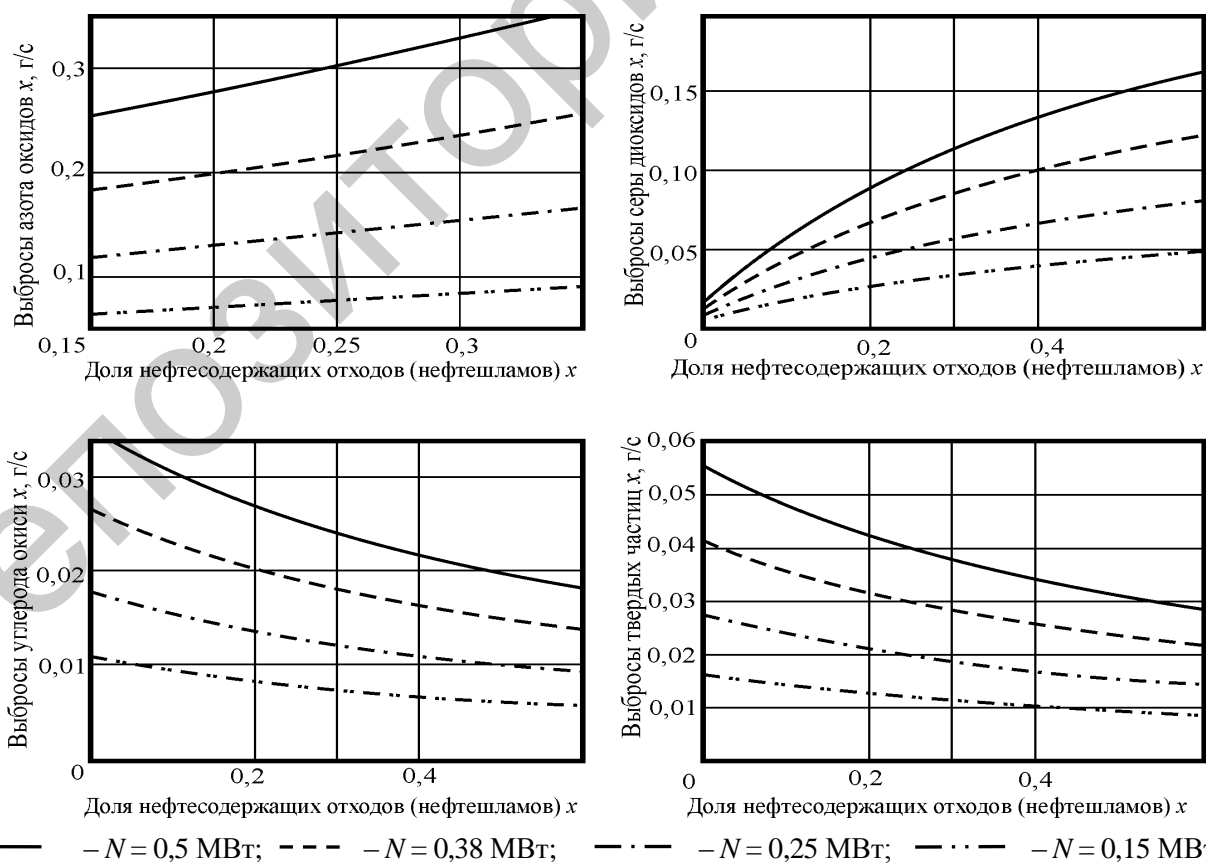


Рисунок 3.2. – Зависимость изменения выбросов от доли нефтесодержащих отходов x

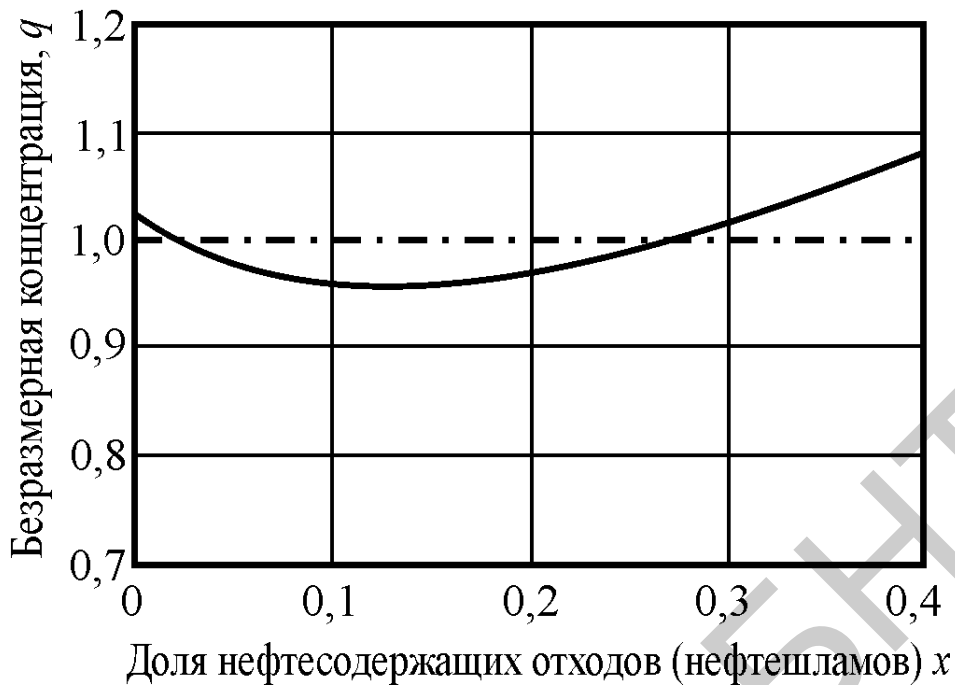


Рисунок 3.3. – Кривая зависимости безразмерной концентрации q от доли нефтешламов x при мощности котла 0,5 МВт

Полученная аналитическая зависимость максимальной безразмерной приземной концентрации q вредных выбросов от доли нефтесодержащих отходов x в брикете позволяет найти значение $x = x_m$, при котором безразмерная концентрация q вредных выбросов при сжигании брикетированного твердого топлива минимальна. Кроме того, эта зависимость дает возможность определить и диапазон значений x , в котором выполняется условие $q \leq 1$. Так, решение уравнения $q(x) = 1$ имеет при $N = 0,5$ МВт два корня: $x = 0,021$ и $x = 0,277$ (значения x , при которых кривая графика пересекается с линией $q = 1$). Это означает, что сжигание разработанного твердого топлива с долей нефтесодержащего компонента в брикете в диапазоне значений x от 0,021 до 0,277 удовлетворяет экологическим требованиям в силу того, что в этом диапазоне концентрация $q \leq 1$.

Таким образом, в результате математического моделирования процесса распространения выбросов оксидов азота, диоксида серы, монооксида углерода и твердых частиц при сжигании разработанного топлива в котлоагрегатах со слоевыми топками и нахождения аналитической зависимости (3.19) максимальной приземной безразмерной концентрации q вредных выбросов от доли нефтесодержащей компоненты x в брикетах установлено, что кривая зависимости $q(x)$ для двухкомпонентного твердого топлива имеет минимум концентрации q вредных выбросов при доле нефтешламов, равной 0,13 [5–А, 7–А, 12–А].

В главе 2 в результате анализа уравнения регрессии $P = P(w, x)$ было установлено, что при получении разработанного твердого топлива производительность P модернизированного шнекового пресса при формовании брикетов в диапазоне изменения влажности прессуемой смеси от 30 до 50 % достигает максимально-

го значения при влажности формуемой смеси, равной $43,4 \pm 0,9 \%$, в диапазоне изменения доли нефтешламов от 10 до 30 %.

В то же время с ростом доли x нефтесодержащего компонента в брикете увеличивается теплота сгорания топлива брикета. При этом при $x > x_m$ наблюдается рост максимальной безразмерной приземной концентрации q вредных выбросов. Такое поведение зависимости $q(x)$ позволяет сформулировать задачу оптимизации, заключающуюся в нахождении максимальной производительности P в условиях ограничения уровня выбросов вредных веществ при сгорании двухкомпонентного твердого топлива в котельной.

Данная задача оптимизации формулируется в виде

$$\begin{cases} P(w, x) \rightarrow \max; \\ q(x) \leq 1; \\ x_m < x < 0,3. \end{cases}$$

Ее решение было найдено с использованием системы компьютерной алгебры Mathcad. Так, зная мощность котельной, высоту источников выбросов, диаметр устья источника выбросов и другие параметры, используемые для расчета в соответствии с ТКП 17.08–01–2006, ОНД-86, в результате математического моделирования процесса распространения выбросов оксидов азота, диоксида серы, монооксида углерода и твердых частиц при сжигании разработанного топлива в котлоагрегатах со слоевыми топками определяется значение доли нефтесодержащего компонента, при котором максимальная приземная безразмерная концентрация вредных выбросов $q \leq 1$. При этом также можно находить производительность производства брикетов в установке со значениями параметров влажности w и нефтесодержащего компонента x , обеспечивающими экологичность производимого топлива.

Таким образом, разработан метод выбора при производстве брикетов твердого топлива параметров технологии, основанный на решении задачи максимизации производительности модернизированного шнекового пресса в виде уравнения регрессии в качестве целевой функции и полученной зависимости максимальной безразмерной концентрации выбросов от доли нефтесодержащего компонента в брикетах в качестве ограничения по экологическим требованиям уровня максимальной безразмерной концентрации q выбросов в диапазоне от 0,9 до 1,0.

3.4 Термодинамический анализ твердого топлива

В термин «энергосбережение» входит корень слова «энергия», но характеризует не сбережение энергии, а сбережение эксергии, так как энергия при любых ее превращениях подчиняется закону сохранения энергии.

Эксергия – свойство термодинамической системы, потока энергии, определяемое (характеризуемое) количеством работы (энергии, не характеризующейся энтропией), которая может быть получена внешним приемником энергии при обратимом их взаимодействии с окружающей средой до установления полного равновесия. При определении эксергии объект рассмотрения включает систему (поток энергии), окружающую среду, меру эксергии (работу), отдаваемую внешнему приемнику энергии, и те объекты внешней среды, которые могут являться приемником энергии [92].

Эксергия определяет качество или энергетическую эффективность вида энергии, другими словами, максимальную способность материи к совершению работы в таком процессе, конечное состояние которого определяется условиями термодинамического равновесия с окружающей средой.

В расчетах энергетической эффективности ряда систем целесообразно использовать эксергетический метод термодинамического анализа [93]. Для его реализации необходимо определение эксергии потоков, участвующих в функционировании системы, в том числе и эксергии топлив. Кроме того, и сама оценка энергетической ценности топлива связана с определением его эксергии, поскольку потребителя интересует не столько энергия, сколько эксергия приобретаемого топлива [94].

Учитывая то, что потребителя интересует энергетическая ценность топлива, а также влияние влажности и доли нефтесодержащих отходов на теплоту сгорания, в работе выполнен термодинамический анализ полученного топлива. Оценка энергетической ценности топлива связана с определением его эксергии, которая имеет три составляющие [95]:

$$e = e_{pT} + e_r + e_k, \quad (3.25)$$

где e_{pT} , e_r , e_k , МДж/кг, – термомеханическая, реакционная и концентрационная составляющие эксергии потока топлива соответственно.

Составляющие эксергии определяются по формулам:

– термомеханическая составляющая эксергии

$$e_{pT} = \sum_{i=1}^J \omega_j \left(\int_{T_0}^T c_{pj}(T) dT - T_0 \int_{T_0}^T \frac{c_{pj}(T)}{T} dT \right), \quad (3.26)$$

где ω_j – массовые доли компонентов твердого топлива;

J – количество его компонентов;

$c_{pj}(T)$ – удельные массовые, изобарные теплоемкости компонентов в интервале температур $T_0 - T$, МДж/(кг·К);

T_0 и T – температура окружающей среды и твердого топлива соответственно, K ;

– химическая составляющая эксергии

$$e_r = \sum_{i=1}^J \omega_j e_{\mu,j} \quad , \quad (3.27)$$

где $e_{\mu,j}$ – удельные массовые химические составляющие эксергии компонентов твердого топлива, в данном случае удельные массовые химические составляющие эксергии древесных и нефтесодержащих отходов [98].

Химическая составляющая эксергии твердого топлива рассматривается в [99–101] и рассчитывается по приближенным соотношениям. Для твердых топлив используется зависимость

$$e_{\mu} = Q_B^p (1 - w^p), \quad (3.28)$$

где Q_B^p – удельная массовая, высшая теплота сгорания твердого топлива на рабочую массу, МДж/кг.

Наиболее сложной задачей является нахождение концентрационной составляющей эксергии брикетированного твердого топлива, величина которой зависит от:

– удельной энергии адгезионного взаимодействия нефтесодержащих отходов, используемых при получении топлива;

– удельной поверхности древесных отходов (например, опилок), используемых при брикетировании твердого топлива;

– содержания нефтесодержащих отходов в модифицированном топливе.

Подобная задача расчета концентрационной составляющей эксергии решена для смеси, в состав которой входит нефтесодержащая фракция, близкая по групповому составу к используемым в данном случае отходам нефтепереработки [113].

Высшая теплота сгорания твердого топлива на рабочую массу может быть рассчитана по соотношению

$$Q_B^p = Q_H^p + 2,442[8,936H_c/100(1 - w^p/100)], \quad (3.29)$$

где H_c – массовая доля водорода в древесине, заданная на сухую массу;

Q_H^p – удельная массовая, низшая теплота сгорания твердого топлива на рабочую массу, МДж/кг. Для древесины может быть рассчитана по соотношению

$$Q_H^p = 18,42300 - 0,20935w^p, \quad (3.30)$$

где w – влажность древесины в долях на рабочую массу, $w^p = 0,20-0,60$,

Удельная массовая, высшая теплота сгорания нефтешламов Q_B^p , входящая в соотношение (3.28), может быть определена из данных свойств нефтешламов. Известно, что значение Q_B^p для нефтешламов находится на уровне 42 МДж/кг.

Концентрационной составляющей эксергии многокомпонентного твердого топлива можно пренебречь, поскольку ее величина находится в пределах погрешности определения химической составляющей эксергии топлива [2–А, 19–А].

С учетом изложенного можно получить зависимости эксергии брикетированного твердого топлива от основных факторов в самом общем случае для смеси древесины и тяжелой фракции нефтепродуктов от теплоты сгорания, приведенные на рисунке 3.3 [11–А, 13–А, 19–А].

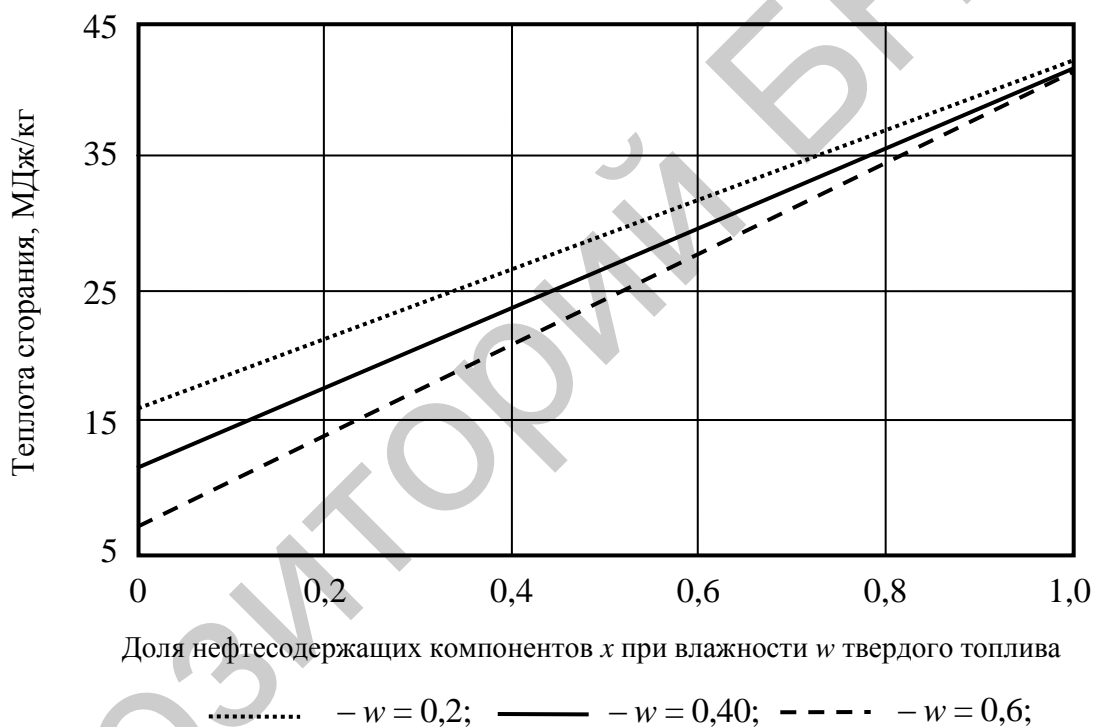


Рисунок 3.3. – Изменение химической составляющей эксергии твердого топлива в зависимости от влажности древесины и доли нефтесодержащего компонента

Полученные результаты востребованы при оценке термодинамической эффективности топливосжигающих установок при переходе на разработанное двухкомпонентное твердое топливо на базе современного метода термодинамического анализа – эксергетического метода. Они позволяют учесть влияние состава двухкомпонентного брикетированного твердого топлива на изменение его эксергии, что помогает прогнозировать термодинамическую эффективность перехода к его применению и обеспечивать на стадии производства необходимые характеристики [13–А, 19–А].

Выводы

1. В результате математического моделирования процесса распространения выбросов оксидов азота, диоксида серы, монооксида углерода и твердых частиц при сжигании разработанного топлива в котлоагрегатах со слоевыми топками котельной и нахождения аналитической зависимости максимальной безразмерной концентрации q выбросов от доли x нефтесодержащей компоненты в брикетах установлено, что кривая зависимости $q(x)$ для двухкомпонентного твердого топлива имеет минимум концентрации вредных выбросов q .

2. Разработан метод выбора при производстве брикетов твердого топлива параметров технологии, основанный на решении задачи максимизации производительности модернизированного шнекового пресса в виде уравнения регрессии в качестве целевой функции и полученной зависимости максимальной безразмерной концентрации выбросов от доли нефтесодержащего компонента в брикетах в качестве ограничения по экологическим требованиям до уровня максимальной безразмерной концентрации в диапазоне от 0,9 до 1,0.

3. Установлена зависимость эксергии твердого топлива для локальных систем теплоснабжения от его влажности брикета и доли нефтешламов в нем, востребованная при оценке термодинамической эффективности топливосжигающих установок при переходе на разработанное двухкомпонентное твердое топливо.

ГЛАВА 4

ТЕХНОЛОГИЯ ПРОИЗВОДСТВА ТВЕРДОГО ТОПЛИВА ДЛЯ ЛОКАЛЬНЫХ СИСТЕМ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ

4.1 Совершенствование технологической схемы производства твердого топлива на основе смеси древесных и вязких нефтесодержащих отходов

Для решения ряда принципиальных вопросов, в первую очередь возможности использования отходов нефтепродуктов при брикетировании, необходимы изменение и совершенствование технологических схем процессов производства твердого топлива методом брикетирования.

Описанный в главе 1 процесс брикетирования в упрощенном варианте состоит из последовательности операций, представленной на рисунке 4.1 [4–А].

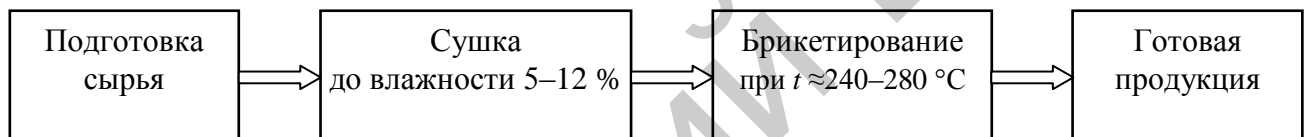


Рисунок 4.1. – Последовательность операций при традиционном способе брикетирования твердого топлива

Недостатком данной схемы, ограничивающей ее применение при переработке нефтесодержащих отходов, является необходимость нагрева формируемой массы сырья до температуры 220–260 °С для спекания смолы и лигнина, выделяемых при брикетировании древесных опилок под создаваемым прессом давлением.

С целью брикетирования нефтесодержащих и древесных отходов при производстве твердого топлива предложена схема последовательности операций, представленная на рисунке 4.2 [5–А].

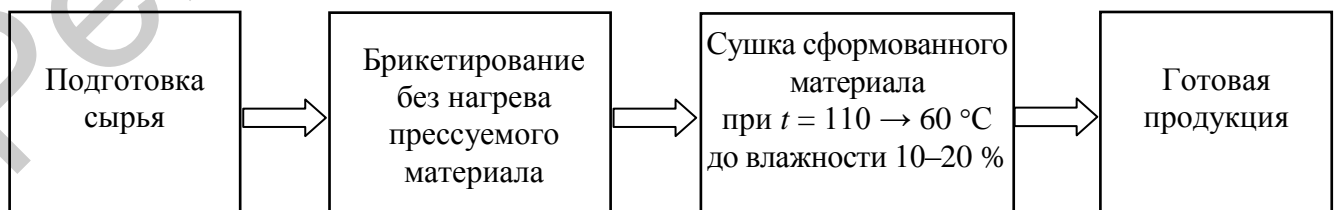


Рисунок 4.2. – Последовательность операций при предложенном способе брикетирования двухкомпонентного твердого топлива

Преимуществом такой схемы является исключение возможности самовоспламенения нефтесодержащих отходов при брикетировании топлива вследствие отсутствия нагрева формируемой смеси до высокой температуры. Сушку сформованного топлива производят в сушильных камерах, а в теплое время года – при температурах атмосферного воздуха.

Твердое топливо на основе смеси древесных и вязких нефтесодержащих отходов (многокомпонентное топливо), полученное предложенным способом в ходе выполнения диссертационной работы, зарегистрировано в национальном центре интеллектуальной собственности Республики Беларусь (патент Республики Беларусь на изобретение № 18408 (Приложение А) [14–А].

4.2 Устройство и принцип действия установки для производства твердого топлива на основе смеси древесных и вязких нефтесодержащих отходов

Опытно-промышленная установка представляет собой комплекс оборудования, позволяющего обеспечивать технологический процесс получения твердого топлива на основе смеси древесных и вязких нефтесодержащих отходов, включающий следующие этапы: подготовку отходов (сортировка – удаление металлических примесей и разноразмерной древесной массы) – измельчение (при необходимости) производится до размеров не более 5–10 мм; дозирование компонентов и перемешивание; прессование массы с применением шнекового пресса; сушку в естественных условиях или в сушильной камере [5–А].

Для разработки установки, реализующей схему, приведенную на рисунке 4.3, необходимо использовать следующее оборудование:

- транспортер-сито древесных отходов, позволяющий отделять крупные древесные фракции и механические примеси;
- железоотделитель металлических примесей в древесных отходах;
- измельчитель древесных отходов;
- сортирователь отходов, насыщенных нефтепродуктами;
- резервуар-отделитель механических примесей, содержащих в поступающих отходах нефтепродуктов;
- устройство электрогидравлической обработки нефтесодержащих отходов, состоящее из сосуда и электроустановки, преобразующей энергию в импульсы тока микросекундной длительности;
- дозатор, обеспечивающий равномерное, заданное поступление всех компонентов, необходимых для брикетирования;
- расходный бункер-смеситель;
- брикетировочный пресс-экструдер;

- авторезку;
- теплогенератор;
- сушильную камеру;
- навес для сушки брикетов в теплое время года.

Согласно разработанным в диссертации способам, компоненты топлива дозируются и поступают в расходный бункер-смеситель, в котором они смешиваются при естественной температуре до однородного состояния.

Подготовленная смесь характеризуется массовой влажностью w и долей x нефтесодержащих веществ в смеси.

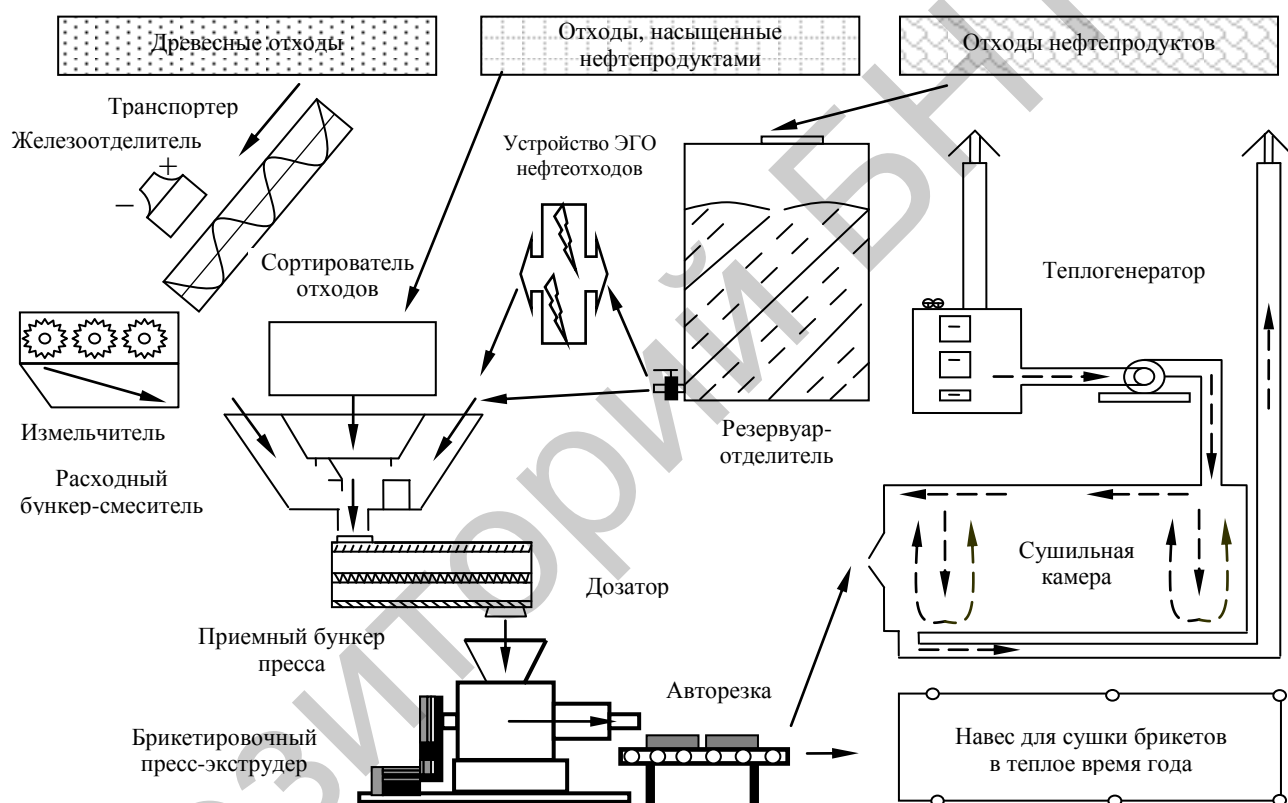


Рисунок 4.3. – Схема разработанной опытно-промышленной установки

Из бункера-смесителя смесь поступает в камеру шнекового прессы, в котором подающая часть шнека захватывает ее и продавливая в прессующую коническую втулку формирующей насадки шнекового прессы при давлении 20 МПа с одновременным образованием сквозного продольного отверстия в формируемом брикете.

Основные требования к исходному сырью:

- древесное сырье: опилки – не менее 70 % (допускается наличие мелких древесных частиц, коры размером до 8–10 мм и объемом не более 20 %);
- нефтеотходы – не более 30 %: нефтешламы, смесь отработанных нефтепродуктов [106] (исследовалось присутствие до 5 % промасленной ветоши, насыщенных нефтепродуктами сорбентов, таких как торф, мох, лигнин и т. п.).

Для использования разноразмерных древесных отходов в процессе получения твердого топлива в установку входит измельчитель, позволяющий дробить кусковые древесные отходы в мелкую древесную массу размером до 8 мм, пригодную для прессования.

В установке применяется при использовании нефтесодержащих отходов, насыщенных веществами различного происхождения, устройство электрогидравлической обработки нефтесодержащих отходов, позволяющее уменьшать содержание серы в используемых отходах, что в целом позволяет регулировать и обеспечивать допустимое содержание этих веществ в физико-химическом составе производимого топлива на экологически необходимом уровне.

Сущность работы этого устройства состоит в том, что во влажной среде нефтесодержащих отходов возникает высокое давление в результате специально сформированного импульсного (искрового, кистевого) высоковольтного электрического разряда между электродами, через которые происходят разряды. В соответствии с ранее проведенными исследованиями давление этих разрядов достигает 300 Мн/м^2 в рабочей среде (обычно в обводненной смеси или высоковлажной среде) [105]. Схематичное представление работы оборудования устройства электрогидравлической обработки нефтесодержащих отходов представлено на рисунке 4.4.

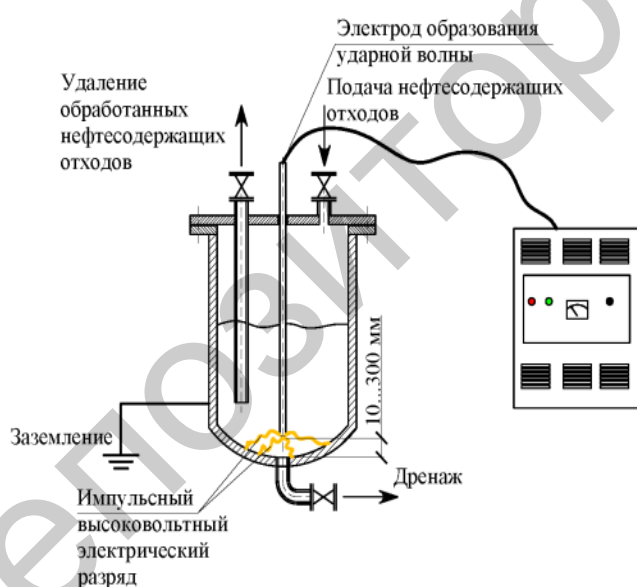


Рисунок 4.4. – Схема оборудования устройства электрогидравлической обработки нефтесодержащих отходов

Эксперименты на различных поступающих на переработку нефтесодержащих отходах (нефть, нефтешламы, нефтесодержащий шлам очистных сооружений и т.п.) показали, что при электрогидравлической обработке интенсивно отделяются разного рода вредные примеси, и прежде всего, сера. Сернистые

Это давление используется для механического воздействия на материал при их подготовке, что позволяет, задавая определенные параметры разрядов, производить обработку, очистку, эмульгацию, деэмульгацию, разделение и др. Энергия, необходимая для электрического разряда, накапливается в конденсаторах установки емкостью от 10 до 1500 мкф. В применяемой установке амплитуда ударной волны на расстоянии 10 мм от рабочего органа достигает 50–190 МПа с длительностью разряда не более 200 мкс.

соединения активно удаляются из обрабатываемого отхода (в зависимости от типа и вида поступающих отходов) в виде летучих соединений – сероводорода.

Внешний вид устройства, преобразующего энергию в импульсы тока микросекундной длительности для электрогидравлической обработки нефтесодержащих отходов, представлен на рисунке 4.5.



Рисунок 4.5. – Внешний вид устройства, преобразующего энергию в импульсы тока микросекундной длительности для электрогидравлической обработки нефтесодержащих отходов

Дозирование и перемешивание компонентов производятся с помощью расходного бункера-смесителя, представляющего собой два поступательно вращающихся шнека. Подача к нему отходов нефтепродуктов (мазута, нефтешламов, смеси отработанных нефтепродуктов) из накопительных резервуаров производится с помощью вакуумной установки УВ-50 (ОАО «Промприбор», РФ), выполненной во взрывозащитном исполнении и соответствующей классу безопасности при работе с нефтепродуктами.

Внесение опилок и перемешивание компонентов осуществляются до образования однородной массы.

Из расходного бункера-смесителя подготовленная однородная масса поступает через загрузочное окно прессы в формующую часть прессы-экструдера.

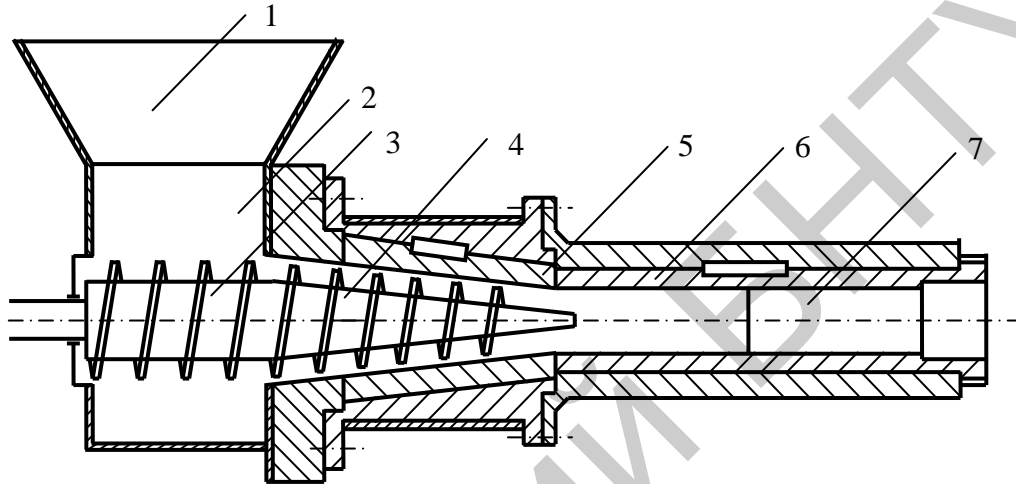
В процессе прессования однородная масса уплотняется под воздействием внешней нагрузки, создаваемой шнековым прессом за счет его вращения электродвигателем мощностью 27 кВт.

В отличие от технологии брикетирования сухих древесных опилок, при которой качественные показатели брикета достигаются за счет спекания, в предложенной технологии производства брикетированного твердого топлива методом непрерывного прессования нефтесодержащих отходов шнековый пресс уплотняет влажную массу смеси данных отходов с определенной влажностью.

Присутствующие в формуемой массе нефтесодержащие отходы являются связующим, которое придает формуемой массе пластичность, гидрофобные

свойства, а также позволяет повышать теплоту сгорания. Нефтедержащие отходы также выполняют функцию смазки, что способствует безостановочному (непрерывному) прохождению брикета в рабочем канале пресса.

Схема устройства модернизированного пресса-экструдера ПМТ-1 (пресс многокомпонентного топлива), предназначенного для производства твердого топлива на основе смеси древесных и вязких нефтедержащих отходов методом непрерывного прессования, показана на рисунке 4.6 [5–А].



1 – приемный бункер, 2 – камера, 3 – подающая часть шнека, 4 – прессующая часть шнека, 5 – коническая втулка, 6 – матрица-фильтра, 7 – рабочий канал

Рисунок 4.6. – Схема устройства пресса-экструдера для производства твердого топлива методом непрерывного прессования

Принципиальная схема работы пресса заключается в следующем: исходная смесь из нефтедревесных отходов поступает через приемный бункер 1 в камеру 2, где расположена вращающаяся подающая часть шнека 3, соединенная соосно с прессующей частью шнека 4, свободный торец которого входит в коническую втулку 5, переходящую в цилиндрическую формующую часть матрицы-фильтры 6, образуя рабочий канал 7.

По мере заполнения камеры 2 шнек 3 подает подготовленную смесь нефтедревесных отходов в образованную конической втулкой 5 приемную часть рабочего канала 7, в которой происходит прессование и выдавливание смеси в выходную часть рабочего канала. Усилия от прессующей части шнека 4 направлены по оси и в вертикальной плоскости.

В устье рабочего канала происходит формирование брикета под давлением, достигающим 20 МПа. На коническую поверхность втулки 6 действуют большие усилия, вследствие чего возникают силы сопротивления в виде сил трения. Давления прессующего шнека способствуют уплотнению смеси по всему сечению. Под действием сил сжатия происходит уплотнение формируемой влажной массы смеси нефтедревесных отходов.

В процессе предварительных испытаний пресса обнаружено, что качество сформованного прессом брикета зависит от влажности смеси нефтедревесных отходов, загружаемых в приемный бункер пресса. При влажности до 30 % пресуемая масса не формуется (забивается рабочий канал, нагрев до 120 °С конической втулки 5 и матрицы-фильеры 6 пресса с последующим «выстрелом» смеси за счет образовавшегося пара от сил трения и давления в формирующей части). По мере роста влажности смеси производительность пресса сначала растет, достигает максимума, а потом уменьшается. Причем при влажности более 60 % формуемая масса становится пастообразной и не сохраняет заданную форму, что не позволяет получать брикет, пригодный для транспортировки и сушки.

На выходе из рабочего канала пресса температура брикета повышается на 9,5–18,0 °С от начальной температуры подготовленной к брикетированию массы, подаваемой в пресс, что удовлетворяет требованиям пожаробезопасности.

В то же время небольшое повышение температуры способствует ускорению сушки изготовленных брикетов, а форма хвостовика прессующего шнека – также повышению плотности брикета.

На выходе из шнекового пресса сформованная лента брикета разрезается на части длиной 500 ± 5 мм.

Готовые брикеты укладываются в контейнеры, изготовленные из металлической сетки с ячейками 50 × 50 мм, которые перемещаются под навес для сушки в естественных условиях или в сушильную камеру для досушки.

Производственная линия смонтирована на производственных площадях ОДО «ТеплоБел» в г. Речице Гомельской области, передвижная установка УПНДО-0,35 и способы сушки сформованного топлива, представлены на рисунках 4.7–4.10.



Рисунок 4.7. – Вид прессующей установки ПМТ-1



Рисунок 4.8. – Установка передвижная УПНДО-0,35 в работе



Рисунок 4.9. – Исследования процесса сушки в естественных условиях



Рисунок 4.10. – Вид контейнеров с топливом в сушильной камере

На созданной опытно-промышленной установке для получения твердого топлива на основе нефтедревесных отходов, показанной на рисунке 4.3 и 4.7, были выполнены основные экспериментальные исследования [1–А, 2–А, 6–А].

4.3 Разработка составов топлива и исследование их свойств

По результатам исследования разработана технология получения брикетированного твердого топлива, позволяющая, по сравнению с известными способами, уменьшить энергозатраты на производство топлива и подготовку сырья, предотвратить самовозгорание при использовании нефтесодержащих компонентов, расширить гамму местных видов топлива с использованием отходов производства, улучшить физико-механические и термодинамические характеристики топлива, увеличить продолжительность его хранения, обеспечить утилизацию отходов промышленного производства. Дальнейшей задачей исследования являются необходимость анализа теплотворных характеристик и разработка оптимальных составов твердого топлива.

Как известно, топливом является вещество, из которого с помощью той или иной реакции может быть получена теплота.

Основной показатель реакции топлива – теплота сгорания (теплотворная способность).

В странах СНГ для сравнения видов топлива применено понятие условного топлива, теплота сгорания которого 29,3 МДж/кг.

Усредненные характеристики твердых и жидких топлив, как по составу, так и по теплоте сгорания, приведены в таблице 4.1. Представленные данные харак-

теризуют влияние элементного состава топлива на теплоту сгорания. Чем выше в топливе содержание горючих компонентов, тем больше теплота сгорания.

Таблица 4.1. – Состав и теплота сгорания различных видов топлива

Вид топлива	Состав топлива							Q, МДж/кг
	C	H ₂	N ₂	O ₂	S	A	W	
Альтернативное топливо твердое	59–62	4,6–6,5	0,2–0,3	31–36	0,3–0,7	4,5–10	10–19,9	18,0–21,0
Торф	25–60	2,6–6,0	1,1–3,0	15–40	–	6–50	0–95	8,0–21,0
Бурый уголь	55–60	4,0–6,5	–	15–30	–	9–50	35–62	19,3–31,0
Антрацит	94–97	1–3	1,0	3,0	3,0	–	–	34,3
Древесина	48–52	6–7	0,1–0,6	43–45	–	–	60–100	12,5
Нефть	82–87	11–14	0,7–1,8	0,1–5,5	0,3	0,4	44,9	42,0
Мазут	87,5	10,7	0,7	–	0,6	0,3	0,2–4,0	40,3–41,3

На полученные оптимальные составы альтернативного топлива выданы патенты (Приложение Б, В) [15–А, 16–А].

Способ генерации составов твердого топлива заключается в следующем:

– в качестве древесного сырья используется отходы древесные, соответствующие СТБ 1867–2009 «Отходы древесные для изготовления топлива. Общие технические условия», древесно-опилочные смеси, отходы деревообрабатывающей промышленности в виде рубленой щепы, стружек, опила и т. п. с предварительным измельчением их до размера частиц 0,1–8,0 мм. В древесной массе допускается включение частиц с размером до 10 мм, доля которых не должна превышать 20 %. Допускается применение без предварительной сушки древесных отходов с повышенной влажностью до 70 %, например длительно хранящихся под открытым небом;

– отсортированные и измельченные при необходимости составные компоненты для получения твердого топлива – нефтесодержащие и древесные отходы – смешиваются до получения однородной массы;

– в качестве отходов нефтепродуктов используются вязкие нефтешламы, смеси отработанных нефтепродуктов, отходы мазута в виде донных отложений резервуаров и трубопроводов.

Соотношение компонентов (в массовой доле в процентах) выбирают в зависимости от требований технических условий ТУ ВУ 490319372.001–2005 (Приложение Г): древесные отходы – 70–80 %, нефтесодержащие отходы – 20–30 %.

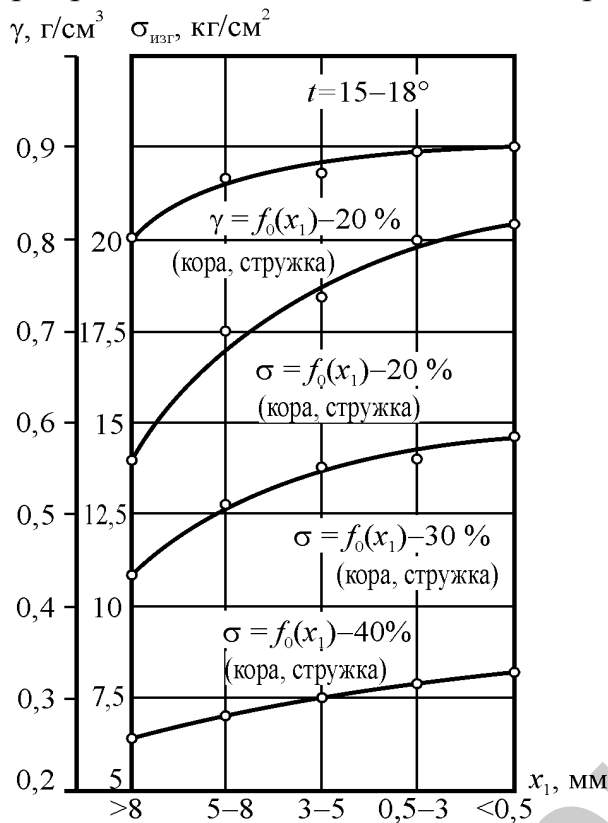
Например, компонентный состав «Марка-2»: древесные отходы – 75 %, нефтешламы – 25 %; «Марка-4»: древесные отходы – 70 %, смесь отработанных нефтепродуктов – 30 %, оптимальная влажность смеси – 42–45 % [15–А, 16–А, 17–А].

В соответствии с предлагаемым способом получения твердого топлива на основе смеси отходов, из них удаляются механические примеси, древесные отходы измельчаются, затем вязкие нефтесодержащие отходы после предварительной подготовки в резервуаре-отделителе поступают с древесными отходами в дозатор. Смешивание компонентов проводят при положительных температурах от +5 до +25 °С. При высокой влажности смеси уменьшение ее значения производят путем добавления сухих древесных опилок для достижения оптимальной влажности 42–45 %. Перемешанная однородная масса поступает через загрузочное окно в камеру пресса и продавливается шнеком через формующую насадку при давлении 20 МПа с образованием в формуемой массе внутреннего продольного сквозного отверстия. Сформованный брикет разрезают на части длиной 500 мм, которые затем сушат в сушильной камере в два этапа. Температурный режим в сушильной камере задается в зависимости от влажности брикетов. На первом этапе производится сушка до влажности 25–30 %, температура сушки 60–110 °С, это позволяет поддерживать пожаробезопасную среду, несмотря на присутствие в топливе нефтесодержащих компонентов. В дальнейшем сушка брикетов производится при температуре 30–60 °С до влажности не выше 23 % согласно ГОСТу [96]. Следует учитывать, что в теплый период времени допускается производить сушку в естественных атмосферных условиях под навесами или с использованием иных технических средств.

Нефтесодержащие отходы в смеси являются основным связующим материалом твердого топлива. При брикетировании шнековым прессом в формующей конической насадке создается давление, посредством которого в конической части пресса смесь уплотняется и принимает заданную форму. Под действием сил сжатия и трения в конической втулке пресса и матрице фильеры температура формуемой смеси повышается. У сформованных брикетов при влажности смеси 42–45 % на выходе из пресса увеличивается температура на 9,5–18,0 °С по сравнению с начальной температурой подаваемой в пресс смеси. Температура брикетов может достигать 43 °С. С уменьшением влажности температура повышается значительно выше, однако возгораний не происходит, так как образующийся пар препятствует качественному формированию топлива. Прессуемое топливо на выходе из фильеры растрескивается и в дальнейшем не удерживает заданную форму.

В ходе выполнения диссертационной работы исследованы зависимости характера изменения прочности и плотности спрессованных брикетов от факто-

ров гранулометрического состава при прессовании давлением $p = 20$ МПа, с варьированием доли x_1 частицами различного размера. Определено, что



увеличение в составе x_1 доли частиц размером до 10 мм в объеме более 20 % при брикетировании нефтедревесной смеси приводит к снижению прочностных характеристик твердого топлива (рисунок 4.11), а использование древесной фракции с размером частиц 0,5–5,0 мм позволяет достигать значения плотности γ в пределах 0,89 г/см³.

Таким образом, установлены технологические параметры процесса брикетирования с рациональным диапазоном варьирования гранулометрического размера частиц древесных опилок, используемых при прессовании в составе брикетированного топлива, обеспечивающих оптимальную механическую прочность и плотность двухкомпонентного твердого топлива.

Рисунок 4.11. – Влияние размера частиц древесных отходов на механическую прочность и плотность брикетов

Экспериментально исследовано влияние геометрической формы брикетов на производительность установки.

Размеры и внешний вид образцов твердого топлива показаны на рисунке 4.12.

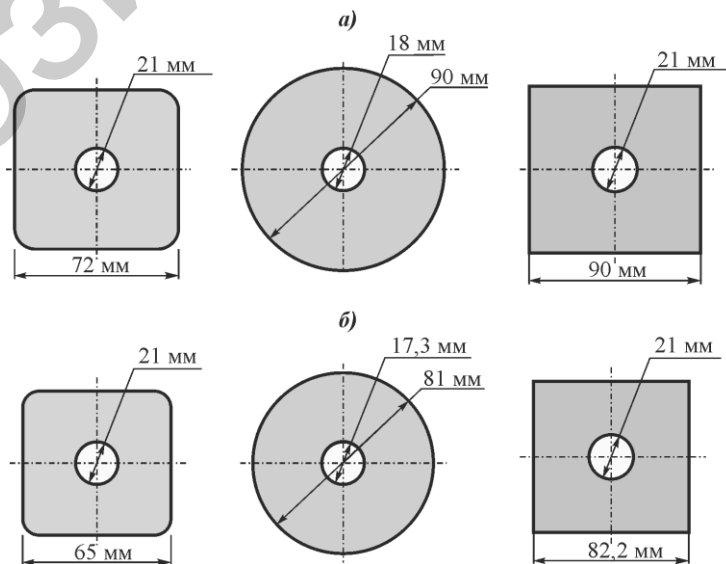


Рисунок 4.12. – Размеры сформованных (а) и высушенных (б) брикетов твердого топлива различных геометрических форм

Установлено, что наибольшая производительность достигается при изготовлении брикетов с поперечным сечением в виде круга.

При изготовлении брикетов с отверстием круглой формы и квадратной с закругленными краями достигается наибольшая производительность по сравнению с другими формами брикетов (рисунок 4.13).



Рисунок 4.13. – Внешний вид брикета квадратной формы с закругленными краями

В процессе исследований установлено, что производительность установки изменяется в зависимости от формы брикета. При брикетировании оптимального компонентного состава «Марка-2», у которого доля нефтешламов в прессуемой смеси 25 %, определено, что наибольшая производительность достигается при получении брикетов с круглым сечением. При производстве брикетов прямоугольной формы данный показатель уменьшается на 37 %, квадратной – на 7,6 %, а квадратной с закругленными краями – на 4,3 %.

Зависимость производительности от формы брикета показана в таблице 4.2.

Таблица 4.2. – Зависимость производительности P от формы сечения брикета с оптимальным компонентным составом (доля нефтешламов в прессуемой смеси $x = 0,25$)

Поперечное сечение брикета	Производительность P , т/ч	Внешний вид
Круг	1,020	Нормальный (гладкая продольная цилиндрическая часть, отсутствует рыхлость поверхности)
Квадрат	0,948	Удовлетворительный (гладкая продольная цилиндрическая часть, крошащиеся края)
Квадрат с закругленными краями	0,978	Нормальный (гладкая продольная цилиндрическая часть, отсутствует рыхлость поверхности)
Прямоугольник (типа кирпич)	0,744	Неудовлетворительный (рыхлый, с мелкими трещинками, неровные крошащиеся края)

В ходе экспериментальных исследований проведен сравнительный анализ свойств полученного твердого топлива и произведенного методом брикетирования из торфа (торфобрикет) и из опилок типа Pini Kei, образцы которых полностью погружались в воду и при этом фиксировались показания изменения

массы. Полученные результаты исследования представлены в графическом виде на рисунке 4.14. При выборе образцов топлива для большей достоверности результатов, следуя рациональному выбору факторов, определили наиболее важные из них, которые отмечаются схожестью способа получения, гранулометрического состава видов топлива прессуемых частиц, рельефом их поверхности, уровнем использования в промышленности и быту и наличием пылевидных частиц в компонентном составе.

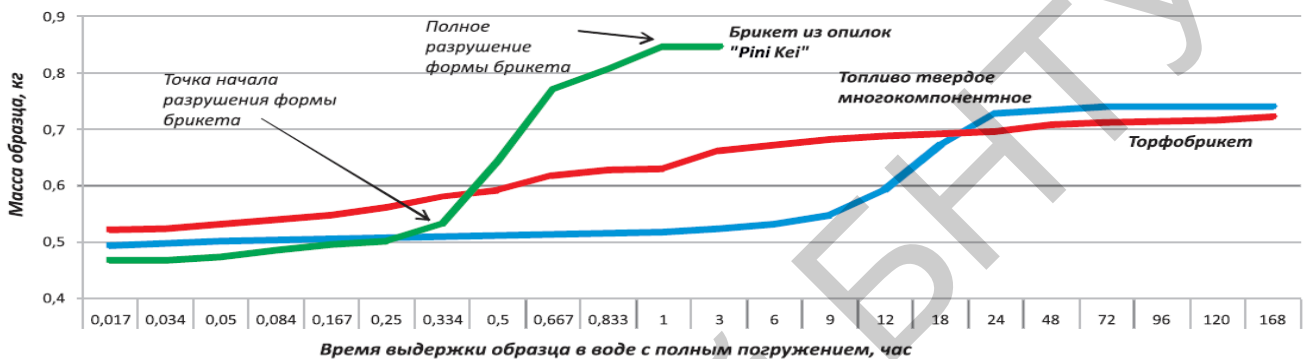


Рисунок 4.14. – График изменения массы различных видов твердого топлива

Оценивая полученные результаты исследований свойств брикетированного двухкомпонентного твердого топлива на основе древесных и вязких нефтесодержащих отходов, следует отметить, что непосредственное использование нефтесодержащих отходов при производстве топлива выполняет ряд функций: во-первых, они являются связующим компонентом при производстве этого вида топлива; во-вторых, увеличивают до необходимого (задаваемого) уровня теплотехнические характеристики получаемого топлива, а при высыхании нефтесодержащие отходы обеспечивают его гидрофобными свойствами, препятствующими влагонасыщению топлива на протяжении 6–9 ч, даже полностью погруженного в воду. Полученные данные помогают определить наиболее подходящие для заказчика и поставщика условия хранения топлива и возможность обеспечения сроков гарантийных обязательств, предъявляемых к качественным характеристикам топлива.

Нефтепродукты в составе формируемого топлива способствуют пластичности прессуемой массы при изготовлении брикетов, поэтому в предлагаемой технологии допускается применение более вязких их видов. Преимущественным отличием их от других видов твердого топлива является возможность производства брикетов разных типоразмеров длиной до 500 мм при диаметре до 150 мм, которые могут сжигаться в различных эксплуатируемых энергоустановках.

Лабораторными исследованиями компонентного состава фактических выбросов установлена допустимая доля содержания в составе твердого топлива от-

работанных гранулированных или волокнистых сорбентов (например, «С-Верад», «СоНеТ», «Лигносорб», «Экторф», «Эколан» и др.), опилок и ветоши, насыщенных нефтепродуктами, которая не должна превышать 5 % [8–А, 9–А, 10–А].

Испытания, проведенные экологической лабораторией ПРУП «Экопласт-сервис» (Аттестат аккредитации ВУ/112 02.2.0.3479 от 29.01.2007), подтвердили соответствие разработанного топлива требованиям ГОСТ 147–95, ГОСТ 27314–91, ГОСТ 11022–95, ГОСТ 8606–93.

Разработанные составы и технология позволяют:

– использовать различные виды древесных отходов с повышенной влажностью, разные вязкие нефтесодержащие отходы, ветошь и сорбенты, насыщенные нефтепродуктами, в качестве армирующих наполнителей, что расширяет ассортимент используемых отходов местного производства и улучшает экологическое состояние окружающей среды, повышает теплотворную способность топлива и увеличивает продолжительность его хранения;

– увеличивать площадь испарения влаги из брикета за счет формирования внутреннего продольного сквозного отверстия, которое увеличивает площадь его контакта с осушающим агентом (теплым воздухом), что приводит к сокращению времени сушки;

– повысить пожаробезопасность технологического процесса, так как все этапы сушки проходят при температуре, которая ниже температуры самовоспламенения используемых нефтесодержащих отходов.

4.4 Разработка технологии хранения, транспортировки и использования твердого топлива

Готовую продукцию нужно транспортировать потребителям, расположенным на расстоянии от места погрузки. Эффективность транспортно-логистических операций является одним из ключевых факторов рентабельности. В связи с этим возникает необходимость исследования и разработки способов транспортировки и хранения, обеспечивающих защиту топлива от атмосферных осадков, физических повреждений и позволяющих максимально просто и быстро производить погрузочно-разгрузочные работы.

Для исследования способов хранения и транспортировки разработанного твердого топлива в соответствии с ТУ ВУ 490319372.001–2005 изготовлена промышленная партия образцов с учетом полученных результатов проведенных исследований, а также действующих технических нормативно-правовых актов.

Совместно с Гомельским областным управлением по надзору за рациональным использованием топливно-энергетических ресурсов (ГОУ по надзору РИТЭР) и ОДО «ТеплоБел» была создана комиссия по испытанию и оценке качественных показателей хранения, транспортировки, сжигания топлива.

Для проведения испытаний с целью определения качественных характеристик разработанного топлива выбрано предприятие КУП «Речицаводоканал», имеющее в своем составе котельные с комплексом оборудования для входного контроля качества топлива, а также определения и расчета браковочных показателей топлива и его сжигания. По результатам работы комиссии составлен акт (Приложение Д).

Анализ зольности, влаги, теплоты сгорания, содержания серы в процессе проведения испытаний с целью определения и контроля статистически достоверных результатов проводился в лабораториях на образцах с применением идентичных методов. Межлабораторные исследования проб выполняли в соответствии с ГОСТ 27314, ГОСТ 11022, ГОСТ 8606, ГОСТ 147 с участием аккредитованной на компетентность и независимость в установленном порядке Минской самостоятельной территориальной лаборатории (Аттестат № ВУ/112.02.1.00432) с составлением актов отбора проб, актов приемки и протоколов испытаний.

Масса твердого топлива, поступающего на котельную автотранспортом, определялась методом взвешивания. Топливо поступало партиями (0,7–0,8 т), упаковывалось в бумажные (по ГОСТ 2226) и полиэтиленовые (по ГОСТ 10354) мешки с различной толщиной пленки, а также россыпью и в контейнерах типа биг-бэг.

Результаты испытаний показали:

- транспортировка россыпью обеспечивает максимальную гибкость логистических операций при минимальных затратах;
- при поставке топлива навалом можно сэкономить на использовании самосвальных транспортных средств, обеспечивающих быструю разгрузку и оборачиваемость транспорта;
- места погрузки-выгрузки должны быть оборудованы навесами, препятствующими попаданию дождевых осадков;
- наибольшую эффективность хранения россыпью без потери качественных характеристик показало хранение топлива в закрытом помещении с покрытием пола деревянными поддонами (в течение одного года).

Кроме того, транспортировка навалом эффективна в тех случаях, когда котельные принимают топливо насыпью, перегружая его из автотранспорта в бункеры, из которых оно подается непосредственно в печи.

Брикеты за счет небольшой длины и различных типоразмеров хорошо упаковываются в большие пропиленовые мешки (контейнеры) – биг-бэги. Как показали обследования, такая упаковка достаточно удобна при транспортировке, обеспечивает защиту продукта от внешних воздействий, позволяет использовать простые технические средства при погрузочно-разгрузочных работах (кран, кран-балка, автопогрузчик, манипулятор). Наилучшую эффективность хранения в мешках типа биг-бэг без потери качественных характеристик показало топливо, размещенное под навесом на поддонах. Отмечено лучшее со-

хранение качественных показателей топлива при наличии в мешках полиэтиленовой внутренней оболочки, чем в мешках, в которых она отсутствовала. Упаковка в контейнеры биг-бэг (крупная расфасовка) не должна превышать 870 кг. Складирование мешков друг на друга не должно превышать три ряда.

Внешний вид брикетов хранимых на складе, упакованных в мешки типа биг-бэг и фасованных в термо-усадочный полиэтилен, показан на рисунках 4.15 и 4.16.

Упаковка в мешки относится к мелкой расфасовке и является более трудоемкой по сравнению с другими ее видами. Максимальная масса упаковки твердого топлива в полиэтиленовые мешки – до 35 кг, в бумажные – до 20 кг. Как показал опыт, такая упаковка удобна при транспортировке, обеспечивает защиту продукта от физических воздействий, позволяет использовать распространенные технические средства погрузочно-разгрузочных работ (кран, автопогрузчик, манипулятор), а при их отсутствии в местах хранения технических средств легко разгружается вручную.



Рисунок 4.15. – Внешний вид упаковки брикетов, в мешки типа биг-бэг

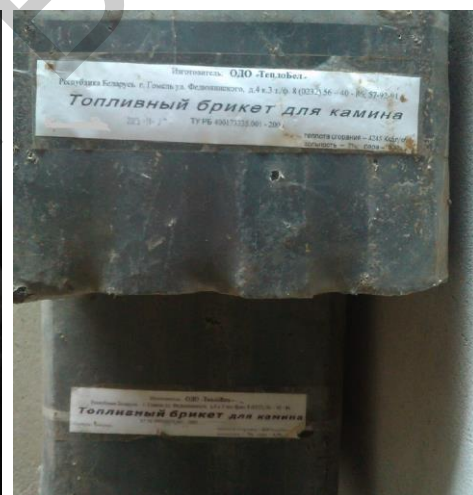


Рисунок 4.16. – Внешний вид упакованных брикетов по 10 кг

Отмечены положительные отзывы персонала при загрузке упакованного топлива в топочное устройство котла: чистота на рабочем месте и в местах складирования; вручную разово загружается легко регулируемое количество топлива при различных режимах работы и необходимой нагрузке котла; оперативный учет и контроль сжигаемого топлива. Наилучшую эффективность хранения и транспортировки без потери качественных характеристик имеет топливо в полиэтиленовых мешках на поддонах, дополнительно обмотанное упаковочной пленкой или лентой. Оптимальный результат по цельности упаковки при выполнении погрузочно-разгрузочных работ, хранении и транспортировке по показателю цена/качество достигался в случае применения полиэтиленовой пленки толщиной 80 мкм.

Неотъемлемой частью любого технологического цикла являются способы использования его конечного продукта с изучением и выявлением закономерностей и обобщением полученных параметров.

На основе проведенных исследований и анализа полученных результатов в разработанные ранее ТУ ВУ 490319372.001–2005 «Топливо твердое многокомпонентное» были внесены коррективы (Извещение № 1 об изменении технических условий), обеспечивающие соблюдение качественных показателей, назначение и способы хранения топлива [17–А].

Возможность использования твердого топлива, произведенного с изменениями в ТУ ВУ 490319372.001–2005 в соответствии с назначением пригодности для сжигания в бытовых топках, котлах и промышленных котельных, согласована с Министерством природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Беларусь.

Разработаны составы пяти марок, которые прошли государственную регистрацию в Государственном центре каталогизации продукции в Белорусском государственном институте стандартизации и сертификации (каталожный лист продукции № 23190, каталожные коды 44940 и 65059) и допущены к реализации потребителям (приложение Г).

Для использования в хозяйственной деятельности с возможностью сжигания в бытовых топках, котлах и промышленных котельных допущены следующие виды топлива:

- «Марка-1» – из опилок;
- «Марка-2» – из опилок с добавлением нефтешламов;
- «Марка-3» – из опилок с добавлением мазута;
- «Марка-4» – из опилок с добавлением смеси отработанных нефтепродуктов;
- «Марка-5» – из лигнина с добавлением мазута.

В ходе лабораторных испытаний определены следующие характеристики брикетированного твердого топлива из нефтедревесных отходов, образующихся на предприятиях: теплотворная способность – 18,13 кДж (4330 ккал/кг) при влажности 10,6 %; зольность не более – 8,57 %; содержание серы – не более 0,77 % и др. На основании полученных данных и в соответствии с назначением топлива допущено к применению в бытовых топках, котлах и промышленных котельных, что согласовано с Министерством природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Беларусь.

По характеристикам и качественным показателям разработанные марки твердого топлива соответствуют требованиям действующих ТНПА [97, 104].

Предложенная технология и способы применения компонентных материалов в составе топлива позволяют использовать его с целью:

- повышения энергетической безопасности вследствие широкого использования полученного топлива в качестве местных энергетических ресурсов и включения их в энергобаланс;

- получения энергетического топлива на основе местных отходов и сырья производства, в том числе в районах, куда затруднена доставка традиционного топлива;
- ликвидации складов-отходов в пределах городов, улучшения вследствие этого экологической обстановки и обеспечения потребителей твердым топливом, с более высокими энергетическими показателями;
- повышения технологической культуры эксплуатации топливосжигающих установок малой энергетики;
- применения отходов деревообрабатывающего производства, отходов планируемой в перспективе добычи углей и других добываемых полезных горючих ископаемых;
- производства энергетически эффективного топлива низкой себестоимости;
- создания мобильных мини-заводов в модульном исполнении с возможностью увеличения их производительности в необходимых потребителю объемах;
- снижения стоимости получения энергии за счет более дешевого топлива.

По итогам диссертационной работы и опыта производственной эксплуатации установки предложенная технологическая схема получения твердого топлива на основе применения нефтешламов и древесных отходов внедрена на предприятии ОДО «ТеплоБел».

В целях ликвидации складов-отходов деревообрабатывающего производства (в первую очередь с отходами насыщенными избыточной влажностью, непригодные к технологическому применению, окислившиеся от длительного хранения и т. п.) и шламо-накопительных площадок хранения отходов вязких нефтепродуктов разработана передвижная установка марки УПНДО-0,35.

Разработанная передвижная установка марки УПНДО-0,35 прошла регистрацию в РУП «Бел НИЦ «Экология» Министерства природных ресурсов в реестре оборудования и технологий по переработке отходов под номером 2287 [7]. Полученные составы твердого топлива зарегистрированы в государственном центре каталогизации продукции и допущены к реализации потребителям.

Разработанный способ уже позволил утилизировать производственные отходы, не нашедшие технологического применения, что дало возможность осуществить рециклинг более 170 т нефтесодержащих отходов на предприятиях ОАО «Гомель-древ» при строительстве завода по производству плиты МДФ/ХДФ, ОАО «Птицефабрика «Рассвет», РДУП «Гомельский завод «Эталон», ОАО «Гомельский ДСК», Филиал «Гомельские тепловые сети» РУП «Гомельэнерго» и др.

По результатам выполненных исследований разработаны и проходят согласование новые технические условия ТУ ВУ 490319372.002–2017, включающие в себя новые марки топлива с использованием многокомпонентных составов из насыщенных нефтепродуктами отходов 4- и 3-го классов опасности.

Выводы

1. В процессе исследований при брикетировании смеси оптимального компонентного состава (доля нефтешламов в ней $x = 0,25$) установлено, что наибольшая производительность достигается при получении брикетов с круглым сечением. При производстве брикетов прямоугольной формы данный показатель уменьшается на 37 %, квадратной – на 7,6 %, а квадратной с закругленными краями – на 4,3 %.

2. Определено влияние гранулометрического состава древесных отходов на механическую прочность и плотность брикетов: увеличение в составе x_1 доли частиц размером до 10 мм в объеме более 20 % при брикетировании нефтедревесной смеси приводит к снижению прочностных характеристик топлива, а использование древесной фракции с частицами размером 0,5–5,0 мм позволяет достигать значения плотности γ в пределах 0,89 г/см³.

3. Исследованы параметры зольности, влажности, теплоты сгорания, содержания серы и другие характеристики твердого топлива в зависимости от его состава, а также проведено сравнение составов и теплоты сгорания полученного топлива с различными видами топлива.

4. Исследовано влияние формы брикета на производительность при одинаковых параметрах влажности и долях компонентного состава.

5. Изучены качественные характеристики топлива, позволяющие хранить его под навесом навалом при обеспечении необходимых сроков гарантийных обязательств. Полученное альтернативное твердое топливо с изменением влажности на 8,7 % может находиться в воде 9 ч с полным погружением.

6. Разработанная технология позволяет пожаробезопасно брикетировать при температуре 43 °С разнообразные виды углеводородсодержащих отходов (пастообразные, вязкие) и производить сушку твердого топлива при температуре 60–110 °С.

7. Определена допустимая доля содержания в составе брикетированного двухкомпонентного твердого топлива отработанных (насыщенных нефтепродуктами) сорбентов и ветоши (не превышает 5 %), не влияющая на уровень выбросов и производительность.

8. Исследованы особенности погрузочно-разгрузочных операций, транспортировки, хранения и вариантов упаковки разработанного топлива. Результаты испытаний показали, что транспортировка россыпью обеспечивает максимальную гибкость логистических операций при минимальных затратах с использованием самосвальных транспортных средств. Места погрузки-выгрузки должны быть оборудованы навесами, препятствующими затеканию дождевых осадков. Упаковка не должна превышать максимальную массу: в полиэтиленовые мешки – 35 кг, в бумажные – 20 кг (мелкая расфасовка); в контейнеры биг-бэг (крупная расфасовка) – 870 кг, а складирование контейнеров в штабель не должно превышать три ряда.

9. По результатам проведенных экспериментальных исследований разработаны технические условия ТУ ВУ 490319372.001–2005 «Топливо твердое многокомпонентное. Технические условия», с Извещением № 1 и 2 об изменении технических условий, прошедшие согласование в ГУ «Республиканский центр гигиены и эпидемиологии и охраны здоровья», в Комитете по энергоэффективности и Министерстве природных ресурсов и охраны окружающей среды.

ГЛАВА 5

РАСЧЕТ ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРОИЗВОДСТВА ТВЕРДОГО ТОПЛИВА НА ОСНОВЕ СМЕСИ ДРЕВЕСНЫХ И ВЯЗКИХ НЕФТЕСОДЕРЖАЩИХ ОТХОДОВ

5.1 Расчет технико-экономических параметров производства твердого топлива на основе смеси древесных и вязких нефтесодержащих отходов

Важной частью научно-технического прогресса является повышение конкурентоспособности продукции. Поэтому необходим расчет определения экономической эффективности производства местных видов топлива с использованием предложенного способа брикетирования твердого топлива на основе смеси древесных и вязких нефтесодержащих отходов для локальных систем теплоснабжения.

Для решения этих проблем с целью использования нефтесодержащих отходов в качестве топлива нужно оценить оптимальное географическое месторасположение с экономической рентабельной стороны, учитывая необходимые транспортные расходы по доставке к месту переработки, а также определить места их наибольшего скопления и образования.

Характеризуя положение дел с размещением вторичных горючих отходов в Гомельской области, оптимальной территорией для размещения производства по переработке нефтесодержащих и древесных отходов является промышленная зона г. Речицы или близкорасположенные к ней неиспользуемые промышленные площадки. При этом анализировались следующие обстоятельства [2–А].

Во-первых, на административной карте Гомельской области видно, что г. Речица (рисунок 5.1) находится в центре промышленного региона области, примерно на одинаковом удалении от таких городов, как Гомель (50 км); Жлобин (90 км); Рогачев (110 км), Светлогорск (60 км); Мозырь-промзона (65 км); Калинковичи (50 км); Лоев, Брагин, Хойники (по 50–60 км).

Кроме того, Речица имеет хорошо развитую транспортную инфраструктуру как для автомобильного транспорта, так и для железнодорожного.

Во-вторых, в г. Речице и близлежащих городах расположены предприятия, на которых имеются огромные запасы нефтесодержащих и древесных отходов:

– г. Речица – Нефтегазодобывающее управление (НГДУ), «Речицадрев», «Нефтебурсервис» ПО «Белоруснефть» (нефтешламовые амбары), «Речицкий опытно-промышленный гидролизный завод» и др.;

– г. Мозырь – Нефтеперерабатывающий завод (НПЗ), «Мозырьдрев» и др.;

– г. Светлогорске – Нефтевышкомонтажное управление, «Химволокно», Целлюлозно-картонный комбинат и др.

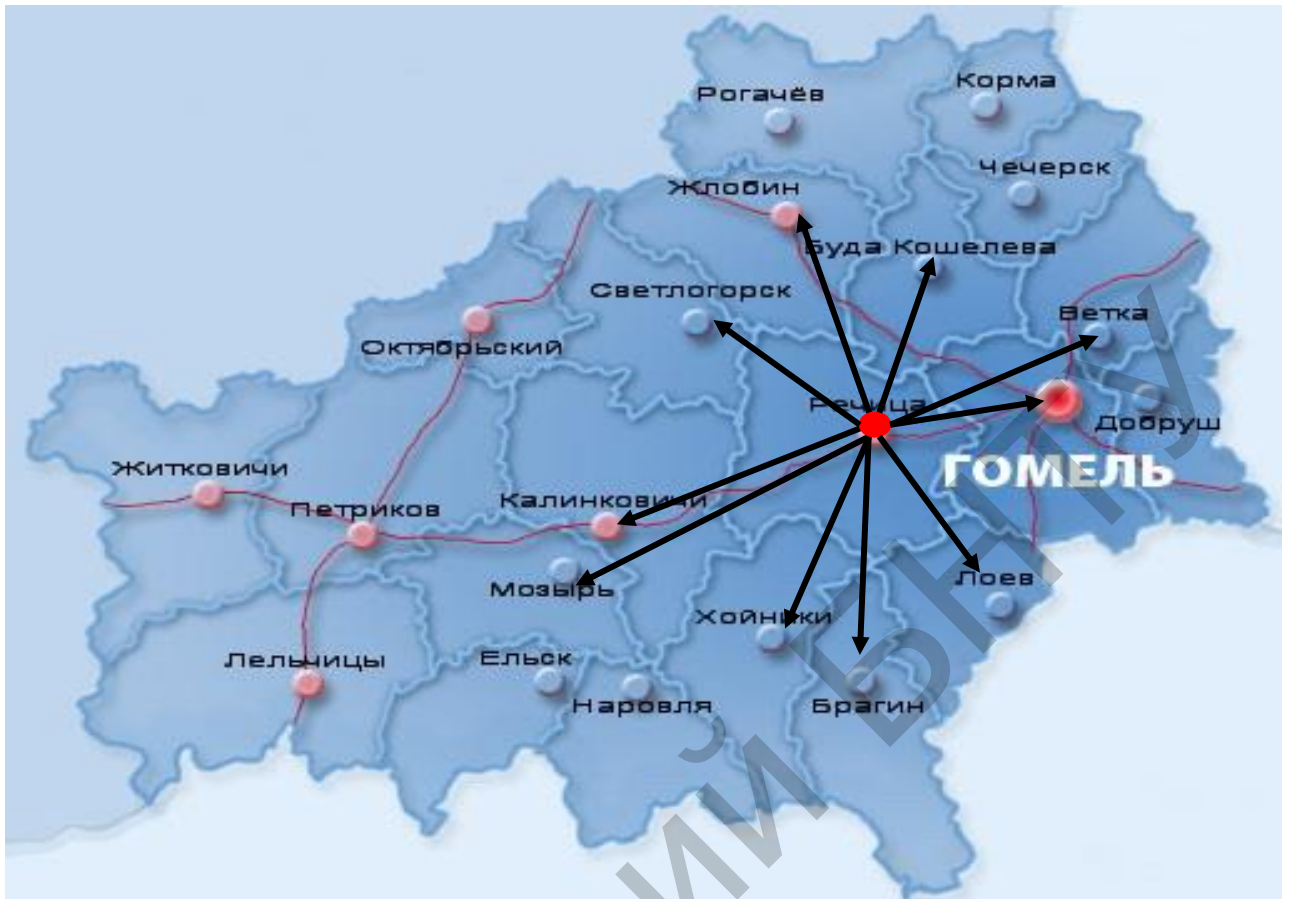


Рисунок 5.1. – Административная карта Гомельской области

Следует также отметить, что на ТЭЦ городов Гомеля, Мозыря, Светлогорска в качестве резервного топлива хранится мазут, который со временем вследствие теплообмена деструктурируется, и значительная его часть превращается в донные отложения. Аналогичная обстановка и на предприятиях ЖКХ, эксплуатирующихся в городах и небольших населенных пунктах оборудование, работающее на мазуте. Практически во всех перечисленных городах имеются нефтебазы, где в процессе хранения образуются технологические остатки в виде смеси отработанных нефтепродуктов и различных деструктурированных технологических остатков.

Размещение предприятия по производству твердого топлива на основе смеси древесных и вязких нефтесодержащих отходов в г. Речице Гомельской области позволит обеспечить его долгосрочное и эффективное технологическое функционирование.

Данное направление деятельности также позволяет:

- локализовать негативное воздействие вторичных горючих отходов на окружающую среду;
- улучшить экологию региона на долгосрочную перспективу;

- увеличить ресурсно-сырьевой потенциал, обеспечив локальные системы теплоснабжения альтернативным твердым топливом из отходов производства;
- сэкономить сырье, материальные и топливно-энергетические ресурсы за счет использования отходов производства;
- исключить вывоз отходов деревообработки и нефтесодержащих отходов на свалки и несанкционированные места захоронения;
- обеспечить новые рабочие места;
- создать рынок экологически безопасных технологий и оборудования по переработке и обезвреживанию отходов;
- заработать прибыль от реализации продукции, полученной на основе переработки отходов.

В разработанной технологии изготовления топливных брикетов методом холодного брикетирования с использованием в качестве компонентов древесных опилок и смеси отработанных нефтепродуктов применяются шнековый пресс, конвейерная печь и тракторный погрузчик с прицепом.

Шнековый пресс создает необходимое давление для формования и брикетирования и вместе с тем обеспечивает отжим излишков влаги до уровня 50 %.

Шнековый пресс имеет следующие характеристики:

- производительность (в расчете на готовые топливные брикеты) $\Pi_{\text{пр}} = 1$ т/ч;
- потребляемая электрическая мощность $N_{\text{пр}} = 27$ кВт;
- стоимость $C_{\text{пр}} = 18\,250$ руб.

Конвейерная печь предназначена для сушки сформованных брикетов до влажности 15 %. Печь карусельного типа с теплогенератором, работающим на отходах, образующихся при производстве твердого топлива.

Конвейерная печь с комплектом вспомогательного оборудования характеризуется следующими параметрами:

- производительность (в расчете на готовые топливные брикеты) $\Pi_{\text{п}} = 1$ т/ч;
- потребляемая электрическая мощность $N_{\text{п}} = 3$ кВт;
- стоимость $C_{\text{п}} = 26\,153$ руб.;
- доля топливных брикетов, потребляемых на сушку, $D_{\text{п.с}} = 15$ %.

Тракторный погрузчик с прицепом:

- расход горючего $V_{\text{т.п}} = 5,5$ л/ч;
- стоимость $C_{\text{т.п}} = 21\,430$ руб.

Режим работы установки для брикетирования:

- среднемесячное количество рабочих дней $D_{\text{р.м}} = 21$;
- количество рабочих смен в сутки $K_{\text{р.с}} = 2$;
- эффективная продолжительность рабочей смены $T_{\text{р.с}} = 7$ ч.

5.2 Расчет себестоимости производства твердого топлива при использовании нефтедревесных отходов

Для экономического расчета себестоимости получения твердого топлива «Марка-4» согласно ТУ ВУ 490319372.001–2005 использовались технические характеристики и стоимость оборудования, необходимое соотношение различных применяемых компонентов и другие затраты, связанные с организацией и производством топлива.

Исходный состав необходимого сырья для производства топлива «Марка-4» следующий:

- массовая доля древесных опилок $D_{м.о} = 75 \%$;
- массовая доля нефтешламов $D_{м.нш} = 30 \%$.

Влажность спрессованных топливных брикетов:

- после прессования $B_{пр} = 42 \%$;
- после сушки $B_c = 15 \%$.

Часовая производительность установки

$$P_y = \min(P_{пр}, P_{п}), \quad (5.1)$$

где $P_{пр}$ – производительность установки по выпуску ТТ (в расчете на готовые топливные брикеты), $P_{пр} = 1$ т/ч;

$P_{п}$ – производительность конвейерной печи, обеспечивающей сушку твердого топлива (в расчете на готовые топливные брикеты), $P_{п} = 1$ т/ч;

$$P_y = \min(1, 1) = 1 \text{ т/ч.}$$

Объем ежедневного выпуска ТТ равен

$$V_d = K_{р.с} T_{р.с} P_y, \quad (5.2)$$

где $K_{р.с}$ – количество рабочих смен в сутки, $K_{р.с} = 2$;

$T_{р.с}$ – эффективная продолжительность рабочей смены, $T_{р.с} = 7$ ч;

$$V_d = 2 \cdot 7 \cdot 1 = 14 \text{ т.}$$

Ежемесячный выпуск ТТ

$$V_m = D_{р.м} V_d, \quad (5.3)$$

где $D_{р.м}$ – среднемесячное количество рабочих дней, $D_{р.м} = 21$;

$$V_m = 21 \cdot 14 = 294 \text{ т.}$$

Для определения ежедневного полезного выпуска продукции использовали формулу

$$V_{д.п} = V_{д} \cdot (1 - D_{п.с} / 100), \quad (5.4)$$

где $D_{п.с}$ – доля топливных брикетов, потребляемых конвейерной печью на собственные нужды, $D_{п.с} = 15 \%$;

$$V_{д.п} = 14 \cdot (1 - 15 / 100) = 11,9 \text{ т.}$$

Ежемесячный полезный выпуск топливных брикетов

$$V_{м.п} = D_{р.м} V_{д.п}, \quad (5.5)$$

где $D_{р.м}$ – среднемесячное количество рабочих дней, $D_{р.м} = 21$;

$$V_{м.п} = 21 \cdot 11,9 = 249,9 \text{ т.}$$

Единовременные первоначальные (капитальные) затраты

Затраты на приобретение оборудования

$$Z_{п.о} = C_{пр} + C_{п} + C_{т.п}, \quad (5.6)$$

где $C_{пр}$ – стоимость установки по производству ТТ, $C_{пр} = 18\,250$ руб.;

$C_{п}$ – стоимость конвейерной печи, $C_{п} = 26\,153$ руб.;

$C_{т.п}$ – стоимость тракторного погрузчика с прицепом, $C_{т.п} = 21\,430$ руб.;

$$Z_{п.о} = 18\,250 + 26\,153 + 21\,420 = 65\,833 \text{ руб.}$$

Затраты на монтаж оборудования

$$Z_{м.о} = (C_{пр} + C_{п}) P_{м} / 100, \quad (5.7)$$

где $P_{м}$ – затраты на монтаж оборудования в процентах от его стоимости,

$P_{м} = 20 \%$;

$$Z_{м.о} = (18\,250 + 26\,153) \cdot 20 / 100 = 8\,880,6 \text{ руб.}$$

Единовременные первоначальные затраты

$$Z_{п} = Z_{п.о} + Z_{м.о} + Z_{д.} + Z_{прэ}, \quad (5.8)$$

где $Z_{\text{прэ}}$ – стоимость разработки проекта размещения в существующем строении производства топливных брикетов с экологической экспертизой, $Z_{\text{прэ}} = 8\,047,8$ руб.;

$$Z_{\text{п}} = 65\,833 + 8\,880,6 + 8\,047,8 = 82\,761,4 \text{ руб.}$$

Текущие ежемесячные затраты

Материальные затраты:

– стоимость исходных компонентов, приобретаемых на стороне:

$$C_{\text{и.к}} = V_{\text{м}} D_{\text{м.о}} C_{\text{к.о}} + V_{\text{м}} D_{\text{м.нш}} C_{\text{к.нш}}, \quad (5.9)$$

где $V_{\text{м}}$ – месячный выпуск топливных брикетов, т;

$C_{\text{к.о}}$ – цена исходного компонента: древесные опилки, руб./т, $C_{\text{к.о}} = 2$ руб./т;

$C_{\text{к.нш}}$ – цена исходного компонента смесь нефтепродуктов отработанных, руб./т, $C_{\text{к.нш}} = 0$ (так как он подлежит утилизации, не приобретается, а принимается бесплатно);

$$C_{\text{и.к}} = 294 \cdot 0,70 \cdot 2 + 294 \cdot 0,30 \cdot 0 = 411,6 \text{ руб.};$$

– стоимость электроэнергии

$$C_{\text{э}} = (M_{\text{пр}} + M_{\text{п}} + M_{\text{св}}) D_{\text{р.м}} K_{\text{р.с}} T_{\text{р.с}} C_{\text{э}}, \quad (5.10)$$

где $M_{\text{пр}}$ – потребляемая мощность шнекового пресса, $M_{\text{пр}} = 27$ кВт;

$M_{\text{п}}$ – потребляемая мощность конвейерной печи, $M_{\text{п}} = 3$ кВт;

$M_{\text{св}}$ – мощность светильников освещения, $M_{\text{св}} = 1$ кВт;

$D_{\text{р.м}}$ – среднемесячное количество рабочих дней, $D_{\text{р.м}} = 21$;

$K_{\text{р.с}}$ – количество рабочих смен в сутки, $K_{\text{р.с}} = 2$;

$T_{\text{р.с}}$ – эффективная продолжительность рабочей смены, $T_{\text{р.с}} = 7$ ч;

$C_{\text{э}}$ – тариф на электрическую энергию в феврале 2017 г., $C_{\text{э}} = 0,19$ руб./(кВт·ч);

$$C_{\text{э}} = (27 + 3 + 1) \cdot 21 \cdot 2 \cdot 7 \cdot 0,19 = 1\,731,66 \text{ руб.};$$

– стоимость горючего для тракторного погрузчика

$$C_{\text{г}} = P_{\text{у}} D_{\text{р.м}} K_{\text{р.с}} T_{\text{р.с}} C_{\text{г}}, \quad (5.11)$$

где $P_{\text{у}}$ – удельный расход горючего на 1 ч работы трактора, $P_{\text{у}} = 5,5$ л/ч;

$C_{\text{г}}$ – цена 1 л горючего, $C_{\text{г}} = 1,23$ руб./л (используется для подвоза компонентов (по мере необходимости) и доставки сырья с близлежащих объектов);

$$C_{\text{г}} = 5,5 \cdot 21 \cdot 7 \cdot 2 \cdot 1,23 = 1\,988,91 \text{ руб.};$$

– общая сумма материальных затрат

$$M = C_{и.к} + C_{э} + C_{г}, \quad (5.12)$$

$$M = 411,6 + 1\,731,66 + 1\,988,91 = 4\,132,17 \text{ руб.}$$

Расходы на заработную плату рабочих

$$P_{з.р} = Ч_p K_{р.с} Z_p, \quad (5.13)$$

где $Ч_p$ – численность рабочих в одну смену, $Ч_p = 4$ чел.;

Z_p – месячный заработок одного рабочего, $Z_p = 525,18$ руб. (принят в соответствии со среднестатистической зарплатой за февраль 2017 г. по Гомельской области);

$$P_{з.р} = 4 \cdot 2 \cdot 525,18 = 4\,201,44 \text{ руб.}$$

Отчисления от заработной платы рабочих

$$O_{з.р} = P_{з.р} \cdot (П_{о.с.н} + П_{о.ф.с}) / 100, \quad (5.14)$$

где $П_{о.с.н}$ – процент отчислений на социальные нужды, $П_{о.с.н} = 35$ %;

$П_{о.ф.с}$ – процент отчислений в фонд страхования от несчастных случаев, $П_{о.ф.с} = 1$ %;

$$O_{з.р} = 4\,201,44 \cdot (35 + 1) / 100 = 1\,512,52 \text{ руб.}$$

Амортизационные отчисления от стоимости оборудования

$$O_a = (Z_{п.о} + Z_{м.о}) \cdot N_a / 12 / 100, \quad (5.15)$$

где $Z_{п.о}$ – затраты на приобретение оборудования, $Z_{п.о} = 65\,833$ руб.;

$Z_{м.о}$ – затраты на монтаж оборудования, $Z_{м.о} = 8\,880,6$ руб.;

N_a – годовой норматив амортизационных отчислений от стоимости оборудования, $N_a = 10$ %;

12 – число месяцев в году;

$$O_a = (65\,833 + 8\,880,6) \cdot 10 / 12 / 100 = 622,61 \text{ руб.}$$

Арендная плата (ежемесячная плата за арендуемые производственные помещения) ориентировочно в феврале 2017 г. составляла $A_{п} = 420,30$ руб.

Текущие затраты на месячный выпуск топливных брикетов

$$T_{м.з} = (M + P_{з.р} + O_{з.р} + O_a + A_{п}) (1 + П_{пр.з} / 100), \quad (5.16)$$

где $П_{пр.з}$ – процент прочих затрат на выпуск топливных брикетов, $П_{пр.з} = 10$ %.

$$T_{м.з} = (4\ 132,17 + 4\ 201,44 + 1\ 512,52 + 622,61 + 420,3) (1 + 10 / 100) = 11\ 977,94 \text{ руб.}$$

Себестоимость топливных брикетов

Себестоимость топливных брикетов определяем по формуле

$$C_{т.б} = T_{м.з} / V_{п.м}, \quad (5.17)$$

где $V_{п.м}$ – ежемесячный полезный выпуск топливных брикетов, $V_{п.м} = 249,9$ т;

$$C_{т.б} = 11\ 977,94 / 249,9 = 47,93 \text{ руб./т.}$$

Отпускная цена ТТ определена на 5 % ниже стоимости 1 т дров в поленнице и составляет $C_{т.б} = 59$ руб./т.

Период возврата капитальных затрат

$$П_{в.к.з} = Z_{п} / [(C_{т.б} - C_{т.б})V_{п.м}], \quad (5.18)$$

где $Z_{п}$ – единовременные первоначальные затраты, $Z_{п} = 82\ 761,4$ руб.;

$$П_{в.к.з} = 82\ 761,4 / [(59 - 47,93) \cdot 249,9] = 29,9 \text{ месяцев.}$$

Проведенный расчёт экономической эффективности внедрения установки марки УПНДО-0,35 показал, что период возврата капитальных затрат составляет 26,4 месяца. Основные данные расчета представлены в таблице 5.1.

Таблица 5.1. – Основные данные расчета экономической эффективности внедрения установки марки УПНДО-0,35

№ п/п	Параметры		№ п/п	Затраты на производство топлива «Марки-2»	
1	Производительность, т/ч	0,35	6	Эффективная продолжительность рабочей смены, ч	7
2	Общая потребляемая электрическая мощность, кВт	9,7	7	Ежемесячный полезный выпуск твердого топлива, т	88,2
3	Затраты на закупку оборудования, руб	19055	8	Текущие ежемесячные затраты, руб	4482
4	Среднемесячное количество рабочих дней	21	9	Себестоимость топливных брикетов, руб	50,82
5	Количество рабочих смен в сутки	2	10	Отпускная цена брикетов, руб	59,0
Итоги расчета: Период возврата капитальных затрат, мес					26,4

5.3 Сравнение теплотехнических характеристик и удельной стоимости различных видов топлива

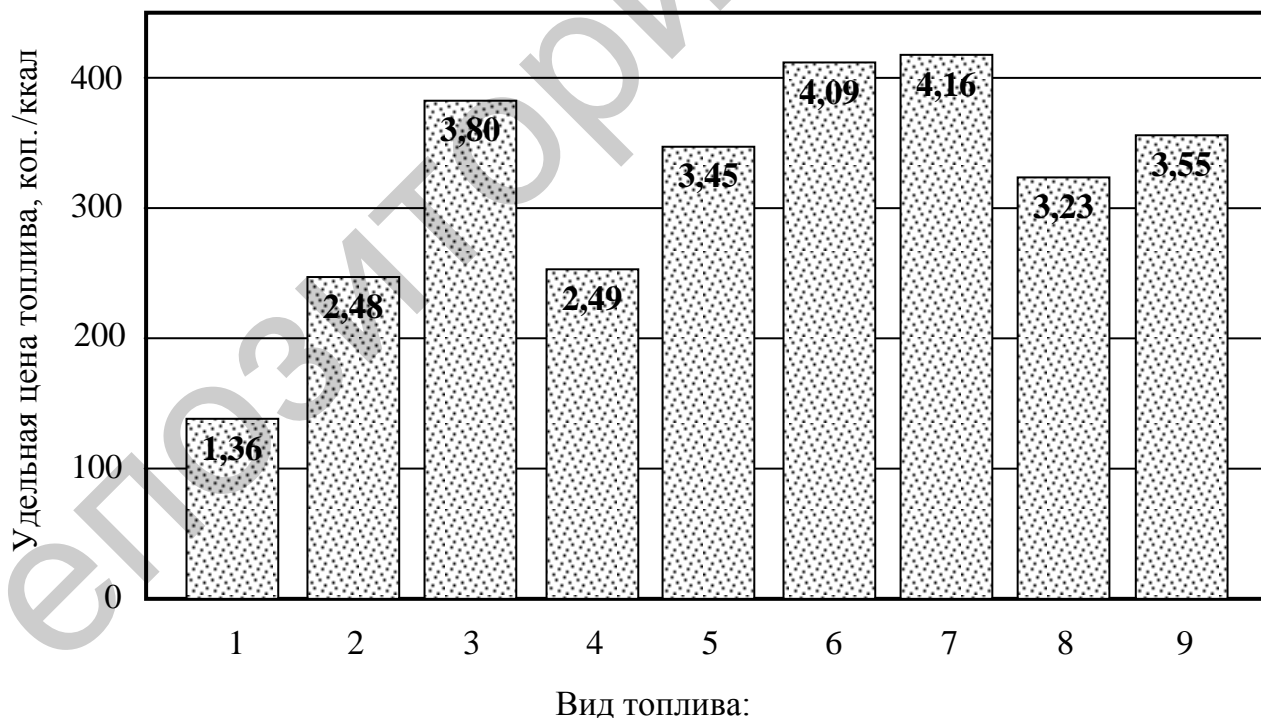
Цена реализации брикетированного твердого топлива определена с учетом торговой надбавки, учитывающей конкурентоспособную стоимость на рынке при реализации такого вида продукции.

Теплота сгорания и цена различных видов топлива в Республике Беларусь по состоянию на январь 2017 г. представлены в таблице 5.2.

Таблица 5.2. – Теплота сгорания и стоимость различных видов топлива

Вид топлива	Теплота сгорания, ккал/кг	Цена, руб./т	Производитель (поставщик)
Твердое топливо «Марка-2», $W = 15 \%$	4330	59,0	ОДО «ТеплоБел»
Дрова поленик (кругляк), $W = 15 \%$	2500	62,0	ЧПУП «Пинскстройлес»
Дрова колотые, $W = 15 \%$	2500	95,0	ЧПУП «Пинскстройлес»
Торфобрикет, W не более 16 %	3600	89,5	ОАО ТБЗ «Усяж»
Топливный брикет <i>RUF</i> , $W = 12 \%$	4100	141,6	ОАО «Речицадрев»
Топливный брикет <i>Piny-key</i> , $W = 9 \%$	4890	200,0	ООО «Древ-контакт»
Топливные гранулы, $W = 7,7 \%$	4570	190,0	ИП Бочкарев С.А.
Уголь бурый марки Б-2	4177	135,0	ООО «Белкарботранс»
Уголь антрацит марки АМ	6200	220,0	ООО «Белкарботранс»

Сравнение удельных цен различных видов топлива представлено на рисунке 5.2.



- 1 – Твердое топливо «Марка-4» при $W = 15 \%$; 6 – топливный брикет *Piny-key* при $W = 9 \%$;
 2 – дрова поленик (кругляк), при $W = 15 \%$; 7 – топливные гранулы при $W = 7,7 \%$;
 3 – дрова колотые при $W = 15 \%$; 8 – уголь бурый марки Б-2;
 4 – торфобрикет при W не более 16 %; 9 – уголь антрацит марки АМ
 5 – топливный брикет *RUF* при $W = 12 \%$;

Рисунок 5.2. – Сравнение удельных цен различных видов топлива

Анализ данных удельных цен различных видов топлива представленный на рисунке 5.2 показывает, что удельная стоимость топлива с учетом теплотворных параметров произведенного из вторичных горючих отходов ниже в 1.83 раза относительно общепринятых местных видов топлива, таких как торфобрикет и дрова (кругляк) [4–А, 11–А].

Дополнительное экономическое преимущество производства разработанного твердого топлива подтверждается при изучении рынка утилизации нефтесодержащих отходов. Так, в настоящее время на этом рынке принципиально изменяются взаимоотношения производств, на которых образуются отходы, с предприятиями, которые их утилизируют и перерабатывают, выражающиеся в необходимости компенсации затрат на переработку нефтесодержащих отходов.

Таким образом, за счет компенсации стоимости производства твердого топлива собственником отходов стоимость готовой продукции (брикетов) может существенно уменьшиться.

Разработанное топливо имеет социальную значимость, что выражается в снижении затрат государства при его использовании на объектах социального значения, в частности при генерации теплоты в котельных, принадлежащих системе жилищно-коммунального хозяйства.

Внедрение разработанной технологии и составов топлива позволяет сократить энергозатраты предприятий, потребляющих топливо, увеличить долю МВТ в энергетическом балансе региона, а также улучшить экологическую обстановку за счет снижения объемов отходов производства и обеспечить экономию природных ресурсов.

Серийное изготовление отечественных установок и их размещение в регионах Республики Беларусь создаст условия, при которых экономятся валютные средства и создаются дополнительные рабочие места, что приобретает особое значение в современных экономических условиях.

Экономический эффект состоит в сокращении расходов на обеспечение теплотой на собственные потребности участков РДУП «Гомельский завод «Эталон», получении дополнительной прибыли от реализации топливных брикетов промышленным предприятиям и населению. В свою очередь, увеличатся ресурсно-сырьевой потенциал региона и объем производимой товарной продукции из отходов производства, что является приоритетным механизмом государственных программ по использованию вторичных ресурсов в системе энергосбережения.

Экологический эффект заключается в локализации негативного воздействия отходов на окружающую среду, за счет чего улучшится экология регионов, участвующих в передаче перерабатываемых отходов.

Внедрение данной технологии позволяет получить высококачественное альтернативное твердое топливо с относительно малой зольностью и низкой себестоимостью изготовления, которое при этом по своим энергетическим характеристикам превышает уровень соответствующих показателей для бурых углей, торфа и дров. Входящие в состав брикетов нефтесодержащие отходы в рассчитанной пропорции при сгорании брикета не оказывают негативного воздействия на окружающую среду. В результате технико-экономических расчетов были определены: себестоимость топливных брикетов «Марка-4» – 47,93 руб./т, отпускная цена упакованных топливных брикетов – 59,0 руб./т, период возврата капитальных затрат – 29,9 месяца. Принято, что отходы, подлежащие переработке, имеют нулевую стоимость или принимаются бесплатно [4–А, 5–А, 11–А, 13–А].

Дополнительное экономическое преимущество и социальное значение производства твердого топлива определяется при изучении рынка утилизации нефтесодержащих отходов. Так, в настоящее время на этом рынке принципиально изменяются взаимоотношения предприятий, на которых образуются отходы, с организациями, которые их утилизируют и перерабатывают, выражающиеся в необходимости компенсации затрат на переработку нефтесодержащих отходов.

Сравнение представленных данных показывает, что экономическая эффективность от использования брикетированного твердого топлива в 1,82 раза выше, чем, например, от применения дров (кругляк). Дополнительное экономическое преимущество и социальное значение производства брикетированного твердого топлива связано с тем, что, в соответствии с системой нормирования отходов в местах их образования, а также снижения экологического воздействия на окружающую среду, собственник вязких нефтесодержащих отходов вынужден, по мере роста объемов накопления сдавать их, компенсируя при этом часть стоимости затрат по переработке. В этом случае стоимость готовой продукции может существенно снижаться, а при полной компенсации затрат топливо с «нулевой» ценой может использоваться на социальных объектах в целях частичного сокращения расходов государства на их содержание [20–А].

Таким образом, внедрение разработанной технологии производства брикетированного твердого топлива на основе смеси нефтешламных отходов позволяет сокращать энергетические затраты предприятий, использующих первичные виды твердого топлива в локальных системах теплоснабжения, а также реализовывать систему минимизации образующихся отходов путем их переработки в энергоресурсы с низкой товарной себестоимостью. При этом улучшается экологическая обстановка за счет стабилизации или снижения объемов отходов производства, экономятся валютные средства на закупку импортного оборудования и технологий, создаются дополнительные рабочие места, что в целом приобретает особое значение в современных условиях.

Предложенное комплексное решение проблемы переработки отходов позволяет использовать древесные и вязких нефтесодержащие отходы в качестве энергоресурсов для локальных систем теплоснабжения и производить двухкомпонентное твердое топливо с составом, отвечающим экологическим и энергетическим требованиям. Внедрение разработанной технологии и составов топлива позволяет сократить энергозатраты предприятий, потребляющих твердое топливо, увеличить долю местных видов топлива в энергетическом балансе региона, а также улучшить экологическую обстановку за счет снижения объемов отходов производства и обеспечить экономию природных ресурсов.

Серийное изготовление отечественных установок, их размещение в регионах Республики Беларусь позволяет повысить экономию валютных средств, создать дополнительные рабочие места, что приобретает особое значение в современных экономических условиях. Для реализации предлагаемых мероприятий по оснащению установками по производству разработанного твердого топлива необходима заинтересованность, прежде всего, государственных органов, осуществляющих деятельность в области повышения энергоэффективности, обращения с ресурсами, отходами и охраной окружающей среды.

Накопленный исследовательский и производственный опыт объективно доказывает, что данное направление является весьма перспективным с научной, практической и экологической точки зрения. Это дает возможность получить значительный энергетический и экономический эффект от совместного использования древесных и вязких нефтесодержащих отходов, улучшая при этом экологическую обстановку в местах складирования и производя местное твердое топливо с необходимыми энергетическими характеристиками и физико-химическими свойствами.

Выводы

1. Выполненный технико-экономический анализ оптимального размещения производства твердого топлива на основе смеси древесных и вязких нефтесодержащих отходов показал рациональность его размещения в г. Речице.

2. Экономический расчет себестоимости получения твердого топлива «Марка-4» на основе древесных отходов и смеси нефтепродуктов отработанных обосновывает возможность возврата капитальных вложений в течение 30 месяцев при двухсменной работе оборудования.

3. Определена окупаемость передвижной установки по производству твердого топлива марки УПНДО-0,35, которая составила 26,4 месяца.

4. Сравнение теплотехнических характеристик и удельной стоимости различных видов топлива показывает, что наименьшей стоимостью на рынке твер-

дого топлива обладает разработанное топливо с отпускной ценой в 59 рублей за тонну, а при пересчете в удельную стоимость различных видов топлива в зависимости от теплоты сгорания удельная цена составляет 1,36 копейки за 1 ккал, что также является значительным экономическим преимуществом.

5. Экономическая эффективность производства твердого топлива на основе смеси древесных и вязких нефтесодержащих отходов заключается в:

- невысокой себестоимости производства топлива;
- возможности использования только отечественного оборудования (способ отвечает критериям импортозамещения);
- увеличении качественных показателей топлива по теплоте сгорания;
- возможности использования полученного топлива в качестве основного и дополнительного к традиционным видам твердых топлив на существующем котельном оборудовании, используемом в локальных системах теплоснабжения без переоборудования и изменения его конструкции.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Основные научные результаты диссертации

1. На основе теории планирования эксперимента исследования процесса брикетирования смеси древесных отходов и нефтешламов установлено, что при получении разработанного твердого топлива для локальных систем теплоснабжения производительность шнекового пресса при формовании брикетов достигает максимального значения при влажности формуемой смеси, равной $43,4 \pm 0,9 \%$, в пределах изменения доли нефтешламов от 10 до 30 %; при этом в диапазоне влажности прессуемой смеси до 30 % и свыше 50 % получение качественного топлива не обеспечивается [8–А, 9–А, 12–А, 14–А, 15–А, 16–А, 18–А, 20–А].

2. Математическое моделирование процесса распространения выбросов оксидов азота, диоксида серы, монооксида углерода и твердых частиц при сжигании разработанного топлива в котлоагрегатах со слоевыми топками позволило установить аналитические зависимости максимальной безразмерной концентрации g выбросов от доли x нефтесодержащей компоненты в брикетах. Установлено, что кривая зависимости $g(x)$ для двухкомпонентного твердого топлива имеет минимум концентрации вредных веществ при доле нефтешламов, равной 0,13 [4–А, 6–А, 7–А, 10–А, 11–А, 18–А].

3. Предложен алгоритм решения задачи максимизации производительности шнекового пресса с использованием найденного уравнения регрессии в качестве целевой функции и зависимости максимальной безразмерной концентрации выбросов от доли нефтесодержащей компоненты в брикетах в качестве ограничения по экологическим требованиям уровня максимальной безразмерной концентрации в диапазоне от 0,9 до 1,0 [4–А, 9–А, 12–А, 13–А].

4. Разработана принципиально новая технология брикетирования твердого топлива на основе смеси древесных и вязких нефтесодержащих отходов, которая в отличие от существующих обеспечивает более высокую пожаробезопасность и экономичность за счет замены в технологической схеме брикетирования процесса сушки при подготовке и формировании топлив на процесс сушки уже сформированных брикетов при температуре 60–110 °С [1–А, 3–А, 5–А, 9–А, 10–А, 18–А, 19–А].

5. Проведен эксергетический анализ полученного твердого топлива позволяющий учитывать изменение его эксергии в зависимости от влажности и доли нефтешламов [2–А, 4–А, 9–А, 13–А, 19–А].

Рекомендации по практическому использованию результатов

1. Разработанная установка с прессом ПТМ-1 и методика расчета выбросов вредных веществ двухкомпонентного топлива могут использоваться проектными организациями для модернизации предприятий, на которых образуются древесные, вязкие нефтесодержащие отходы, насыщенные нефтепродуктами опилки, в целях повышения уровня использования вторичных отходов, обеспечивая «замкнутый цикл», а также обществами, вовлеченными в систему сбора и переработки вторичных ресурсов для получения из них топлива с приемлемыми экологическими показателями.

2. Разработанная технология производства двухкомпонентного твердого топлива, реализованная в передвижной установке УПНДО-0,35, может применяться предприятиями отраслевой принадлежности для ликвидации накопленных ранее отходов, не нашедших технологического применения, а также поддержания нормированных лимитов (объемов) древесных и вязких нефтесодержащих отходов в местах их образования.

3. По результатам исследований разработаны и защищены патентами на изобретения способ получения топлива и составы из смеси древесных и вязких нефтесодержащих отходов, разработаны технические условия ТУ ВУ 4903319372.001–2005 «Топливо твердое многокомпонентное. Технические условия», изменения № 1 от 01.02.2009 и № 2 от 05.03.2014, позволяющие производить и использовать твердое топливо для сжигания в бытовых топках, котлах и промышленных котельных [14–А, 15–А, 16–А, 17–А].

4. Разработаны и внедрены промышленная установка производительностью 1 т/ч по готовым брикетам в ОДО «ТеплоБел» и передвижная установка производительностью 350 кг/ч, которая прошла регистрацию в реестре оборудования по переработке отходов РУП «БелНИЦ Экология» [1–А, 3–А, 6–А, 7–А, 13–А, 18–А, 20–А].

5. Результаты диссертационной работы уже позволили утилизировать производственные отходы, не нашедшие технологического применения, что дало возможность осуществить рециклинг более 170 т вязких нефтесодержащих отходов на предприятиях ОАО «Гомельдрев» при строительстве завода по производству плиты МДФ/ХДФ, ОАО «Птицефабрика «Рассвет», РДУП «Гомельский завод «Эталон», ОАО «Гомельский ДСК», Филиал «Гомельские тепловые сети» РУП «Гомельэнерго» и др. [7–А, 10–А, 11–А, 12–А].

6. Экономическая эффективность от внедрения разработанного топлива в локальных системах теплоснабжения 1,82 раза выше, чем, например, от применения дров (кругляк), окупаемость производства твердого топлива с использованием установки марки УПНДО-0,35 составляет 26,4 месяца, а опытно-промышленной установки ПМТ-1 – 30 месяцев [2–А, 4–А, 5–А, 8–А, 11–А, 18–А].

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК**Список использованных источников**

1. Экономия и бережливость – главные факторы экономической безопасности государства : Директива Президента Республики Беларусь от 14 июня 2007 г. № 3 (Национальный реестр правовых актов Республики Беларусь, 2007 г., № 146, 1/8668).
2. О Концепции энергетической безопасности Республики Беларусь : Указ Президента Республики Беларусь от 17 сентября 2007 г. № 433 (Национальный реестр правовых актов Республики Беларусь, 2007 г., № 146, 1/8668).
3. Экономия и бережливость – главные факторы экономической безопасности государства : Директива Президента Республики Беларусь от 14 июня 2007 г. № 3 (Национальный реестр правовых актов Республики Беларусь, 2007 г., № 146, 1/8668).
4. Энергетический баланс Республики Беларусь : стат. сборник / Национальный статистический комитет Республики Беларусь ; [редакционная коллегия: В. И. Зиновский (председатель) и др.]. – Минск : Национальный статистический комитет Республики Беларусь, 2013. – 139 с.
5. Экономия и бережливость – важнейшие требования для поддержания национальной безопасности страны : эксклюзивное интервью с первым заместителем Премьер-министра Республики Беларусь В. И. Семашко // Энергоэффективность. – 2008. – № 8. – С. 5–10.
6. О Концепции энергетической безопасности Республики Беларусь : Указ Президента Республики Беларусь от 17 сентября 2007 г. № 433 (Национальный реестр правовых актов Республики Беларусь, 2007 г., № 146, 1/8668).
7. Свицерская, О. В. Основы энергосбережения / О. В. Свицерская. – Минск : ТетраСистемс, 2009. – 176 с.
8. Топливо-энергетические ресурсы. Энергетические ресурсы РБ: Категория: Лекции «Основы энергосбережения» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://energy-saved.ru/lektsii-osnovy-energoberezheniya/81-toplivno-jenergeticheskie-resursy-jenergeticheskie.html>. – Дата доступа: 24.11.2014.
9. Ковхуто, А. М. Минерально-сырьевые ресурсы Республики Беларусь и проблемы их комплексного освоения / А. М. Ковхуто, Л. А. Шакалов // Новости науки и технологий. – Минск, 2012. – № 4 (23). – С. 10–20.
10. Об утверждении стратегии развития энергетического потенциала Республики Беларусь : постановление Совета Министров Респ. Беларусь, 9 августа 2010 г., № 1180 // Нац. реестр правовых актов Респ. Беларусь. – 2010. – № 198. – 5/32338.

11. Национальная стратегия устойчивого социально-экономического развития Республики Беларусь на период до 2020 г. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.economy.gov.by/ru/macroeconomy/nacionalnaya-strategiya>. – Дата доступа: 24.11.2014.

12. Об обращении с отходами: Закон Респ. Беларусь от 20 июля 2007 г. № 271-З (от 8 июля 2008 г. № 367-З (с изм. и доп. от 28 декабря 2009 г. № 93-З, от 22 декабря 2011 г. № 328-З, от 7 января 2012 г. № 340-З, от 12 декабря 2012 г. № 6-З, от 4 января 2014 г. № 130-З) // Нац реестр правовых актов, 2007. – № 183. – 2/1368.

13. Об утверждении Национальной программы развития местных и возобновляемых энергоисточников на 2011–2015 гг. и признании утратившим силу постановления Совета Министров Республики Беларусь от 7 декабря 2009 г. № 1593 постановление Совета Министров Республики Беларусь 10 мая 2011 г. № 586.

14. Оценить энергетический потенциал углеводородосодержащих отходов, образующихся в Республике Беларусь и оценить антропогенное воздействие на окружающую среду при их использовании в качестве топлива»: Отчет о научно-исследовательской работе по заданию 1.5 ГНТП «Экологическая безопасность» (заключительный) 2008 года. – 98 с. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://minpriroda.gov.by/uploads/files/000481_710189_Report.doc – Дата доступа: 24.11.2014.

15. Мисун, Л. В. Отходы производства и потребления. Проблемы и решения / Л. В. Мисун, В. М. Раубо, Г. А. Рускевич. – Минск : БГАТУ, 2010. – 285 с.

16. Ходин, В. В. Использование углеводородсодержащих отходов в качестве вторичных энергетических ресурсов для целей энергосбережения / В. В. Ходин, В. С. Зубрицкий, Н. А. Кульбеда [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.iaea.org/inis/collection/NCLCollectionStore/_Public/40/106/40106490.pdf. – Дата доступа: 24.05.2015.

17. Севернев, М. М. Нетрадиционные возобновляемые источники энергии и местные виды топлива. Ресурсы и перспективы использования в Республике Беларусь / М. М. Севернев, В. В. Кузьмич // Белорусское сельское хозяйство. – 2008. – № 9 (77). – С. 11–15.

18. Экологический бюллетень 2008–2013 годов [Электронный ресурс] / Министерство природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Беларусь. – Режим доступа: <http://minpriroda.gov.by/ru/bulleten-ru>. – Дата доступа: 11.08.2015.

19. Реестр организаций Республики Беларусь, в процессе деятельности которых образуются углеводородсодержащие отходы [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.minpriroda.gov.by/dfiles/000481_638565_Reestr_organiz.pdf. – Дата доступа: 11.08.2014.

20. Реестр технологий и оборудования по подготовке углеводородсодержащих отходов к использованию в качестве топлива [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.minpriroda.gov.by/dfiles/000481_386351_reestr_tehnologii.pdf. – Дата доступа: 11.03.2015.

21. Охрана окружающей среды и природопользование. Отходы. Правила использования углеводородсодержащих отходов в качестве топлива : ТКП 17.11-01–2009. – Введ. 01.04.2009 (изм. 01.10.20103, 01.01.2013). – Минск : РУП «Бел НИЦ «Экология», 2013. – 28 с.

22. Нефть и нефтепродукты. Маркировка, упаковка, транспортировка и хранение : ГОСТ 1510–84. – Введ. 01.01.86. – М. : Стандартинформ, 2010. – 34 с.

23. Магарил, Р. З. Возможность получения товарных нефтепродуктов из промышленных и бытовых отходов / Р. З. Магарил, Л. В. Трушкова, А. Н. Пауков // Известия вузов. Нефть и газ. – 2003. – № 6. – С. 92–98.

24. Карник, Ж. Л. Нефтепереработка в Западной Европе и законы о вредных выбросах / Ж. Л. Карник // Нефть, газ и нефтехимия за рубежом. – 1991. – № 8. – С. 70–71.

25. Справочник по применению топлива и смазочных материалов / Е. С. Мельников [и др.]; под ред. М. М. Севернева. – Минск : Ураджай, 1989. – 303 с.

26. Барышев, В. И. Как изыскать и оживить резервы энергоэффективности / В. И. Барышев, В. И. Трутаев // Энергия и Менеджмент. – 2009. – Ноябрь–Декабрь. – С. 10–17.

27. Абдрахимов, Ю. Р. Разработка технологии комплексного использования неорганических отходов нефтепереработки и нефтехимии : дис. ... докт. техн. наук : 05.17.07 / Ю. Р. Абдрахимов. – Уфа, 1993. – 346 л.

28. Абросимов, А. А. Экология переработки углеводородных систем / А. А. Абросимов. – М. : Химия, 2002. – 608 с.

29. Бахонина, Е. И. Разработка адаптивной технологии переработки углеводородсодержащих отходов нефтехимии с использованием электромагнитного излучения СВЧ-диапазона : дис. ... канд. техн. наук : 02.00.13 / Е. И. Бахонина. – Уфа, 2008. – 114 л.

30. Бельков, В. М. Методы технологии и концепция утилизации углеродсодержащих промышленных и твердых бытовых отходов // Химическая промышленность. – 2000. – № 11. – С. 8–25.

31. Гомонай, М. В. Производство топливных брикетов, древесное сырье, оборудование, технологии, режимы работы : монография / М. В. Гомонай. – М. : ГОУ ВПО МГУЛ, 2006. – 68 с.

32. Использование древесной биомассы в энергетических целях : науч. обзор / С. П. Кундас [и др.]. – Минск : МГЭУ им. А. Д. Сахарова, 2008. – 85 с.

33. Кундас, С. П. Возобновляемые источники энергии : монография / С. П. Кундас, С. С. Позняк, Л. В. Шенец. – Минск : МГЭУ им. А. Д. Сахарова, 2009. – 315 с.
34. Лисиенко, В. Г. Топливо. Рациональное сжигание, управление и технологическое использование : справ. : в 3 кн. – Кн. 2. / В. Г. Лисиенко, Я. М. Щелоков, М. Г. Ладыгичев. – М. : Теплоэнергетик. – 2004. – 832 с.
35. Литвинова, Т. А. Экологические аспекты обезвреживания и утилизации углеводородсодержащих отходов нефтегазового комплекса : автореф. дис. ... канд. техн. наук : 03.02.08 / Т. А. Литвинова. – Краснодар, 2011. – 192 с.
36. Лысухо, Н. А. Отходы производства и потребления, их влияние на природную среду : монография / Н. А. Лысухо, Д. М. Ерошина. – Минск : МГЭУ им. А. Д. Сахарова, 2011. – 210 с.
37. Анализ использования и обезвреживания отходов производства в Республике Беларусь в 2010 г. / Т. И. Масловская [и др.] // Экологический вестник. – 2011. – № 1 (15). – С. 115–120.
38. Миннигалимов, Р. З. Разработка технологии переработки нефтяных шламов с применением энергии ВЧ и СВЧ электромагнитных полей : дис. : ... докт. техн. наук : 25.00.17 / Р. З. Миннигалимов. – Уфа, 2011. – 240 л.
39. Мисун, Л. В. Отходы производства и потребления. Проблемы и решения // Л. В. Мисун, В. М. Раубо, Г. А. Рускевич. – Минск : БГАТУ, 2010. – 285 с.
40. Модин Н. А. Брикетирование измельченной древесины и древесной коры / Н. А. Модин, А. Н. Ерошкин. – М. : Лесная промышленность, 1971. – 112 с.
41. Равич, М. Б. Уменьшение загрязнения воздушного бассейна при сжигании углеводородного топлива : конспект лекций / М. Б. Равич, А. М. Галева. – М. : МИНХИГП, 1983. – 59 с.
42. Наумович, В. М. Брикетирование торфа / В. М. Наумович, Б. Д. Перьмский. – Минск : Гос. изд-во БССР, 1946. – 110 с.
43. Пальгунов П. П., Сумароков М. В. Утилизация промышленных отходов / П. П. Пальгунов, М. В. Сумароков. – М. : Стройиздат, 1990. – 352 с.
44. Тимербаев, Н. Ф. Повышение эффективности энергетического использования древесных отходов : дис. ... канд. техн. наук : 05.17.08 / Н. Ф. Тимербаев. – Казань, 2007. – 148 л.
45. Филина, Н. А. Исследование сорбционных свойств древесных отходов для сбора нефтепродуктов с последующей утилизацией их в виде топливных брикетов / Н. А. Филина, С. Я. Алибеков // Экология и промышленность России. – 2012. – № 4. – С. 56–58.
46. Ясовеев, М. Г. Геоэкологические проблемы обращения с отходами в г. Минске и пути их решения / М. Г. Ясовеев, И. В. Чернова // Экологический вестник. – 2013. – № 1 (23). – С. 70–77.

47. Abrishamian, R. Two on site treatment methods reduce sludge waste quantities / R. Abrishamian, R. Kabrick, G. Swett // Oil and Gas Journal. – Tulsa : Penn-Well. – 1992. – Vol. 90. – No. 44. – P. 51–56.

48. Лисиенко, В. Г. Хрестоматия энергосбережения: справ. : в 2 кн. / В. Г. Лисиенко, Я. М. Щелоков, М. Г. Ладыгичев; под ред. В. Г. Лисиенко. – М. : Теплотехник, 2005. – 688 и 768 с.

49. Бельков, В. М. Методы, технологии и концепции утилизации углеродосодержащих промышленных и твердых отходов / В. М. Бельков // Электронный журнал энергосервисной компании «Экологические системы» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.esco-ecosys.narod.ru/2007_11/art49.htm. – Дата доступа : 17.11.2014.

50. Федоткин, И. М. Кавитация, кавитационная техника и технология, их использование в промышленности (теория, расчеты и конструкции кавитационных аппаратов) / И. М. Федоткин, И. С. Гулый. – Ч. 1. – Киев : Полиграфкнига, 1997. – 940 с.

51. Технология переработки смеси нефтепродуктов отработанных (СНО) в энергетическое дисперсное топливо с использованием установки УППТ [Электронный ресурс]. – Режим доступа: www.chisteco.ru/doki/uppt.doc. – Дата доступа : 25.08.2014.

52. Барышев, В. И. Как изыскать и оживить резервы энергоэффективности / В. И. Барышев, В. И. Трутаев // Энергия и Менеджмент. – 2009. – № 6 (51). – С. 10–17.

53. Рябов, Г. А. Совместное сжигание биомассы и ископаемых топлив – как способ наиболее эффективного вовлечения биомассы в энергетический баланс / Г. А. Рябов, Д. С. Литун, Е. С. Нестеров // Энергетика за рубежом. – 2011. – № 4. – С. 3–15.

54. Абдрахманов, Е. С. Анализ на факторы, влияющие на процесс брикетирования сырья / Е. С. Абдрахманов, Г. Д. Бозымбаев, М. С. Нургалиева // Наука и техника Казахстана. – 2011. – № 1–2. – С. 7–12.

55. Елишевич, А. Т. Брикетирование со связующими / А. Т. Елишевич. – М. : Недра, 1972. – 216 с.

56. Елишевич, А. Т. Брикетирование полезных ископаемых / А. Т. Елишевич. – Одесса : Лыбидь, 1990. – 296 с.

57. Николаева, Л. А. Брикетирование бурого угля с использованием модифицированного

58. Кислов, Н. В. Исчисление характеристик измельченных горных пород и продуктов их переработки : учеб.-метод. пособие для студ. Специальностей 1-36 10 01 «Горные машины и оборудование», 1-36 13 01 «Технология и оборудо-

дование торфяного производства» / Н. В. Кислов, П. В. Цыбуленко. – Минск : БНТУ, 2012. – 44 с.

59. Модин, Н. А. Брикетирование измельченной древесины и древесной коры / Н. А. Модин, А. Н. Ерошкин. – М. : Лесная промышленность. – 1971. – 112 с.

60. Филина, Н. А. Исследование сорбционных свойств древесных отходов для сбора нефтепродуктов с последующей утилизацией их в виде топливных брикетов : дис. ... канд. техн. наук : 03.02.08 / Н. А. Филина. – Йошкар-Ола, 2011. – 173 л.

61. Круглик, В. М. Основы энергосбережения: учеб. пособие для студентов экономических специальностей / В. М. Круглик, Н. Г. Сычев. – Минск : ИПД, 2010. – 138 с.

62. Топливо нефтяное. Мазут. Технические условия : ГОСТ 10585–99. – Введ. 01.01.2001. – М. : Стандартинформ, 2009. – 15 с.

63. Fisher, R. A. The design of experiments / R. A. Fisher. – Edinburgh and London : Oliver and Boyd, 1960. – 640 p.

64. Сидняев, П. И. Введение в теорию планирования эксперимента : учеб. пособие / П. И. Сидняев, Н. Т. Вилисова. – М. : Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2011. – 463 с.

65. Налимов, В. В. Теория эксперимента / В. В. Налимов. – М. : Наука, 1971. – 207 с.

66. Адлер, Ю. П. Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий / Ю. П. Адлер, Е. В. Маркова, Ю. В. Грановский. – М. : Наука, 1976. – 279 с.

67. Спиридонов, А. А. Планирование эксперимента при исследовании технологических процессов / А. А. Спиридонов. – М. : Машиностроение, 1981. – 184 с.

68. Планирование эксперимента [Электронный ресурс]. – Режим доступа : http://ru.wikipedia.org/wiki/Планирование_эксперимента. – Дата доступа 01.07.2014.

69. Рогов, В. А. Методика и практика технических экспериментов : учеб. пособие для вузов / В. А. Рогов, Г. Г. Позняк. – М. : Академия, 2005. – 283 с.

70. Батрак, А. П. Планирование и организация эксперимента : учеб. пособие к изучению теоретич. курса для студ. направления 220500 / А. П. Батрак. – Красноярск : ИПЦ СФУ, 2010. – 60 с.

71. Гайдадин, А. Н. Использование метода композиционного планирования эксперимента для описания технологических процессов : метод. указания / А. Н. Гайдадин, С. А. Ефремова (составители). – Волгоград : ВолГГУ, 2008. – 16 с.

72. Славутский, Л. А. Основы регистрации данных и планирования эксперимента : учеб. пособие / Л. А. Славутский. – Чебоксары : ЧГУ, 2006. – 200 с.

73. Ходасевич, Г. Б. Планирование эксперимента [Электронный ресурс]. – Режим доступа : http://opds.sut.ru/old/electronic_manuals/pe/index.htm. – Дата доступа 04.08.2014.

74. Vox G.E.P., Wilson K.B. On the Experimental Attainment of Optimum Conditions // Journal of the Royal Statistical Society. – 1951. – V. 13. – N 1. – P. 63–81.

75. Зедгинидзе, И. Г. Планирование эксперимента для исследования многокомпонентных систем / И. Г. Зедгинидзе. – М. : Наука, 1976. – 390 с.

76. Новый справочник химика и технолога. Процессы и аппараты химических технологий. Ч. 1 / под ред. Г. М. Островского. – СПб. : АНО НПО «Профессионал», 2004. – 848 с.

77. Спирин, Н. А. Методы планирования и обработки результатов инженерного эксперимента: конспект лекций (отдельные главы из учеб. для вузов) / Н. А. Спирин, В. В. Лавров; под общ. ред. Н. А. Спирина. – Екатеринбург : ГОУ ВПО УГТУ-УПИ, 2004. – 257 с.

78. Полубояринов, О. И. Плотность древесины / О. И. Полубояринов. – М. : Лесная промышленность, 1976. – 160 с.

79. Чашкин, Ю. Р. Математическая статистика. Анализ и обработка данных : учеб. пособие / Ю. Р. Чашкин. – М. : Феникс, 2010. – 236 с.

80. Теплота сгорания топлив. Твердое и жидкое топливо [Электронный ресурс] : Moscow Power Engineering Institute, Москва. – Режим доступа: <http://tw.t.mpei.ac.ru/MCS/Worksheets/Fuel/qa.xmcd>. – Дата доступа : 27.12.2014.

81. Блохин, А. В. Теория эксперимента [Электронный ресурс]: курс лекций – Режим доступа: <http://anubis.bsu.by/publications/elresources/Chemistry/blohin2.pdf> . – Электрон. версия печ. публикации, 2002.

82. Таблица значений критерия Стьюдента (t-критерия). Критические значения коэффициента Стьюдента (t-критерия) для различной доверительной вероятности p и числа степеней свободы f [Электронный ресурс] – Режим доступа : <http://www.vsetabl.ru/182.htm>. – Дата доступа : 04.09.2014.

83. Ахназарова, С. Л. Методы оптимизации эксперимента в химической технологии / С. Л. Ахназарова, В. В. Кафаров. – М. : Высшая школа, 1985. – 327 с.

84. Тейлор, Дж. Введение в теорию ошибок / Дж. Тейлор. – М. : Мир, 1985. – 272 с.

85. Спиридонов, В. В. Математическая обработка физико-химических данных / В. В. Спиридонов, А. А. Лопаткин. . М. : МГУ, 1970. – 221 с.

86. Инженерная экология и очистка выбросов промышленных предприятий : учеб. пособие для вузов / Б. М. Хрусталева [и др.]; под общ. ред. Хрусталева Б. М. – Минск : Витпостер, 2014. – 488 с.

87. Охрана окружающей среды и природопользование. Отходы. Правила использования углеводородсодержащих отходов в качестве топлива. Атмосфера.

Выбросы загрязняющих веществ в атмосферный воздух. Порядок определения выбросов при сжигании топлива в котлах теплопроизводительностью до 25 МВт : ТКП 17.08–01–2006 (02120). Изменение № 1. Введ. 01.03.2009. – Минск : Минприроды, 2006. – 30 с.

88. Методика расчета концентраций в атмосферном воздухе вредных веществ, содержащихся в выбросах предприятий. ОНД-86 [Электронный ресурс] // ГОСКОМГИДРОМЕТ. – Л. : Гидрометеиздат, 1987. – Режим доступа: http://www.infosait.ru/norma_doc/2/2826/index.htm. – Дата доступа: 27.11.2014.

89. Методическое пособие по расчету, нормированию и контролю выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух [Электронный ресурс] // НИИ Атмосфера. – СПб., 2005. – Режим доступа: http://www.infosait.ru/norma_doc/46/46202/. – Дата доступа: 17.11.2014.

90. Трифонова, Т. А. Прикладная экология / Т. А. Трифонова, Н. В. Селиванова, Н. В. Мищенко. – М. : Академич. проект, 2007. – 384 с.

91. Инженерная экология и очистка выбросов промышленных предприятий : учеб. пособие для вузов / Б. М. Хрусталева [и др.]; под общ. ред. Хрусталева Б. М. – Минск : Витпостер, 2014. – 488 с.

92. Эксергия [Электронный ресурс] : Большой Энциклопедический словарь. – Режим доступа: <http://dic.academic.ru/dic.nsf/enc3p/334106>. – Дата доступа: 27.11.2014.

93. Бродянский, В. М. Эксергетический метод и его приложения / В. М. Бродянский, В. Фратшер, К. Михалек. – М. : Энергоатомиздат, 1988. – 288 с.

94. Янговский, Е. И. Потоки энергии и эксергии / Е. И. Янговский. – М. : Наука, 1988. – 144 с.

95. Теоретические основы энерго- и ресурсосбережения в химической технологии : учеб. пособие / О.А. Тишин [и др.]. – Тамбов : Изд-во ФГБОУ ВПО «ТГТУ», 2012. – 92 с.

96. Топливо твердое минеральное. Методы определения влаги : ГОСТ 27314–91. Введ. 01.01.1993. – М. : Стандартинформ, 2009. – 15 с.

97. Брикетты древесные топливные. Общие технические условия : СТБ 2055-2010. Введ. 28.04.2010. – Мн. : БелГИСС, 2010. – 14 с.

98. Сажин, Б. С. Эксергетический метод в химической технологии / Б. С. Сажин, А. П. Булеков. – М. : Химия, 1992. – 208 с. 108

99. Степанов, В. С. Химическая энергия и эксергия веществ / В. С. Степанов. – Новосибирск : Наука, 1985. – 101 с.

100. Шаргут, Я. Эксергия / Я. Шаргут, Р. Петела. – М. : Энергия, 1968. – 280 с.

101. Романюк, В. Н. Интенсивное энергосбережение в теплотехнологических системах промышленного производства строительных материалов : дис. докт. техн. наук : 05.14.04 / В. Н. Романюк; БНТУ. – Минск, 2010. – 365 л.

102. Чечеткин, А. В. Теплотехника : учебник / А. В. Чечеткин, Н. А. Занемонец. – М. : Высш. шк., 1986. – 344 с.

103. Государственная программа «Энергосбережение» на 2016-2020 годы (в редакции постановления Совета Министров Республики Беларусь №1128 от 30.12.2016) [Электронный ресурс] // Департамент по энергоэффективности ГКС РБ. – Режим доступа:

<http://www.energoeffekt.gov.by/programs/basicdocuments/2309-2016-2020> – Дата доступа: 03.02.2017.

104. Агроскин, А.А. Теплофизика твердого топлива/ А.А Агроскин, В.Б. Глейбман. – М. : Недра., 1980. – 256 с.

105. Юткин, Л. А, Электрогидравлический эффект и его применение в промышленности/ Л. А Юткин. – Л.:Машиностроение., 1986. –253 с.

106. Охрана окружающей среды и природопользование. Отходы. Правила обращения с отработанными нефтепродуктами : ТКП 17.11-05–2012. – Введ. 23.07.2012. – Минск : РУП «Бел НИЦ «Экология», 2012. – 16 с.

Список публикаций соискателя

1–А. Пехота, А. Н. Многокомпонентное топливо на основе древесных отходов – одно из направлений решения задач энергосбережения / А. Н. Пехота // Вестник Белорусского государственного университета транспорта. Наука и транспорт. : науч.-произв. журн.– 2010. – № 1. – С. 121–122.

2–А. Хрусталева, Б. Многокомпонентное твердое топливо на основе малоиспользуемых отходов / Б. Хрусталева, А. Пехота // Энергетика и ТЭП. – 2011. – № 11. – С. 16–19.

3–А. Пехота, А. Н. Использование вторичных ресурсов в энергетическом балансе – дополнительный резерв энергосбережения и обеспечения стабильной сырьевой топливной базы / А. Н. Пехота // Вестник Брестского государственного университета. Водохозяйственное строительство, теплоэнергетика и геоэкология. – 2011. – № 2. – С. 53–55.

4–А. Хрусталева, Б. М. Технология эффективного использования углеводородсодержащих отходов в производстве многокомпонентного твердого топлива / Б. М. Хрусталева, А. Н. Пехота // Энергетика. Известия высших учебных заведений и энергетических объединений СНГ. – 2016, № 2. – 122–140.

5–А. Хрусталева, Б. М. Композиционное твердое топливо на основе вторичных горючих отходов / Б. М. Хрусталева, А. Н. Пехота // Энергоэффективность : ежемесячный научно-практический журнал. – 2016, № 4. –18–22.

6–А. Пехота, А. Н. Перспективы производства твердого многокомпонентного топлива / А. Н. Пехота // Проблемы безопасности на транспорте : науч.-практ. изд. – 2012. – С. 239.

7–А. Пехота, А. Н. Экологическая безопасность утилизации нефтесодержащих отходов / А. Н. Пехота, Ю. А. Пшеничных // Проблемы безопасности на транспорте : материалы VI Междунар. науч.-практ. конф. / М-во образования Респ. Беларусь, М-во трансп. и коммуникаций Респ. Беларусь, Белорус. ж. д., Белорус. гос. ун-т трансп. ; под общ. ред. В. И. Сенько. – Гомель : БелГУТ, 2012. – С. 240–241.

8–А. Хрусталева, Б. М. Энергоэффективное многокомпонентное твердое топливо на основе малоиспользуемых отходов / Б. М. Хрусталева, А. Н. Пехота // 66-я науч.-техн. конф. профессор.-преп. состава, науч. работников, докторантов и аспирантов БНТУ. – Минск : БНТУ, 2013. – С. 146.

9–А. Хрусталева, Б. М. Исследование и разработка многокомпонентных составов топлива с возможностью их использования в котельных в качестве МВТ / Б. М. Хрусталева, А. Н. Пехота // 67-я науч.-техн. конф. профессор.-преп. состава, науч. работников, докторантов и аспирантов БНТУ. – Минск : БНТУ, 2014. – С. 151.

10–А. Пехота, А. Н. Экологическая безопасность сжигания двухкомпонентного твердого топлива / А. Н. Пехота, Ю. А. Пшеничных // Трансграничное сотрудничество в области экологической безопасности и охраны окружающей среды : материалы II Междунар. науч.-практ. конф. / Гомельский обл. комитет природн. ресурсов и охраны окруж. среды, М-во образования Респ. Беларусь, Белорус. гос. ун-т трансп. – Гомель : БелГУТ, 2012. – С. 201–203.

11–А. Пехота, А. Н. Эффективное использование углеводородсодержащих промышленных отходов при создании топлива / А. Н. Пехота, Е.А. Пехота IV Międzynarodowa Konferencja Naukowa «Społeczeństwo i gospodarka wobec wyzwań XXI wieku. Energia w nauce i technice 2014» (Польша, Белостокский государственный политехнический университет, 2014). – С. 334–344.

12–А. Пехота, А. Н. Планирование эксперимента на установке для получения твердого многокомпонентного топлива на основе нефтешламных отходов / А. Н. Пехота, Ю. А. Пшеничных // Энерго- и материалосберегающие экологически чистые технологии : тез. докл. X Междунар. науч.-техн. конф. (Гродно, 15–16 окт. 2013 г.) / НАН Беларуси [и др.] ; редкол. : А. И. Свириденко (гл. ред.) [и др.]. – Гродно : ГрГУ, 2013. – С. 184.

13–А. Хрусталева, Б. М. Энергоэффективное многокомпонентное твердое топливо на основе нефтешламных отходов / Б. М. Хрусталева, А. Н. Пехота // Технология строительства и реконструкции : тез. докл. Междунар. науч. конф. / Минск, 24–25 ноября 2015 г. – Минск : БНТУ, 2015. – С. 126.

14–А. Способ получения топлива твердого многокомпонентного : пат. 18408 Респ. Беларусь, МПК С 10 L 5/48, С 10 L 5/06, С 10 L 5/36 / А. Н. Пехота, Б. М. Хрусталева ; заявитель Пехота Александр Николаевич; Хрусталева Борис

Михайлович (ВУ). – № а 20120656 ; заявл. 25.04.12 ; опубл. 30.08.14 // Афіцыйны бюл. / Нац. цэнтр інтэлектуал. уласнасці. – 2014. – № 3. – С. 174.

15–А. Состав для брикетирования топлива многокомпонентного : пат. 18463 Респ. Беларусь МПК С 10 L 5/04, С 10 L 5/48 / А. Н. Пехота, Б. М. Хрусталев; заявитель Пехота Александр Николаевич; Хрусталев Борис Михайлович (ВУ). – № а 20120655 ; заявл. 25.04.12 ; опубл. 30.08.14 // Афіцыйны бюл. / Нац. цэнтр інтэлектуал. уласнасці. – 2014. – № 3. – С. 207.

16–А. Состав для брикетирования топлива многокомпонентного : пат. 18130 Респ. Беларусь МПК С 10 L 5/44, С 10 L 5/48 / А. Н. Пехота, Б. М. Хрусталев; заявитель Пехота Александр Николаевич; Хрусталев Борис Михайлович (ВУ). – № а 20120676 ; заявл. 30.04.12 ; опубл. 30.04.14 // Афіцыйны бюл. / Нац. цэнтр інтэлектуал. уласнасці. – 2014. – № 2. – С. 124.

17–А. Топливо твердое многокомпонентное. Технические условия : ТУ ВУ 490319372.001–2005. – Введ. 18.04.2005 с Извещением № 1 и 2 об изменении технических условий. – Минск : Комитет по стандартизации, метрологии и сертификации при Совете Министров Республики Беларусь, рег. номер 019066 от 18.04.2005. – 8 с.

18–А. Хрусталев, Б.М. Оптимизация параметров технологии производства брикетов на основе нефтесодержащих и древесных отходов / Б.М. Хрусталев, А.Н. Пехота, Ю.А. Пшеничнов. // Материалы международной научно-практической конференции «Инновационные решения проблем экономики знаний Беларуси и Казахстана». – Минск : БНТУ, 2016. – С. 89-90.

19–А. Хрусталев, Б. М. К вопросу применения эксергетического метода термодинамического анализа при оценке и разработке энергоиспользования в промышленных теплотехнологиях / Б. М. Хрусталев, В.Н. Романюк, А. Н. Пехота // Энергетическая стратегия : науч.-практ. журнал. – 2017. – № 1. – С. 61–67.

20–А. Хрусталев, Б. М. Твердое топливо из углеводородсодержащих, древесных и сельскохозяйственных отходов для локальных систем теплоснабжения / Б. М. Хрусталев, А. Н. Пехота // Энергетика. Изв. высш. учеб. заведений и энерг. объединений СНГ. – 2017. – Т. 60, № 2. – С. 147–158.

ПРИЛОЖЕНИЯ

Приложение А

Копии патента № 18408 «Способ получения топлива твердого многокомпонентного»

РЭСПУБЛІКА БЕЛАРУСЬ



ПАТЭНТ

НА ВЫНАХОДСТВА

№ 18408

Способ получения топлива твердого многокомпонентного

Национальным центром интеллектуальной собственности
 у адміністрацыі Рэспублікі Беларусь
 «Аб патэнтах на вынаходствы, змешчаных у адной працэдуравой форме»
 Патэнтна-аўтарскае права абаронена
 Пехота Александр Николаевич; Хрусталёв Борис Михайлович
 (BY)

Аўтар (аўтары):

Пехота Александр Николаевич; Хрусталёв Борис Михайлович
 (BY)

Заявка №	а 20120656	Дата подачи	25.04.2012
Зарегистрирована у Дзяржаўным рэестры вынаходстваў?			09.04.2014
Дата пачатку дзеяння			25.04.2012

Генеральны дырэктар

П.М. Броўкін

**ОПИСАНИЕ
ИЗОБРЕТЕНИЯ
К ПАТЕНТУ**

(12)

РЕСПУБЛИКА БЕЛАРУСЬ



НАЦИОНАЛЬНЫЙ ЦЕНТР
ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ
СОБСТВЕННОСТИ

продолжение Приложения А

(19) ВУ (11) 18408

(13) С1

(46) 2014.08.30

(51) МПК

С 10L 5/06 (2006.01)

С 10L 5/48 (2006.01)

С 10L 5/36 (2006.01)

(54)

**СПОСОБ ПОЛУЧЕНИЯ ТОПЛИВА ТВЕРДОГО
МНОГОКОМПОНЕНТНОГО**

(21) Номер заявки: а 20120656

(22) 2012.04.25

(43) 2013.12.30

(71) Заявители: Пехота Александр Николаевич; Хрусталёв Борис Михайлович (ВУ)

(72) Авторы: Пехота Александр Николаевич; Хрусталёв Борис Михайлович (ВУ)

(73) Патентообладатели: Пехота Александр Николаевич; Хрусталёв Борис Михайлович (ВУ)

(56) RU 2100416 С1, 1997.

СТБ 2055-2010. Брикеты древесные топливные. Общие технические условия. Минск, Госстандарт, с. 2.

GE 5260 В, 2011.

RU 2130047 С1, 1999.

EA 000979 В1, 2000.

RU 2100414 С1, 1997.

AZ 20060128 А, 2008.

(57)

1. Способ получения топлива твердого многокомпонентного, включающий измельчение древесных отходов, дозировку и смешение их с нефтяными отходами при естественной температуре до получения однородной массы, продавливание полученной однородной массы шнековым прессом через формующую насадку и последующую сушку, **отличающийся** тем, что используют древесные отходы с влажностью 30-90 %, в смесь дополнительно вводят наполнители при следующем соотношении компонентов, мас. %:

древесные отходы	60-90
нефтяные отходы	5-30
наполнители	2-20,

продавливание однородной массы осуществляют под давлением 5-20 МПа с образованием в продавливаемой массе внутреннего продольного сквозного отверстия, продавленную массу разрезают на брикеты и сушат вначале при температуре 60-110 °С до влажности 30-40 %, а затем при температуре 30-60 °С до влажности 12-23 % или в естественных условиях при плюсовой температуре до влажности 12-23 %.

2. Способ по п. 1, **отличающийся** тем, что продавливание осуществляют через выходной цилиндрический канал формующей насадки с наружным диаметром 50-150 мм.

3. Способ по п. 1, **отличающийся** тем, что продавливание осуществляют через выходной канал формующей насадки с сечением в виде многоугольника, или квадрата, или квадрата со скругленными углами с диаметром описанной окружности 50-150 мм.

4. Способ по п. 1, **отличающийся** тем, что отношение наружного диаметра или диаметра описанной окружности выходного канала формующей насадки к диаметру внутреннего сквозного отверстия составляет 2-9.

5. Способ по п. 1, **отличающийся** тем, что разрезание на брикеты производят при отношении наружного диаметра продавленной массы к длине брикета, равном 0,12-1,0.

ВУ 18408 С1 2014.08.30

BY 18408 C1 2014.08.30

6. Способ по п. 1, отличающийся тем, что в качестве наполнителей используют лигнин, отходы лигнина, ветошь, насыщенную нефтепродуктами, отработанные гранулированные или волокнистые сорбенты, природные горючие минералы, углеродосодержащие отходы, органосодержащие отходы сельского хозяйства, отходы коммунально-бытового хозяйства или их смеси.

Изобретение относится к технологии получения твердого органосодержащего топлива. Данная технология может быть применена для получения брикетированного топлива, которое может быть использовано в быту и промышленности.

Известен способ получения брикетированного топлива [1], включающий продавливание измельченных растительных отходов с влажностью 3,5-15 % через формующий канал под воздействием импульсного давления 25-40 МПа с частотой 35-80 импульсов в минуту, при нагреве измельченных отходов на входе формующего канала до температуры 120-150 °С и на выходе 170-250 °С.

Недостатками данного способа являются сложность технологического оборудования для производства, необходимость подготовки измельченных отходов путем предварительного нагрева и обеспечения их влажности 3,5-15 %.

Известен способ получения топливного брикета [2], заключающийся в том, что в данном способе используют утилизированные древесные опилки, насыщенные нефтепродуктами 80-85 мас. с влажностью 75-85 %, и древесную муку 15-20 мас. Компоненты дозируют, смешивают, укладывают в форму и прессуют под давлением 4,5-5 МПа.

Недостатками данного способа являются низкая производительность из-за необходимости вести прессование в формах и использование малого ассортимента отходов местного производства.

Известен способ получения топливного брикета [3], включающий дозирование и смешение измельченных органических топлив с отходами переработки нефти, экструдирование смеси в шнековом прессе под давлением 0,2-0,6 МПа через коническую формующую насадку, нагретую до температуры 120-150 °С, с выходным цилиндрическим каналом и последующую сушку.

Недостатком данного способа является необходимость подогрева конической насадки, что увеличивает энергозатраты на производство.

Ближайшим техническим решением (прототип) является способ получения топливного брикета [4], заключающийся в том, что для данного способа используют смесь древесных отходов 80-90 мас. в виде рубленой щепы, стружек, опилок и т.п. с размером частиц 1-50 мм с влажностью 30-70 % и отходы битумного производства 10-20 мас. Все компоненты дозируют, засыпают в бункер, смешивают при обычной температуре до получения однородной массы и полученную смесь продавливают под давлением 0,2-0,3 МПа через коническую насадку шнекового пресса, нагретую до температуры 120-130 °С. Для лучшего перемешивания компонентов предварительно битумные отходы подогревают до температуры 90-100 °С, затем полученные брикеты сушат в специальном помещении при температуре 60-70 °С в течение 24-36 ч.

Недостатками предлагаемого изобретения являются необходимость нагрева конической насадки, что увеличивает энергозатраты на производство, необходимость предварительной подготовки измельченных древесных отходов путем обеспечения влажности 30-70 %, использование малого ассортимента отходов местного производства.

Задачей данного изобретения является уменьшение энергозатрат на производство топлива и подготовку сырья, предотвращение самовозгорания при использовании нефтесодержащих компонентов, улучшение теплотворных и физико-механических свойств,

ВУ 18408 С1 2014.08.30

расширение ассортимента использования отходов местного производства, увеличение времени хранения топлива, утилизация отходов промышленного производства.

Поставленная задача достигается за счет того, что в способе получения топлива твердого многокомпонентного, включающем измельчение древесных отходов, дозировку и смешение их с нефтяными отходами при естественной температуре до получения однородной массы, продавливание полученной однородной массы шнековым прессом через формующую насадку и последующую сушку, по изобретению используют древесные отходы с влажностью 30-90 %, в смесь дополнительно вводят наполнители при следующем соотношении компонентов, мас. %:

древесные отходы	60-90
нефтяные отходы	5-30
наполнители	2-20,

продавливание однородной массы осуществляют под давлением 5-20 МПа с образованием в продавливаемой массе внутреннего продольного сквозного отверстия, продавленную массу разрезают на брикеты и сушат вначале при температуре 60-110 °С до влажности 30-40 %, а затем при температуре 30-60 °С до влажности 12-23 % или в естественных условиях при плюсовой температуре до влажности 12-23 %. При этом:

продавливание осуществляют через выходной цилиндрический канал формующей насадки с наружным диаметром 50-150 мм;

продавливание осуществляют через выходной канал формующей насадки с сечением в виде многоугольника, или квадрата, или квадрата со скругленными углами с диаметром описанной окружности 50-150 мм;

отношение наружного диаметра или диаметра описанной окружности выходного канала формующей насадки к диаметру внутреннего сквозного отверстия составляет 2-9.

разрезание на брикеты производят при отношении наружного диаметра продавленной массы к длине брикета, равном 0,12-1,0;

в качестве наполнителей используют лигнин, отходы лигнина, ветошь, насыщенную нефтепродуктами, отработанные гранулированные или волокнистые сорбенты, природные горючие минералы, углеродосодержащие отходы, органосодержащие отходы сельского хозяйства, отходы коммунально-бытового хозяйства или их смеси.

Предложенный способ позволяет решить поставленные задачи:

использование древесных отходов с повышенной влажностью до 90 %, различных нефтяных отходов и наполнителей позволяет расширить ассортимент используемых отходов местного производства и улучшить экологическое состояние окружающей среды, а также улучшить теплотворную способность топлива и увеличить время хранения топлива;

наличие внутреннего продольного сквозного отверстия увеличивает площадь испарения влаги, что позволяет вести сушку интенсивнее, а также в естественных условиях, что уменьшает энергозатраты на производство.

При горении топливного брикета наличие внутреннего продольного сквозного отверстия увеличивает площадь горения и создаются турбулентные вихревые потоки в зоне горения, что повышает теплоту сгорания. Вследствие чего происходит более полное и качественное сгорание. Вредные вещества сгорают и разлагаются более полно, при этом выбросы не превышают предельно допустимые концентрации, что также повышает экологическое состояние окружающей среды;

продавливание под давлением 5-20 МПа повышает температуру продавливаемой массы, вследствие чего происходит поликонденсация смолистых веществ и выделение из древесных отходов лигнина, что при высыхании топлива приводит к улучшению свойств топлива;

осуществление сушки в две стадии позволяет избежать самовоспламенения и ускорить время сушки. Вначале сушат при температуре 60-110 °С до влажности 30-40 %, а затем при температуре 30-60 °С (которая ниже температуры воспламенения паров нефтепродук-

ВУ 18408 С1 2014.08.30

тов) до влажности 12-23 % или в естественных условиях при плюсовой температуре до влажности 12-23 %.

Предложенный способ получения топлива твердого многокомпонентного заключается в следующем.

Предварительно готовят (сортируют и измельчают при необходимости) следующие составные компоненты для получения топлива твердого многокомпонентного: древесные отходы, нефтяные отходы, наполнители.

В качестве древесных отходов используют уже измельченные древесные отходы, представляющие собой древесно-опилочную смесь лиственных и хвойных пород, отходы деревообрабатывающей промышленности в виде рубленой щепы, стружек, опилок и т.п. с размером частиц до 10 мм и влажностью 30-90 %. При необходимости отходы измельчают общеизвестными дробилками до размера частиц 10 мм. При этом допускается содержание частиц с размером до 20 мм в количестве до 20 % от общего количества древесных отходов. Древесные отходы берут без предварительной сушки, при этом могут использоваться древесные отходы, имеющие повышенную влажность до 90 %, которую они приобретают в результате длительного хранения под открытым небом.

В качестве нефтяных отходов берут любые отходы или их смеси: отходы синтетических и минеральных масел, отходы смеси нефтепродуктов, отработанные эмульсии, нефтешламы добычи и переработки нефти, грунт, загрязненный нефтью, донные отложения, мазутных резервуаров, очистных сооружений, очистки трубопроводов и емкостей и др.

В качестве наполнителей используют лигнин, отходы лигнина, ветошь, насыщенную нефтепродуктами (например, обтирочный материал, отработанные масляные фильтры, фитили и щетки железнодорожных полстеров), отработанные гранулированные или волокнистые сорбенты (например, "С-Верад", "СоНет", "Лигносорб", "Экоторф", "Эколан" и др.), природные горючие минералы (например, угольная пыль, горючие сланцы, торф), углеродосодержащие отходы (например, резина, кожа, автопокрышки, парафин), органосодержащие отходы сельского хозяйства (например, навоз, солома, костра, шелуха подсолнуха), отходы коммунально-бытового хозяйства (например, иловые остатки очистных сооружений, упаковка бумажная картонная, ткани) или их смеси.

При этом содержание составляющих компонентов берется в следующем соотношении, мас. %:

древесные отходы	60-90
нефтяные отходы	5-30
наполнители	2-20.

Производят дозирование, засыпают компоненты в бункер и смешивают при естественной температуре общеизвестными смесителями до получения однородной массы, допускается смешивание до неоднородного состояния (приблизительно до 20 %).

После перемешивания однородную массу продавливают (формируют) шнековым прессом через коническую формующую насадку шнекового пресса с выходным цилиндрическим каналом под давлением 5-20 МПа с одновременным образованием внутреннего сквозного продольного отверстия в продавливаемой массе. В табл. 1 показана способность к формированию брикета в зависимости от давления продавливания и наружного диаметра брикета. Разрезают продавливаемую массу на брикеты и сушат в две стадии. Вначале (основная стадия сушки) при температуре 60-110 °С до влажности 30-40 %, а затем (окончательная стадия сушки) при температуре 30-60 °С до влажности 12-23 % или сушки в естественных условиях при плюсовой температуре до влажности 12-23 %.

Сушку брикета осуществляют в общеизвестных сушильных камерах, помещениях, оборудованных, например, теплогенераторами, в специальных печах. Длительность основной стадии сушки зависит от различий между влажностью на поверхности брикета и количеством несвязанной воды внутри брикета. Основная стадия сушки заканчивается, когда влажность достигает критической величины и вода с поверхности брикета испаря-

ВУ 18408 С1 2014.08.30

ется быстрее, чем поступает изнутри брикета, и температура брикета начинает расти. Окончательная стадия сушки осуществляется при температуре 30-60 °С (которая ниже температуры самовоспламенения паров нефти) до влажности 12-23 % или под навесом в естественных условиях до влажности 12-23 %. Наличие отверстия внутри брикета увеличивает площадь контакта с осушающим агентом (теплым воздухом), при этом испарение происходит одновременно как с внешней стороны, так и изнутри сформованного брикета.

Выбор наружного диаметра брикета, диаметра внутреннего сквозного продольного отверстия и длины брикета производится из условий удобства использования, транспортировки и хранения брикета с соблюдением прочностных характеристик. Для использования топлива в быту продавливание осуществляется через выходной цилиндрический канал формующей насадки с наружным диаметром 50-100 мм, а для использования топлива в промышленности продавливание осуществляется через выходной цилиндрический канал формующей насадки с наружным диаметром 100-150 мм.

Для расширения потребительских качеств брикета продавливание массы также может осуществляться через выходной канал формующей насадки, с сечением в виде многоугольника, или квадрата, или квадрата с скругленными углами и диаметром описанной окружности 50-150 мм.

Экспериментальным путем была установлена зависимость наружного диаметра брикета и диаметра отверстия внутри брикета, при которой происходит формирование брикета с сохранением формы и при этом увеличивается теплота сгорания. Отношение наружного диаметра или диаметра описанной окружности выходного канала формующей насадки к диаметру внутреннего сквозного отверстия брикета составляет 2-9.

Также экспериментальным путем была установлена зависимость длины брикета от наружного диаметра, при которой в процессе изготовления и транспортирования сохраняются удобство использования и прочностные свойства. Разрезание на брикеты производят при отношении наружного диаметра продавливаемой массы к длине брикета, равному 0,12 -1,0.

Нефтяные отходы, находящиеся в однородной смеси, являются основным связующим материалом и повышают теплотехнические характеристики топлива твердого многокомпонентного. При продавливании однородной смеси в шнековом прессе и формующей конической насадке шнекового пресса создается непрерывное давление и трение в месте расположения прессующего шнека и в рабочей части конической формующей насадки шнекового пресса. Вследствие чего возникают силы сопротивления в виде сил трения. Давление от прессующего шнека уплотняет однородную смесь по всему объему, при этом удаляется часть влаги, а под действием сил сжатия и трения повышается температура продавливаемой однородной смеси. При повышении температуры и давления из древесных компонентов продавливаемой однородной смеси выделяется естественное связующее - лигнин. Под воздействием температуры лигнин пластифицируется, при высыхании дает дополнительную твердость вместе с основным связующим компонентом (отходами нефтепродуктов) и уменьшает гигроскопичность топлива. Одновременно в процессе формирования однородной смеси при повышенной температуре и давлении происходит поликонденсация смолистых веществ древесины и релаксация внутренних напряжений, что также повышает прочность сформованного брикета.

Апробацию способа проводили на следующих компонентных составах, при этом наполнители использовали как однокомпонентные, так и их смесь, мас. %:

пример 1: древесно-опилочная смесь - 90, нефтяные отходы - 8, наполнители - 2;

пример 2: древесно-опилочная смесь - 75, нефтяные отходы - 5, наполнители - 20;

пример 3: древесно-опилочная смесь - 60, нефтяные отходы - 30, наполнители - 10.

Топливные брикеты, изготовленные описанным способом (согласно указанным примерам), показали, что брикеты имеют одинаковые физико-механические свойства с расхождением параметров в пределах допуска 5 %.

ВУ 18408 С1 2014.08.30

Результаты испытаний свойств топлива твердого многокомпонентного, полученного при оговоренных режимах и составах, представлены в табл. 2.

Наличие нефтесодержащих отходов и внутреннего отверстия в брикете увеличивают теплоту сгорания. Отверстие увеличивает площадь горения и создает турбулентные вихревые потоки в зоне горения, которые обеспечивают более полное сгорание топлива и контролируемых компонентов, что подтверждается низкой зольностью и содержанием серы (зольность - 10,1 % при норме 23,0 %; сера - 0,3 %).

Использование нефтяных отходов придает пластичность формируемой смеси, поэтому в данной технологии допускается к применению более вязкие виды нефтяных отходов, возможность использования которых в других технологиях затруднена или требует дополнительных затрат на их разогрев. Входящие в состав брикетов нефтесодержащие отходы также повышают гидрофобные свойства топлива, что способствует более длительному хранению топлива и защите от влаги.

Преимущественным отличием от других видов твердого топлива служит возможность производства брикетов различных типоразмеров (длиной до 1000 мм) при диаметре 50-150 мм, которые могут использоваться в различных эксплуатируемых энергоустановках.

Испытания, проведенные в Экологической лаборатории ПРУП "Экопластсервис" (Аттестат аккредитации ВУ/112 02.2.0.3479 от 29.01.2007 г.), подтвердили высокие свойства топливных брикетов (протокол № 1 и № 2 от 27.10.2008).

Источники информации:

1. Патент SU 1798367, 1993.
2. Патент RU 2309976, 2007.
3. Патент RU 2100414, 1997.
4. Патент RU 2100416, 1997.

РЭСПУБЛІКА БЕЛАРУСЬ



ПАТЭНТ

НА ВЫНАХОДСТВА

№ 18130

Состав для брикетирования топлива многокомпонентного

выдадзены

Нацыянальным цэнтрам інтэлектуальнай уласнасці
ў адпаведнасці з Законам Рэспублікі Беларусь

«Аб патэнтах на вынаходствы, карысныя мадэлі, прамысловыя ўзоры»

Патэнтаўладальнік (патэнтаўладальнікі):

Пехота Александр Николаевич; Хрусталёв Борис Михайлович
(ВУ)

Аўтар (аўтары):

Пехота Александр Николаевич; Хрусталёв Борис Михайлович
(ВУ)

Заяўка № а 20120676

Дата падачы: 2012.04.30

Зарэгістравана ў Дзяржаўным рэестры
вынаходстваў:

2013.12.24

Дата пачатку дзеяння:

2012.04.30

Генеральны дырэктар

П.М. Броўкін

продолжение Приложения Б

**ОПИСАНИЕ
ИЗОБРЕТЕНИЯ
К ПАТЕНТУ**
(12)

РЕСПУБЛИКА БЕЛАРУСЬ



НАЦИОНАЛЬНЫЙ ЦЕНТР
ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ
СОБСТВЕННОСТИ

(19) ВУ (11) 18130

(13) С1

(46) 2014.04.30

(51) МПК

С 10L 5/44 (2006.01)

С 10L 5/48 (2006.01)

(54)

**СОСТАВ ДЛЯ БРИКЕТИРОВАНИЯ ТОПЛИВА
МНОГОКОМПОНЕНТНОГО**

(21) Номер заявки: а 20120676

(22) 2012.04.30

(43) 2013.12.30

(71) Заявители: Пехота Александр Николаевич; Хрусталёв Борис Михайлович (ВУ)

(72) Авторы: Пехота Александр Николаевич; Хрусталёв Борис Михайлович (ВУ)

(73) Патентообладатели: Пехота Александр Николаевич; Хрусталёв Борис Михайлович (ВУ)

(56) RU 2100416 С1, 1997.
RU 2130047 С1, 1999.
RU 2098451 С1, 1997.
RU 2010842 С1, 1994.
ВУ 5407 С1, 2003.
СА 2746998 А1, 2010.
JP 2007-39611 А.

(57)

1. Состав для брикетирования топлива многокомпонентного, включающий измельченные древесные отходы и отходы нефтепродуктов, отличающийся тем, что древесные отходы имеют влажность 30-90 % и дополнительно содержат лигнин или отходы лигнина и сорбенты отработанные, насыщенные нефтепродуктами, при следующем соотношении компонентов, мас. %:

древесные отходы	60-80
отходы нефтепродуктов	10-30
лигнин или отходы лигнина	5-10
сорбенты отработанные, насыщенные нефтепродуктами	5-10.

2. Состав по п. 1, отличающийся тем, что в качестве отходов нефтепродуктов содержит отходы синтетических или минеральных масел, смеси нефтепродуктов отработанные, эмульсии отработанные, нефтешламы добычи и переработки нефти, мазутных резервуаров, очистных сооружений или очистки трубопроводов и емкостей или их смеси.

3. Состав по п. 1, отличающийся тем, что содержит лигнин или отходы лигнина целлюлозобумажного и/или гидролизного производства.

4. Состав по п. 1, отличающийся тем, что в качестве сорбентов отработанных, насыщенных нефтепродуктами, содержит войлок, гранулированные или волокнистые сорбенты или их смеси.

Изобретение относится к технологии получения твердого органосодержащего топлива многокомпонентного, в частности к составам брикетированного топлива, которое может быть использовано в быту и промышленности.

Известен состав для брикетирования топлива [1], включающий торф 20-80 мас. % с влажностью 40-50 %, отходы переработки нефти 5-15 мас. %, древесные отходы - остальное.

Недостатком данного состава является то, что данный состав использует ограниченный состав отходов местного производства.

ВУ 18130 С1 2014.04.30 продолжение Приложения Б

Известен состав для брикетированного топлива [2], включающий древесные отходы 25-65 мас. % с размером частиц 1-50 мм и влажностью 50-70 %, навоз 30-60 мас. % с влажностью 50-70 %, отходы переработки нефти 5-15 мас. %.

Недостатком данного состава является то, что влажность древесных отходов должна быть 30-70 % и данный состав использует ограниченный состав отходов местного производства.

Наиболее близким к заявляемому (прототипом) составу является состав для брикетированного топлива [3], включающий древесные отходы 80-90 мас. % с размером частиц 1-50 мм и влажностью 30-70 % и в качестве связующего включающий отход битумного производства 10-20 мас. %.

Недостатком данного состава является то, что влажность древесных отходов должна быть 30-70 %, используется ограниченный состав отходов местного производства, в качестве связующего используется строго определенный отход (отход битумного производства), а также необходимость предварительного подогрева битумных отходов.

Задачей предлагаемого изобретения является использование древесных отходов с повышенной влажностью, расширение ассортимента использования отходов местного производства, повышение теплотворной способности брикетированного топлива, снижение энергоемкости при изготовлении брикетированного топлива.

Поставленная задача решается тем, что в предложенном составе для брикетирования топлива, включающем измельченные древесные отходы и отходы нефтепродуктов, по изобретению древесные отходы имеют влажность 30-90 % и дополнительно содержат лигнин или отходы лигнина и сорбенты отработанные, насыщенные нефтепродуктами, при следующем соотношении компонентов, мас. %:

древесные отходы	60-80
отходы нефтепродуктов	10-30
лигнин или отходы лигнина	5-10
сорбенты отработанные, насыщенные нефтепродуктами	5-10.

При этом:

в качестве отходов нефтепродуктов содержит отходы синтетических или минеральных масел, смеси нефтепродуктов отработанные, эмульсии отработанные, нефтешламы добычи и переработки нефти, мазутных резервуаров, очистных сооружений или очистки трубопроводов и емкостей или их смеси;

содержит лигнин или отходы лигнина целлюлозобумажного и/или гидролизного производства;

в качестве сорбентов отработанных, насыщенных нефтепродуктами, содержит войлок, гранулированные или волокнистые сорбенты или их смеси.

Использование измельченных древесных отходов с влажностью 30-90 %, отходов нефтепродуктов, дополнительное использование лигнина или отходов лигнина и сорбентов отработанных, насыщенных нефтепродуктами, позволяет расширить ассортимент отходов местного производства, используемых для приготовления брикетированного топлива, и уменьшить энергоемкость при изготовлении топлива брикетированного, так как нет необходимости предварительного уменьшения влажности древесных отходов. Использование отходов нефтепродуктов позволяет повысить теплотворную способность брикетированного топлива.

Проведенный заявителем анализ уровня техники позволил установить, что аналоги, характеризующиеся совокупностями признаков, тождественными всем признакам заявляемого состава для брикетирования топлива многокомпонентного, отсутствуют. Следовательно, заявляемое техническое решение соответствует критерию "новизна".

Результаты поиска известных решений в данной и смежных областях техники с целью выявления признаков, совпадающих с отличительными от прототипа признаками заявленного изобретения, показали, что они не следуют явным образом из уровня техники.

ВУ 18130 С1 2014.04.30 Продолжение Приложения Б

Из определенного заявителем уровня техники не выявлена известность влияния предусматриваемых существенными признаками заявленного изобретения на достижение указанных технических результатов. Следовательно, заявленное изобретение удовлетворяет условию патентоспособности "изобретательский уровень".

Для приготовления указанного выше состава используют компоненты в следующих соотношениях, мас. %:

древесные отходы	60-80
отходы нефтепродуктов	10-30
лигнин или отходы лигнина	5-10
сорбенты отработанные, насыщенные нефтепродуктами	5-10.

В качестве древесных отходов используют уже измельченные древесные отходы, представляющие собой древесно-опилочую смесь лиственных и хвойных пород, отходы деревообрабатывающей промышленности в виде рубленой щепы, стружек, опилок и т.п., с размером частиц до 10 мм и влажностью 30-90 %. При необходимости отходы измельчают общеизвестными дробилками до размера частиц 10 мм. При этом допускается содержание частиц с размером до 20 мм в количестве до 20 % от общего количества древесных отходов. Древесные отходы берут без предварительной сушки, при этом могут использоваться древесные отходы, имеющие повышенную влажность до 90 %, которую они приобретают в результате длительного хранения под открытым небом.

В качестве отходов нефтепродуктов берут, отходы синтетических или минеральных масел, смеси нефтепродуктов отработанные, эмульсии отработанные, нефтешламы добычи и переработки нефти, мазутных резервуаров, очистных сооружений или очистки трубопроводов и емкостей или их смеси.

В качестве лигнина или отходов используется лигнин или отходы лигнина целлюлозно-бумажного и/или гидролизного производства.

В качестве сорбентов отработанных, насыщенных нефтепродуктами, используется войлок, гранулированные или волокнистые сорбенты или их смеси (например, "С-Верад", "СоНеТ", "Лигносорб", "Экоторф", "Эколан" и др.).

Отходы нефтепродуктов и нефтепродукты, содержащиеся в сорбентах, насыщенных нефтепродуктами, являются основным связующим материалом и повышают теплотехнические характеристики брикетированного топлива.

Состав для брикетирования топлива многокомпонентного готовят следующим образом.

Компоненты дозируют, засыпают в бункер, смешивают при обычной температуре до получения однородной массы и полученную смесь продавливают через формующую насадку шнекового пресса. Разрезают на мерные куски (брикет), например, цилиндрической формы с диаметром 50-150 мм и длиной до 1000 мм и сушат до влажности 12-23 %.

Примеры составов и результаты испытаний физико-механических свойств брикетов приведены в таблице.

		Примеры		
		1	2	3
Состав	Древесные отходы, мас. %	60	70	80
	Отходы нефтепродуктов, мас. %	30	20	10
	Лигнин или отходы лигнина, мас. %	5	5	5
	Сорбенты отработанные, насыщенные нефтепродуктами, мас. %	5	5	5
Характеристики	Плотность, г/см ³	1,1	1,0	1,0
	Теплотворная способность, ккал/кг	4720	4330	4210
	Зольность, %	9,35	10,1	10,1
	Сера, %	0,25	0,3	0,3

РЭСПУБЛІКА БЕЛАРУСЬ Приложение В



ПАТЭНТ

НА ВЫНАХОДСТВА

№ 18463

Состав для брикетирования топлива многокомпонентного

выдадзены

Нацыянальным цэнтрам інтэлектуальнай уласнасці
ў адпаведнасці з Законам Рэспублікі Беларусь
«Аб патэнтах на вынаходствы, карысныя мадэлі, прамысловыя ўзоры»

Патэнтаўладальнік (патэнтаўладальнікі):

Пехота Александр Николаевич; Хрусталёв Борис Михайлович
(ВУ)

Аўтар (аўтары):

Пехота Александр Николаевич; Хрусталёв Борис Михайлович
(ВУ)

Заяўка № а 20120655

Дата падачы: 25.04.2012

Зарэгістравана ў Дзяржаўным рэестры
вынаходстваў:

22.04.2014

Дата пачатку дзеяння:

25.04.2012

Генеральны дырэктар

П.М. Броўкін



**ОПИСАНИЕ
ИЗОБРЕТЕНИЯ
К ПАТЕНТУ**

(12)

РЕСПУБЛИКА БЕЛАРУСЬ



НАЦИОНАЛЬНЫЙ ЦЕНТР
ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ
СОБСТВЕННОСТИ

продолжение Приложения В

(19) **ВУ** (11) **18463**(13) **С1**(46) **2014.08.30**

(51) МПК

C 10L 5/04 (2006.01)**C 10L 5/48** (2006.01)

(54)

**СОСТАВ ДЛЯ БРИКЕТИРОВАНИЯ ТОПЛИВА
МНОГОКОМПОНЕНТНОГО**

<p>(21) Номер заявки: а 20120655 (22) 2012.04.25 (43) 2013.12.30 (71) Заявители: Пехота Александр Николаевич; Хрусталёв Борис Михайлович (ВУ) (72) Авторы: Пехота Александр Николаевич; Хрусталёв Борис Михайлович (ВУ)</p>	<p>(73) Патентообладатели: Пехота Александр Николаевич; Хрусталёв Борис Михайлович (ВУ) (56) RU 2100416 С1, 1997. RU 2100414 С1, 1997. RU 2100415 С1, 1997. RU 2098451 С1, 1997. RU 2010842 С1, 1994. AZ 20060128 А, 2008.</p>
---	--

(57)

1. Состав для брикетирования топлива многокомпонентного, включающий измельченные древесные отходы и отходы нефтепродуктов, **отличающийся** тем, что содержит древесные отходы с влажностью 30-90 % и дополнительно содержит ветошь, насыщенную нефтепродуктами, при следующем соотношении компонентов, мас. %:

древесные отходы	60-80
отходы нефтепродуктов	10-30
ветошь, насыщенная нефтепродуктами	2-10.

2. Состав по п. 1, **отличающийся** тем, что в качестве отходов нефтепродуктов содержит отходы синтетических и минеральных масел, смеси нефтепродуктов отработанные, эмульсии отработанные, нефтешламы добычи и переработки нефти, мазутных резервуаров, очистных сооружений, очистки трубопроводов и емкостей или их смеси.

Изобретение относится к технологии получения твердого органосодержащего топлива многокомпонентного, в частности к составам брикетированного топлива, которое может быть использовано в быту и промышленности.

Известен состав для брикетирования топлива [1], включающий торф 20-80 мас. % с влажностью 40-50 %, отходы переработки нефти 5-15 мас. %, древесные отходы - остальное.

Недостатком данного состава является то, что данный состав использует ограниченный состав отходов местного производства.

Известен состав для брикетированного топлива [2], включающий древесные отходы 25-65 мас. % с размером частиц 1-50 мм и влажностью 50-70 %, навоз 30-60 мас. % с влажностью 50-70 %, отходы переработки нефти 5-15 мас. %.

Недостатком данного состава является то, что влажность древесных отходов должна быть 30-70 % и данный состав использует ограниченный состав отходов местного производства.

RU 2014.08.30

ВУ 18463 С1 2014.08.30 продолжение Приложения В

Наиболее близким (прототипом) к заявляемому составу является состав для брикетированного топлива [3], включающий древесные отходы 80-90 мас. % с размером частиц 1-50 мм и влажностью 30-70 %, а в качестве связующего включающий отход битумного производства 10-20 мас. %.

Недостатком данного состава является то, что влажность древесных отходов должна быть 30-70 %, используется ограниченный состав отходов местного производства, так как в качестве связующего используется строго определенные отходы (отход битумного производства), а также необходимость предварительного подогрева.

Задачей предлагаемого изобретения является использование древесных отходов с повышенной влажностью, расширение ассортимента использования отходов местного производства, повышение теплотворной способности брикетированного топлива, снижение энергоемкости при изготовлении брикетированного топлива.

Поставленная задача решается за счет того, что предложенный состав для брикетирования топлива многокомпонентного, включающий измельченные древесные отходы и отходы нефтепродуктов, по изобретению содержит древесные отходы с влажностью 30-90 % и дополнительно содержит ветошь, насыщенную нефтепродуктами, при следующем соотношении компонентов, мас. %:

древесные отходы	60-80
отходы нефтепродуктов	10-30
ветошь, насыщенная нефтепродуктами	2-10.

При этом в качестве отходов нефтепродуктов состав для брикетирования топлива многокомпонентного содержит отходы синтетических и минеральных масел, смеси нефтепродуктов отработанные, эмульсии отработанные, нефтешламы добычи и переработки нефти, мазутных резервуаров, очистных сооружений, очистки трубопроводов и емкостей или их смеси.

Использование измельченных древесных отходов с влажностью 30-90 %, отходов нефтепродуктов, ветоши, насыщенной нефтепродуктами, позволяет расширить ассортимент отходов местного производства, используемых для приготовления брикетированного топлива. Использование отходов нефтепродуктов позволяет повысить теплотворную способность брикетированного топлива. Использование древесных отходов с влажностью 30-90 % позволяет снизить энергоемкость производства брикетированного топлива, так как нет необходимости предварительного уменьшения влажности древесных отходов.

При приготовлении состава для брикетирования топлива многокомпонентного используют компоненты в следующих соотношениях, мас. %:

древесные отходы	60-80
отходы нефтепродуктов	10-30
ветошь, насыщенная нефтепродуктами	2-10.

В качестве древесных отходов используют уже измельченные древесные отходы, представляющие собой древесно-опилочную смесь лиственных и хвойных пород, отходы деревообрабатывающей промышленности в виде рубленной щепы, стружек, опилок и т.п. с размером частиц до 10 мм и влажностью 30-90 %. При необходимости отходы измельчают общеизвестными дробилками до размера частиц 10 мм. При этом допускается содержание частиц с размером до 20 мм в количестве до 20 % от общего количества древесных отходов. Древесные отходы используют без предварительной сушки, при этом могут использоваться древесные отходы, имеющие повышенную влажность до 90 %, которую они приобретают в результате длительного хранения под открытым небом.

В качестве отходов нефтепродуктов используют отходы синтетических и минеральных масел, смеси нефтепродуктов отработанные, эмульсии отработанные, нефтешламы добычи и переработки нефти, мазутных резервуаров, очистных сооружений, очистки трубопроводов и емкостей или их смеси.

ВУ 18463 С1 2014.08.30 продолжение Приложения В

В качестве ветоши, насыщенной нефтепродуктами, используются отработанные масляные фильтры, фитили и щетки железнодорожных польстеров, обтирочный материал или их смеси. Отходы нефтепродуктов и нефтепродукты, содержащиеся в ветоши, насыщенной нефтепродуктами, являются основным связующим материалом и повышают тепло-технические характеристики брикетированного топлива.

Состав для брикетирования топлива многокомпонентного готовят следующим образом:

компоненты дозируют, засыпают в бункер, смешивают при обычной температуре до получения однородной массы и полученную смесь продавливают через формующую насадку шнекового пресса. Разрезают на мерные куски, например, цилиндрической формы с диаметром 50-150 мм и длиной до 1000 мм, сушат до влажности 12-23 %.

Примеры составов для брикетирования топлива многокомпонентного и результаты испытаний физико-механических свойств этих составов приведены в таблице.

		Примеры		
		1	2	3
Состав	Древесные отходы, мас. %	60	80	80
	Отходы нефтепродуктов, мас. %	30	18	10
	Ветошь, насыщенная нефтепродуктами, мас. %	10	2	10
	Плотность, г/см ³	1,05	1,0	1,0
	Теплотворная способность, Ккал/кг	4720	4330	4210
	Зольность, %	9,35	10,1	10,1
	Сера, %	0,25	0,3	0,3

Источники информации:

1. Патент RU 2100420, 1997.
2. Патент RU 2100417, 1997.
3. Патент RU 2100416, 1997.

Национальный центр интеллектуальной собственности.
220034, г. Минск, ул. Козлова, 20.

Приложение Г
Копия Технических условий ТУ ВУ 490319372.001-2005 «Топливо твердое многокомпонентное»
ОБЩЕСТВО С ДОПОЛНИТЕЛЬНОЙ ОТВЕТСТВЕННОСТЬЮ
«ТеплоБел»

ОКП 53 8670
ОКП РБ 20.1040.090

МКС 75.160.10

СОГЛАСОВАНО
Заместитель главного
врача ГУ РЦГЭиОЗ
Ю.Е. Федоров
"10" 03 2005 г.
Пер. № 1374

УТВЕРЖДАЮ
Директор общества с дополнительной
ответственностью «ТеплоБел»
А.Н.Пехота
"10" 03 2005 г.

ТОПЛИВО ТВЕРДОЕ МНОГОКОМПОНЕНТНОЕ

**Технические условия
ТУ ВУ 490319372.001-2005**

Срок действия с 01.05.2005г. по 01.05.2010г.

СОГЛАСОВАНО
Первый заместитель председателя
по энергоэффективности при СМ РБ
Л.В.Шенец
"10" 03 2005г.

РАЗРАБОТАНО
Завсектором РУП "Белниитоппрект"
канд.техн.наук
В.Т.Полянков

2005

КОМИТЕТ ПО СТАНДАРТИЗАЦИИ, МЕТРОЛОГИИ И
СЕРТИФИКАЦИИ ПРИ СОВЕТЕ МИНИСТРОВ
РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ
ВНЕСЕН В РЕЕСТР ГОСУДАРСТВЕННОЙ
РЕГИСТРАЦИИ
№ 049066 от 18.04.2005
Подпись

продолжение Приложения Г

КАТАЛОЖНЫЙ ЛИСТ ПРОДУКЦИИ

Регистрационный номер каталожного листа

Дата регистрации Срок действия регистрации в ГСКП

НОРМАТИВНЫЙ ДОКУМЕНТ

МКС Код Наименование

Обозначение НД

Наименование документа

Назначение продукции

Дата введения НД Дата ограничения срока действия НД

Номер и дата государственной регистрации ТУ

ДЕРЖАТЕЛЬ ПОДЛИННИКА

Код предприятия

Наименование

Адрес (Индекс, город, улица, дом)

Телефон Факс

Электронная почта

ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ЦЕНТР
КАТАЛОГИЗАЦИИ ПРОДУКЦИИ
ул. Мележа, 3, 220113, г. Минск

ГОСУДАРСТВЕННАЯ РЕГИСТРАЦИЯ

Проведена 18.04.2005

Изм. № _____

Настоящие технические условия распространяются на топливо твердое многокомпонентное (в дальнейшем топливо), предназначенное для сжигания в бытовых топках, котлах и промышленных котельных.

Топливо изготавливают трех марок.

Топливо «Марка 1» изготавливают из лигнина и опилок.

Топливо «Марка 2» изготавливают из лигнина и опилок с добавлением торфа, мазута или нефтешламов, или смеси нефтепродуктов отработанных (СНО).

Топливо «Марка 3» изготавливают из лигнина и опилок с добавлением мазута или нефтешламов или СНО.

Во всех марках, в качестве связующего, добавляется крахмал.

Пример записи продукции в других документах и (или) при заказе:

Топливо твердое многокомпонентное «Марка 1»
ТУ ВУ 490319372.001-2005.

Топливо твердое многокомпонентное «Марка 2»
ТУ ВУ 490319372.001-2005.

Топливо твердое многокомпонентное «Марка 3»
ТУ ВУ 490319372.001-2005.

Образцы-эталонные находятся в обществе с дополнительной ответственностью "ТеплоБел" (почтовый адрес: 246007, г. Гомель, ул. Федюнинского, д. 4, к. 3.

1 ТЕХНИЧЕСКИЕ ТРЕБОВАНИЯ

1.1 Общие требования.

1.1.1 Топливо должно соответствовать требованиям настоящих технических условий и должно быть изготовлено по технологическому регламенту, утвержденному в установленном порядке.

1.1.2 Форма кусков топлива определяется конструкцией применяемого прессованного оборудования. Размеры кусков не регламентируются.

1.2 Физико-химические показатели.

1.2.1 Топливо по показателям качества должно соответствовать нормам, указанным в таблице 1.

Таблица 1

Наименование показателя	Норма для всех марок
Массовая доля общей влаги в рабочем состоянии топлива (W_f^p), %, не более	20
Зольность (A^c), %, не более	15
Массовая доля кусков размером менее 10 мм, %, не более	8

1.2.2 Удельная активность радионуклидов цезия-137 в топливе не должна быть более 300 Бк/кг.

1.2.3 Низшая теплота сгорания топлив (Q_n^p) не менее 3200 ккал/кг.

1.3 Требования к сырью.

1.3.1 Для изготовления топлива применяются: лигнин по

ТУ РБ 00479190.001, торф по РСТ Беларуси 917, опилки, мазут по ГОСТ 10585, смесь нефтепродуктов отработанных ГОСТ 21046, нефтешламы. В качестве связующего компонента используется крахмал по ГОСТ 7699.

Соотношение компонентов приведено в таблице 2.

Таблица 2.

Наименование показателя	Норма		
	«Марка 1»	«Марка 2»	«Марка 3»
Лигнин или опилки, %, не менее	95	60	75
Нефтешламы или мазут, или СНО, %, не более	-	25	20
Торф, %, не более	-	10	-
Крахмал, %, не более	5	5	5

1.3.2 Соотношение компонентов топлива определяется технологическим регламентом с точностью $\pm 5\%$ и гарантируется изготовителем.

1.4 Упаковка.

1.4.1 Топливо упаковывается в мешки из полиэтиленовой пленки по ГОСТ 10354, толщина пленки не менее 80 мкм или бумажные мешки по ГОСТ 2226. Номинальная масса топлива в мешках: 10, 15, 20, 40 и 50 кг.

1.4.2 Предел допускаемых отрицательных отклонений топлива в мешка номинальной массой 10 кг – 1,5 %, в мешках номинальной массой 15, 20, 40, 50, – 1 %. Положительные отклонения не регламентируются.

1.4.3 Полиэтиленовые мешки должны быть заварены, а бумажные - зашиты равномерным швом. Допускается герметизация разрывов мешков длиной не более 150 мм лентой полиэтиленовой с липким слоем по ГОСТ 20477.

1.4.4 Допускается поставка топлива потребителю россыпью или в контейнерах.

1.5 Маркировка

1.5.1 Маркировка мешков топлива должна содержать:

наименование и местонахождение (юридический адрес, включая страну) изготовителя;

наименование продукции, ее назначение и способ применения;

обозначение настоящих технических условий;

массу нетто в мешке;

срок годности и условия хранения;

номер партии и дата изготовления.

1.5.2 На мешки маркировка наносится типографским или другими способами, или приклеивается (пришивается) этикетка.

2 ТРЕБОВАНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ

2.1 Помещения производства топлива должны быть оборудованы вытяжной вентиляцией согласно ГОСТ 12.4.021.

2.2 Концентрация вредных веществ в воздухе рабочей зоны производственных помещений должна отвечать требованиям СанПиН № 11-19 и не превышать предельно-допустимых концентрации (ПДК), указанных в таблице 3.

Таблица 3

Наименование вещества	ПДК, мг/м ³	Класс опасности
Пыль древесная	6,0	4
Пыль торфяная	4,0	4
Углеводороды алифатические предельные C1-C10 (в пересчете на C)	300	4

2.3 Концентрация вредных веществ в воздухе рабочей зоны определяется по [1]. Периодичность контроля определяется в зависимости от класса опасности применяемого сырья согласно ГОСТ 12.1.005 и СанПиН 11-19.

2.4 С целью охраны атмосферного воздуха от загрязнения производственными выбросами должен быть организован контроль за ПДВ или ВСВ в соответствии с ГОСТ 17.2.3.02.

2.5 Рабочие, занятые на производстве топлива, должны проходить предварительные (при поступлении на работу) и периодически медицинские осмотры в соответствии с порядком, установленным МЗ РБ.

3 ПРАВИЛА ПРИЕМКИ

3.1 Приемку топлива производят партиями. Размер партии устанавливается в количестве не более 500 т, выработанному по одному технологическому режиму.

3.2 При приемо-сдаточных испытаниях определяют физико-химические показатели, указанные в таблице 1, массу топлива в мешке, целостность мешков, правильность маркировки.

3.3 Для определения показателей, указанных в п. 3.2. от каждой партии отбирают 1% мешков, но не менее 10 мешков.

3.4 Партия топлива не бракуется, если в процессе приемки топливо удовлетворяет требованиям, указанным в таблице 1 и п.1.4, п.1.5. В случае отклонения показателей, производится повторная проверка по всем показателям на удвоенном количестве мешков.

3.5 Результаты повторной проверки удвоенного количества мешков распространяются на всю партию и являются окончательными.

3.6 Потребитель имеет право производить контрольную проверку соответствия качества топлива нормам настоящих технических условий, соблюдая при этом правила отбора проб и методы контроля, предусмотренные техническими условиями.

3.7 Содержание радионуклидов в топливе определяется один раз в год.

4 МЕТОДЫ КОНТРОЛЯ

4.1 Из каждого мешка отбираются пробы массой не менее 1 кг. Пробы перемешивают и из общей пробы отбирается лабораторная проба массой не менее 0,5 кг.

4.2 Массовую долю общей влаги топлива определяют по ГОСТ 16483.7, зольность – по ГОСТ 18461, теплоту сгорания - по ГОСТ 147.

4.3 Массовую долю мелочи в топливе определяют по ГОСТ 11130.

4.4 Массу топлива в мешке определяют на весах по ГОСТ 29329 обычного класса точности с соответствующим пределом взвешивания. Масса топлива определяется как разница между массой мешка с топливом и пустого мешка.

4.5 Содержание радионуклидов в топливе определяется в соответствии с [2].

4.6 Качество упаковки и маркировки мешков определяют визуально.

5 ТРАНСПОРТИРОВАНИЕ И ХРАНЕНИЕ

5.1 Топливо транспортируют любым видом транспорта согласно действующим правилам перевозок и соблюдения мер, не допускающим воздействия на них атмосферных осадков.

5.2 Хранение топлива производится в помещениях или на площадках под водонепроницаемым покрытием.

6 ГАРАНТИИ ИЗГОТОВИТЕЛЯ

6.1 Изготовитель гарантирует соответствие топлива требованиям настоящих технических условий при соблюдении условий транспортирования и хранения.

6.2 Срок годности топлива – 24 месяца с даты изготовления.

ССЫЛОЧНЫЕ ТЕХНИЧЕСКИЕ НОРМАТИВНЫЕ ПРАВОВЫЕ АКТЫ

Обозначение	Наименование
ГОСТ 147-95	Топливо твердое минеральное. Определение высшей теплоты сгорания и вычисления низшей теплоты сгорания.
ГОСТ 2226-88	Мешки бумажные. Технические условия.
ГОСТ 10354-82	Пленка полиэтиленовая. Технические условия.
ГОСТ 11130-75	Торф. Методы определения мелочи и засоренности.
ГОСТ 16483.7-71	Древесина. Методы определения влажности.
ГОСТ 18461-93	Целлюлоза. Методы определения содержания золы.
ГОСТ 20477-86	Лента полиэтиленовая с липким слоем. Технические условия
ГОСТ 29329-92	Весы для статического взвешивания. Общие технические требования
ГОСТ 12.1.005-88	ССБТ. Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны.
ГОСТ 12.4.021-75	ССБТ. Системы вентиляционные. Общие требования
СанПиН 11-19-94	Перечень регламентированных в воздухе рабочей зоны вредных веществ
ГОСТ 17.2.3.02-78	Охрана природы. Атмосфера. Правила установления допустимых выбросов вредных веществ промышленных предприятий.
РСТ Беларуси 917-92	Торф фрезерный для производства брикетов. Технические требования.
ТУ РБ 00479190.001-96	Лигнин гидролизный нейтрализованный.
ГОСТ 10585-99	Топливо нефтяное. Мазут. Технические условия.
ГОСТ 21046-86	Нефтепродукты отработанные. Общие технические условия.
ГОСТ 7699-78	Крахмал картофельный. Технические условия.

продолжение Приложения Г



МІНІСТЭРСТВА
ПРЫРОДНЫХ РЭСУРСАЎ І АХОВЫ
НАВАКОЛЬНАГА АСЯРОДДЗЯ
РЭСПУБЛІКІ БЕЛАРУСЬ
МІНПРЫРОДЫ

вул. Калектарная, 10, 220048, г. Мінск
тэл. (37517) 200-66-91; факс (37517) 200-55-83
E-mail: minproos@mail.belprak.by
р/р № 3604900000111 ААБ «Беларусбанк»
г. Мінск, код 795, УНП 100519825; АКПА 00012782

12.2008 № 14-2-02

МИНИСТЕРСТВО
ПРИРОДНЫХ РЕСУРСОВ И ОХРА
ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ
РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ
МИНПРИРОДЫ

ул. Коллекторная, 10, 220048, г. Минск
тел. (37517) 200-66-91; факс (37517) 200-55-83
E-mail: minproos@mail.belprak.by
р/с № 3604900000111 АСБ «Беларусбанк»
г. Минск, код 795, УНП 100519825; ОКПО 0001

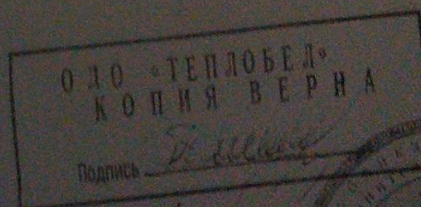
ОДО «ТеплоБел»
246007, г. Гомель
ул. Федюнинского, 4 ком. 3

О согласовании ТУ

Министерство природных ресурсов и охраны окружающей сре
рассмотрело и согласовывает извещение №1 об изменении техническ
условий ТУ ВУ 490319372.001-2005 «Топливо тверд
многокомпонентное», разработанное ОДО «ТеплоБел».

Заместитель Министра

В.В.Кулик



ОБЩЕСТВО С ДОПОЛНИТЕЛЬНОЙ ОТВЕТСТВЕННОСТЬЮ
«ТеплоБел» продолжение Приложения Г

ОКП 53 8670
ОКП РБ 20.10.40.090

МКС 75.160.10

УТВЕРЖДАЮ
Директор общества с
дополнительной
ответственностью «ТеплоБел»

 А.Н.Пехота
«31» _____ 2008г.

Извещение №1
Об изменении ТУ ВУ 490319372.001-2005
Топливо твердое многокомпонентное


Дата введения 01.02.2009г.

СОГЛАСОВАНО

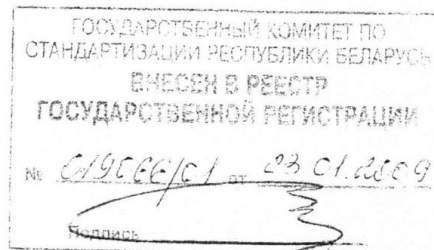
Письмо Государственного учреж-
дения «Министерство природных
ресурсов и охраны окружающей
среды Республики Беларусь»
05.12.2008г., №14-2-02/5006-ВН

РАЗРАБОТАНО

Завсектором РУП «Белниитоппроект»
канд. техн. Наук

 В.Т.Поляков
17.02.08

2008



продолжение Приложения Г

С.2 Извещение №1 об изменении ТУ ВУ 490319372.001-2005

Листы 2-7 заменить. Листы 5^а и 6^а ввести.

Наименование технических условий изложить в следующей редакции : «Топлива твердые многокомпонентные»

Продлить срок действия до 01.02.2014г.

На титульном листе код ОКП РБ 20.10.40.090 заменить на код ОКП РБ 20.10.40.900.

Репозиторий БНТУ

Настоящие технические условия распространяются на топлива твердые многокомпонентные (в дальнейшем топлива), предназначенные для сжигания в бытовых топках, котлах и промышленных котельных.

Топлива изготавливают пяти марок.

Топливо «Марка 1» изготавливают из опилок.

Топливо «Марка 2» изготавливают из опилок с добавлением нефтешламов.

Топливо «Марка 3» изготавливают из опилок с добавлением мазута.

Топливо «Марка 4» изготавливают из опилок с добавлением смеси нефтепродуктов отработанных.

Топливо «Марка 5» изготавливают из лигнина с добавлением мазута.

Пример записи продукции в других документах и (или) при заказе:

Топливо твердое многокомпонентное «Марка 1»
ТУ ВУ 490319372.001-2005.

Топливо твердое многокомпонентное «Марка 2»
ТУ ВУ 490319372.001-2005.

Топливо твердое многокомпонентное «Марка 3»
ТУ ВУ 490319372.001-2005.

Топливо твердое многокомпонентное «Марка 4»
ТУ ВУ 490319372.001-2005.

Топливо твердое многокомпонентное «Марка 5»
ТУ ВУ 490319372.001-2005.

Образцы-эталонны топлив находятся в обществе с дополнительной ответственностью "ТеплоБел" (почтовый адрес: 246007, г. Гомель, ул. Федюнинского, д. 4, к. 3.

1 ТЕХНИЧЕСКИЕ ТРЕБОВАНИЯ

1.1 Характеристики.

1.1.1 Топлива должны соответствовать требованиям настоящих технических условий и должны быть изготовлены по технологическому регламенту, утвержденному в установленном порядке.

1.1.2 Форма кусков топлива определяется конструкцией применяемого прессованного оборудования. Размеры кусков не регламентируются.

1.2 Физико-химические показатели.

1.2.1 Топлива по показателям качества должны соответствовать нормам, указанным в таблице 1.

Таблица 1

Наименование показателя	Норма для всех марок
Массовая доля общей влаги в рабочем состоянии топлива (W_t^p), %, не более	20
Зольность (A°), %, не более	15
Массовая доля кусков размером менее 10 мм, %, не более	8
Массовая доля серы, %, не более	0,66

1.2.2 Удельная активность радионуклидов цезия-137 в топливах не должна быть более 300 Бк/кг.

1.2.3 Низшая теплота сгорания топлив (Q_H^P) не менее 3200 ккал/кг.

1.3 Требования к сырью.

1.3.1 Для изготовления топлив применяются: опилки и нефтешламы по ТНПА поставщика, мазут по ГОСТ 10585, смесь нефтепродуктов отработанных по ГОСТ 21046, лигнин по ТУ ВУ 400016685.003.

Соотношение компонентов топлив приведено в таблице 2.

Таблица 2

Наименование показателя	Норма				
	«Марка 1»	«Марка 2»	«Марка 3»	«Марка 4»	«Марка 5»
Опилки, %, не менее	100	75	70	70	-
Нефтешламы, %, не более	-	25	-	-	-
Мазут, %, не более	-	-	30	-	30
Смесь нефтепродуктов отработанных, %, не более				30	
Лигнин, %, не менее	-	-	-	-	70

1.3.2 Соотношение компонентов топлив определяется технологическим регламентом с точностью $\pm 5\%$ и гарантируется изготовителем.

1.3.3 Химический состав топлив приведен в таблице 3.

Таблица 3

Марка топлива	Состав рабочей массы топлива, %						
	W	A	SO+K	C	H	N	O
Марка 1	20	15	0,05	34,50	4,00	0,38	26,07
Марка 2	6,07	2,32	0,77	53,03	6,43	0,33	31,05
Марка 3	20	15	0,39	40,60	5,37	0,27	18,37
Марка 4	8,29	8,57	0,27	42,02	4,56	0,20	36,09
Марка 5	20	15	0,58	41,48	5,44	0,06	17,44

1.4 Упаковка.

1.4.1 Топлива упаковывают в мешки из полиэтиленовой пленки по ГОСТ 10354, толщина пленки не менее 80 мкм или бумажные мешки по ГОСТ 2226. Номинальная масса топлива в мешках: 10, 15, 20, 40 и 50 кг.

1.4.2 Предел допускаемых отрицательных отклонений топлива в мешках номинальной массой 10 кг-1,5%, в мешках номинальной массой 15, 20, 40, 50, - 1 %. Допускаемые положительные отклонения содержания упаковочной единицы не ограничиваются. Требования к среднему содержанию единицы партии устанавливается по СТБ 8019, п.6.1, 6.12.

1.4.3 Полиэтиленовые мешки должны быть заварены, а бумажные - зашиты равномерным швом. Допускается герметизация разрывов мешков длиной не более 150 мм лентой полиэтиленовой с липким слоем по ГОСТ 20477.

1.4.4 Допускается поставка топлив потребителю россыпью или в мягких контейнерах по ТУ РБ 700174144.001.

1.5 Маркировка

1.5.1 Маркировка упаковочных единиц топлив должна содержать:

- наименование, юридический адрес изготовителя с указанием страны;
- товарный знак изготовителя (при наличии);
- наименование продукции, ее назначение и способ применения;
- основные потребительские свойства;
- обозначение настоящих технических условий;
- массу нетто в мешке;
- срок годности и условия хранения;
- номер партии и дата изготовления.

1.5.2 На упаковке маркировка наносится типографским или другими способами, или приклеивается (пришивается) этикетка.

2 ТРЕБОВАНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ

2.1 Организация производства топлив должна отвечать требованиям СанПиН 11-09.

2.2 При производстве и применении топлив необходимо соблюдать правила личной гигиены, применять средства защиты глаз, кожных покровов и органов дыхания по ТНПА.

2.3 По токсичности компоненты, входящие в смесь нефтепродуктов отработанных, относятся к четвертому классу опасности в соответствии с ГОСТ 21046.

2.4 Производственные помещения должны быть оборудованы приточно-вытяжной вентиляцией согласно ГОСТ 12.4.021, СанПиН 11-09.

2.5 Концентрация вредных веществ в воздухе рабочей зоны производственных помещений должна отвечать требованиям СанПиН № 11-19, а в атмосферном воздухе – требованиям ГН 2.1.6.12-46 и не превышать предельно-допустимые концентрации (ПДК), указанные в таблице 4.

Таблица 4

Наименование	Воздух рабочей зоны		Атмосферный воздух			
	ПДК, мг/м ³	Класс опасности	ПДК, м.р., мг/м ³	ПДК, с.с., мг/м ³	Класс опасности	ОБУВ
Пыль древесная	6,0	4	-	-	-	0,4
Углеводороды предельные C ₁₂ -C ₁₉ (в пересчете на С)	300	4	1	-	4	-

2.6 Концентрация вредных веществ в воде водных объектов хозяйственно питьевого и культурно-бытового водопользования не должны превышать ПДК, установленные ГН 2.1.5.10-21.

2.7 Концентрацию вредных веществ в воздухе рабочей зоны определяют по [1]. Периодичность контроля определяется в зависимости от класса опасности применяемых компонентов согласно ГОСТ 12.1.005 и СанПиН 11-19.

2.8 С целью охраны атмосферного воздуха от загрязнения производственными выбросами должен быть установлен контроль за ПДВ или ВСВ в соответствии с ГОСТ 17.2.3.02.

2.9 Содержание загрязняющих веществ в отходящих газах не должно превышать норм, установленных СТБ 1626.2.

2.10 Рабочие, занятые на производстве топлив, должны проходить предварительные (при поступлении на работу) и периодически медицинские осмотры в соответствии с порядком, установленным МЗ РБ.

2.11 Использованная упаковка подлежит утилизации на специализированных предприятиях.

2.12 Зола от сжигания топлив подлежит утилизации в установленном законодательством порядке.

3 ПРАВИЛА ПРИЕМКИ

3.1 Приемку топлив производят партиями. Размер партии устанавливается в количестве не более 500 т, выработанному по одному технологическому режиму.

3.2 При приемо-сдаточных испытаниях определяют физико-химические показатели, указанные в таблице 1, массу топлива в упаковочной единице, целостность упаковки, правильность маркировки.

3.3 Для определения показателей, указанных в п. 3.2. от каждой партии отбирают не менее 3 упаковок.

3.4 Химический состав топлив: серу, углерод, водород, азот и кислород определяют при постановке продукции на производство.

3.5 Партия топлива не бракуется, если в процессе приемки каждой упаковки удовлетворяются требования, указанные в таблице 1 и п.1.4, п.1.5. В случае отклонения показателей, производят повторную проверку по всем показателям на удвоенном количестве мешков.

3.6 Результаты повторной проверки удвоенного количества мешков распространяют на всю партию и являются окончательными.

3.7 Потребитель имеет право производить контрольную проверку соответствия качества топлив нормам настоящих технических условий, соблюдая при этом правила отбора проб и методы контроля, предусмотренные техническими условиями.

3.8 Содержание радионуклидов в топливах определяют один раз в год.

3.9 При поставке топлив потребителю россыпью, приемку и отбор проб осуществляют по СТБ 1687.

КАТАЛОЖНЫЙ ЛИСТ ПРОДУКЦИИ

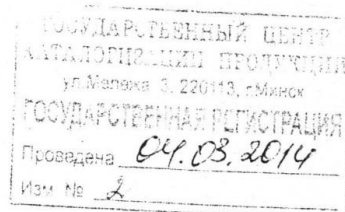
Регистрационный номер каталожного листа 01 | 23190/2 (изм.)
 Дата регистрации 02 | 01.05.2005 Срок действия регистрации в ГСКП 03 | 01.02.2019

НОРМАТИВНЫЙ ДОКУМЕНТ

МКС Код 04 | 75.160.10 Наименование Твердое топливо
 Обозначение ТНПА 05 | ТУ ВУ 490319372.001-2005
 Наименование документа 06 | Топлива твердые многокомпонентные
 Назначение продукции 07 | Для сжигания в бытовых топках, котлах и промышленных котельных. Топливо изготавливают пяти марок: "Марка 1" - из опилок; "Марка 2" - из опилок с добавлением нефтешламов, "Марка 3" - из опилок с добавлением мазута, "Марка 4" - из опилок с добавлением смеси нефтепродуктов отработанных, "Марка 5" - из лигнина с добавлением мазута
 Дата введения ТНПА 08 | 01.05.2005 Дата ограничения срока действия ТНПА 09 | 01.02.2019
 Номер и дата государственной регистрации ТУ 10 | 019066 от 18.04.2005

ДЕРЖАТЕЛЬ ПОДЛИННИКА

Код предприятия 11 | 490319372
 Наименование 12 | ОБЩЕСТВО С ДОПОЛНИТЕЛЬНОЙ ОТВЕТСТВЕННОСТЬЮ "ТЕПЛОБЕЛ"
 Адрес (Индекс, город, улица, дом) 13 | 246007, г. Гомель, ул. Федюнинского, д.4, к.3
 Телефон 14 | (0232)68-40-26 Факс 15 | (0232)68-40-26
 Электронная почта 16 |



- при сжигании представленного топлива было отмечено средние интенсивные горение образцов, без образования посторонних запахов и других выделений

- представленное топливо после сжигания образовало золу в низком количестве

- по другим показателям, таким как влажность, сера и теплота сгорания испытуемое топливо показало себя не хуже чем торфяной брикет (справка Минской самостоятельной территориальной лаборатории Минского областного комитета природных ресурсов и охраны окружающей среды прилагается).

Предприятие ОДО «Теплобел» имеет возможность представлять выпуск твердого топлива различных марок в зависимости от требований потребителей с теплотой сгорания от 3500 ккал до 9200 ккал. Имеющиеся производственные мощности позволяют обеспечить выпуск продукции с использованием местного вторичного сырья около 6000 тонн в год. В случае увеличения потребности в местных видах твердого топлива предприятие имеет возможность выпуска топлива в большем количестве.

Зам. начальника ГТУ по надзору за РИТЭУ

В.Ф.Акушко

Директор ОДО «Теплобел»

А.И.Лехота

Гл. инженер

В.А.Пляско



24500 Республика Беларусь
г. Гомель, ул. Великовского 4, к.3
Первому зам. председателя комитета
т/факс (0232) 346-40-86; 810291346-40-86
по экстерриториальности при ОК РБ
Р/С 301103330010 филиал ОАО
«Белпромстройбанк» по Гомельской
области. ИФО 131501360
ул. В. Шенца
УИИ 490313372

№ _____ от _____ 2005

АКТ

по испытанию и оценке качественных показателей
топлива твердого многокомпонентного

3 марта 2005 года на котельной КУП «Речицаводоснабжал» в присутствии зам. начальника Гомельского областного управления по надзору за рациональным использованием топливно-энергетических ресурсов Акушко В.Ф., директора ОДО «Теплобел» Лехота А.И., гл. инженера Пляскова В.А. было произведено испытание твердого топлива, выпущенного ОДО «Теплобел» в размере промышленной партии согласно ТУ РБ400173335.001-2004, методом сжигания, в результате чего сделаны следующие выводы:

- представленное топливо имеет внешний вид в виде шпильков правильной формы (диаметр 85мм), с внутренним отверстием по всей длине (диаметр 24мм), относительно гладкую поверхность;

- основные составляющие топлива - вторичные отходы лесопереработки и нефтяной промышленности;

- при испытании на прочность методом механического воздействия (падение с высоты 1.5 метра) на твердые бетонные покрытия) геометрические параметры не изменились;

продолжение Приложения Д

ВЕДОМОСТЬ
результатов анализа
влажности и количества
топлива твердого многокомпонентного

Таблица 1

№	Код образца	Наименование образца	Влажность сухого образца, W ^д , %	Влажность рабочей массы, W ^р , %	Зольность сухого образца, А ^д , %	Зольность рабочей массы, А ^р , %
1	516	Топливо твердое многокомпонентное проба № 1 Марка-2 с процентным содержанием нефтешлака - 25%	3,7	6,07	2,47	2,32
2	517	Топливо твердое многокомпонентное проба № 2 Марка-4 с процентным содержанием СНО - 30%	3,49	8,29	9,35	8,57

Испытание образцов проведено в соответствии с ГОСТ 11022-95 «Топливо твердое минеральное. Методы определения влажности» и ГОСТ 27314-91 «Топливо твердое минеральное. Методы определения зольности».

Исполнитель 1 кат *В.И.Шибанов* Д.Л.Харьковская



М.п.

продолжение Приложения Г
Приведены в
соответствии с
ГОСТ 27314-91 / 9523
методом 1

ВЕДОМОСТЬ
результатов анализа образцов
топлива твердого многокомпонентного

Таблица 1

№	Код образца	Наименование образца	Рабочая масса топлива в % по составу						
			О ^д	С ^д	Н ^д	W ^д	А ^д	W ^р	А ^р
1	516	Топливо твердое многокомпонентное проба № 1 Марка-2 с процентным содержанием нефтешлака - 25%	31,05	53,05	0,43	0,33	0,77	6,07	2,32
2	517	Топливо твердое многокомпонентное проба № 2 Марка-4 с процентным содержанием СНО - 30%	36,09	42,02	4,56	0,2	0,27	8,29	8,57

Исполнитель 2 кат *В.И.Шибанов* Р.Н.Шибанов



М.п.

ПРОТОКОЛ ИСПЫТАНИЙ № 865/2197-г от 23 сентября
Страница 2, всего страниц 2

№ образца	Наименование испытательной лаборатории	Требования ТИПА к методу испытаний	Требования ТИПА к измерительной погрешности	Фактически измеренные результаты испытаний, %	Заключение о соответствии требованиям ТИПА
1081-г	Усталая прочность Су-137	МШБ МН 2418-2005	7,00 17141,0 ± 0,200 (170-20,200) в.г.р.131	< 40,5 (31,5,49,0) в.г.р.131	Соответствует

Испытатель: *[подпись]* Инженер-испытатель: *[подпись]* Е.С. Дроздов
 Протокол составлен: *[подпись]* Инженер-испытатель: *[подпись]* В.И. Зайцев

Примечания: 44 - измерения в образцах 1-4 мм (всего) - попер-экстремитетов и радиальных испытаний 2-4-й категории - Госстандарты испытаны по образцам издателя на соответствие требованиям стандарта и государственного стандарта Государственного комитета по стандартизации

ПРОТОКОЛ ИСПЫТАНИЙ № 865/2197-г от 23 сентября 2016 г.
Страница 1, всего страниц 2

Испытательная лаборатория: **УТИТЕХЛАБО** (подразделение)
 Адрес: *[адрес]*
 Руководитель: *[подпись]*
 № 22-г - *[подпись]* 29/16 г.

Сектор экспериментальной механики и неразрушающих испытаний
 Адрес: № 425233087М, Ленинградская обл. 24.04.2019
 35, Ленинградская обл., 240105, г. Гомель
 тел. +79 210 26 35 34
 MAIL:GOMEL@GOMEL.RU Ю.Ю. КОМЕЛОНСКИЙ

ПРОТОКОЛ ИСПЫТАНИЙ № 865/2197-г от 23 сентября 2016 г.
 Страница 1, всего страниц 2

Наименование, тип, характеристика, регистрационный номер образца (образца):
 № 1088-г - брнет топливный (собственные производства)
 ТУ ВУ 490319372.001-2005
 размер партии 1480 шт, модель-аналог 2016 года
 № 1081-г - пружина топливная
 размер партии 240,0 шт

Наименование и адрес заказчика:
О.Ю. «Теплобело»

Наименование и адрес изготовителя:
О.Ю. «Теплобело»
 адрес: г. Ручьи, ул. Луначарского, 97
 Гомельская областная инспекция государственного контроля за соблюдением требований технических регламентов и стандартов и государственного метрологического надзора Государственного комитета по стандартизации, за сектору Бюджетное А.Ю. Акт отбора брн от 20.09.2016 г.
 Методика отбора проб, процессы и дрессировка материалов для проведения радиационного контроля в соответствии с программой "Аэрообучивание" от 21.11.2005
 20.09.2016 г.
 (20-22).09.2016 г.

Дата поступления образца (образца):
 Дата проведения испытаний:
 Условия проведения испытаний: температура воздуха 20,6°С, относительная влажность воздуха - 43,5%, М.С.Д. 0,08 мм/ч

Средства измерений и вспомогательное оборудование, применяемые при проведении испытаний:
 Наименование и тип средства измерений, измерительного оборудования

Идентификационный номер образца	Заводской номер	Дата очередной поверки, поверочная аттестация
Идентификационный номер образца: Прогресс ПЕАР	0148-г	01.06.2017
Весы ПИВ-6	11919	12.08.2017
Термометр радио 605 Н 1	41109462-402	17.05.2017
Датчик температуры МКС-АТ1117	11286	01.07.2017

Результаты испытаний:

№ образца	Наименование испытательной лаборатории	Требования ТИПА к методу испытаний	Требования ТИПА к измерительной погрешности	Фактически измеренные результаты испытаний, %	Заключение о соответствии требованиям ТИПА
1080-г	Усталая прочность Су-137	МШБ МН 2418-2005	300 ТУ ВУ 490319372.001-2005 в.г.р.131	< 38,3 (29,7,48,6) в.г.р.131	Соответствует



Итого: 450 шт. / 45 000 руб.

Утверждаю

Гл. инженер ОДО «Теплобел»
(подпись)
 А. А. Чугунов В. И.
 «25» сентября 2014г.

АКТ о внедрении

малогабаритной мобильной прессующей установки для производства многокомпонентного твердого топлива разработанной Пелота Александром Николаевичем в рамках диссертационного исследования по теме «Технология производства энергоэффективного топлива на основе нефтесодержащих и древесных отходов»

Мы, ниже подписавшие начальник ПТО Деренек Е.В., мастер производственного участка Михайлов А.А. составили настоящий Акт свидетельствующий о том что, результаты диссертационной работы Пелота Александра Николаевича по теме «Технология производства энергоэффективного топлива на основе нефтесодержащих и древесных отходов» внедрена в ОДО «Теплобел»

Комиссия, рассмотрев представленные документы устанавливает:

1. Научно-техническая разработка выполнена исполнителем: Пелота Александром Николаевичем аспирантом БНТУ.
2. Работа выполнена: на кафедре «Теплообмена, вентиляции, кондиционирования воздуха, газоснабжение и освещение» факультета «Энергетического строительства» БНТУ г. Минск.
3. Работа внедрена: в виде малогабаритной мобильной установки УТН-ЦО-0.35 по производству топлива твердого многокомпонентного с использованием углеводородсодержащих и древесных отходов. Установка в работе соответствует разработанной авторами технологии производства многокомпонентного топлива и обеспечивает формирование брикетов с учетом требований ТУ ВУ 490319372.001 – 2005 и изменениями технико-экономических условий - Извлечение № 1 и 2.
4. Характеристика внедрения: переданная малогабаритная установка марки УТН-ЦО-0.35 по переработке нефтесодержащих отходов образующихся на предприятиях промышленности

продолжение Приложения Е

(далее). Установка обеспечивает выполнение требований технологии производства топлива твердого многокомпонентного и позволяет брикетировать многокомпонентные составы в соответствии с авторскими патентами № 18408, 18463 18130 Республики Беларусь.

5. Новая результатов научно-исследовательских работ: Возможность брикетирования накопленных и образующихся нефтесодержащих отходов в многокомпонентное твердое топливо, которое допускается использовать в топочных устройствах, предназначенных для сжигания твердого топлива.

6. Установленные результаты внедрения установок:

- Обеспечивается переработка вязких нефтешламов с содержанием 25-30% в составе топлива;
- Производительность установки не менее 350 кг в час по готовой продукции (высушенным брикетам до влажности, установленной ГОСТ 273114-91 «Топливо твердое минеральное»);
- Разработанная технология получения многокомпонентного твердого топлива и используемая малогабаритная установка обеспечивает пожаробезопасность использования вязких нефтепродуктов при производстве твердого многокомпонентного топлива;
- Фактически выборки оксида азота, диоксида серы, монооксида углерода и твердых частиц определенных лабораторными исследованиями и результаты, полученные с применением разработанной автором методики расчетов выбросов загрязняющих веществ образующихся от сжигания многокомпонентных составов твердого топлива с допустимой погрешностью (в пределах 2-11,3%) совпадают, что позволяет на стадии подготовки смеси проконтролировать оптимальное соотношение долей компонентного состава обеспечивающее экологичное и эффективное энергетическое использование полученного многокомпонентного топлива.

Рассмотрев представленные данные, комиссия подтверждает внедрение указанной научно-технической разработки в производство на ОДО «Теплобел» обеспечивающей высокую эффективность переработки вязких нефтесодержащих и древесных отходов.

Члены комиссии:

Начальник ПТО

Мастер

производственного участка

(подпись) Деренек Е.В.

(подпись) Михайлов А.А.

Міністэрства прыродных рэсурсаў і аховы
Навакольнага асяроддзя Рэспублікі Беларусь

Рэспубліканскае навукова-даследчае
унітарнае прадпрыемства
«Бел НИЦ «Экалогія»
(РУП «Бел НИЦ «Экалогія»)

ул. Г. Якубава, 76, 220095, г. Мінск
Тел. (37517)395 57 67; факс (37517) 367 56 85
E-mail: belnic@mail.belgok.by

Р/р № 3012600000065 ААБ «Беларусбанк», філіял №510
г. Мінск, код банка 603, УНП 100083360, ОКПО 0209183



Міністэрства прыродных рэсурсаў і аховы
асяроддзя Рэспублікі Беларусь

Рэспубліканскае навукова-даследчае
унітарнае прадпрыемства
«Бел НИЦ «Экалогія»
(РУП «Бел НИЦ «Экалогія»)

ул. Г. Якубава, 76, 220095, г. Мінск
Тел. (37517)395 57 67; факс (37517) 367 56 85
E-mail: belnic@mail.belgok.by

Р/с № 3012600000065 АСБ «Беларусбанк», філіял №510
г. Мінск, код банка 603, УНП 100083360, ОКПО 00209183

04.04.2016 № 01-14/323

На _____ ад _____

ОДО "ТеплоБел"
246007, ул. Федюнинского, 4, ком. 3
г. Гомель

СВИДЕТЕЛЬСТВО

о регистрации введенного в эксплуатацию объекта по использованию отходов

Настоящее свидетельство выдано _____ ОДО "ТеплоБел"
(наименование юридического лица,

фамилия, собственное имя, отчество индивидуального предпринимателя)

о том, что «10» марта 2016 г. под реестровым номером _____ 2287

_____ РУП «Бел НИЦ «Экология»

(наименование органа ведения реестра объектов по использованию отходов)

зарегистрирован в реестре объектов по использованию отходов _____ введенный _____ в
эксплуатацию объект по использованию отходов _____

_____ Передвижная установка по производству топлива твердого многокомпонентного с
(наименование объекта)

_____ использованием углеводорода содержащих и древесных отходов (УПНДО-0,35)

Директор

(руководитель органа ведения реестра объектов по
использованию отходов)

(подпись)
М.П.

В.И. Ключенович
(инициалы, фамилия)

Приложение Ж

Копия акта внедрения опытно-промышленной установки для ОЗО «Тельцебы»



Утверждаю
Гл. инженер ОЗО «Телцебы»
Антуганов В.Н.
« 9 » апреля 2009г.

АКТ

о внедрения опытно-промышленной установки
для производства топлива твердого многокомпонентного

Настоящий Акт свидетельствует, что, согласно промышленная установка для производства топлива твердого многокомпонентного разработки Печета Александр Николаевичем, выдана в ОЗО «Телцебы».

Пробное внедрение проводилось в период с января 2009г. по марту 2009 г. Монтаж опытно-промышленной установки выполнен на производственных площадях ОЗО «Телцебы» расположенных в г. Речица Гомельской области.

Заданные характеристики установки в необходимом технологического оборудования в рамках выполнения договорного исполнения по теме «Тельцебы» производства энергоэффективного топлива на основе нефтесодержащих и древесных отходов» выполнены в полном объеме.

- выдать-составить металлургическая прокатки в древесных отходах, поступающих из отхода и производственных шин;
- транспортно-отоп древесных отхода, позволяющий отапливать крупнее древесные фракции и мелкого фракции;
- комплектация древесных отхода (используется для изготовления древесных отходов отсортированных на сите крупнее 5мм и для изготовления древесных отходов поступающих от лесопилок, удалены естественного древесного отхода и древесно-стружечной растительности, а также после строительства-бытового использования;
- оборудована отхода, включены инфракрасных (жестко, сорбентов в т.д.);
- резервуар-отделителя металлургическая прокатки, (на платформе вакуумной установки УВ-50 выполненной по промышленным исполнению);
- дозатор, обеспечивающий равномерное, заданное поступление всех компонентов;
- рабочий бункер-омельщик с автоматизацией заданной времени смешивания;

продолжение Приложения Ж

- шпаловый пресс-экструдер брикетирования многокомпонентного топлива марки ПМТ-1 производительностью 1 тонна в час;

- формирующее насадке: Ø 90мм круглой, 72,72 мм квадратной формы;

- авторская; В ходе эксплуатации опытно промышленной установки для производства топлива твердого многокомпонентного подтверждено, что она обладает всеми заявленными возможностями и позволяет производить многокомпонентное твердое топливо с заданными характеристиками и формами в соответствии с разработанными составами согласно ТУ ВУ 490319372.001 – 2005.

Теплотехнические характеристики производимого топлива не ниже 4330 Ккал/кг при влажности топлива не более 20%. Производительность установки соответствует паспортным параметрам работы при влажности смеси 43 ± 1% в диапазоне изменения доли древесной от 10 до 30 %.

На момент подписания настоящего Акта для производства топлива и обслуживания внедренной установки при однократном режиме работы на предприятии заняты 1 инженерно-технологический работник и 4 рабочих. Потребляемая электрическая мощность установки не превышает 31 кВт.

Члены комиссии:

Иванов П.О.

Деревик Е.В.

Мастер расчетного
производственного участка

Матайлов А.А.

Исполнитель: *А.И. Митюков*
 от «11» с. июля 2016.

Контроль:
 И.И. Аргуталов
 Главный инженер
 от «11» с. июля 2016.

АКТ ВНЕДРЕНИЯ

Мы, ниже подписавшие начальник ПТО Дерезюк Е.В., мастер производственного участка Михайлов А.А., и ответственного за эксплуатацию ЭТО нефтесодержащих отходов А.И. Митюкова составили настоящий акт в соответствии с тем, что результаты диссертационного исследования Николая Александровича Николаенко в части обработки нефтесодержащих отходов электрогазварочной установкой ввернули в производственный цикл подготовки отходов, содержащих вещества различного происхождения.

Характеристики отходов:
 Режим обработки осуществляется установкой номинальной мощностью 4,5 кВт с амплитудой ударной волны длительностью разряда не более 150-200 мкс, на расстоянии 10-30 мм от дна рабочего органа. Время разовой обработки загруженных отходов - 2-4 минуты.
 Количество незагруженных отходов для формирования разряда - 6 шт., верифицируемость загрузки электродами и режимом составляет 5-8 т обработанных отходов. На обозначенных параметрах производится установка не превышает 0,2 тонны в час. Характеристика обработанных отходов - обесшлакная смесь нефтепродуктов жидкотекучих веществ различного происхождения.

Условленные результаты внедрения:

Отмечено, что устройство электрогазварочной обработки нефтесодержащих отходов, позволяет снизить содержание серы в физико-химическом составе производимого топлива. Так обрабатанные на установке нефтесодержащие отходы снижают содержание серы в пределах 1,68 - 1,87 раз. Механические примеси в виде окислов, гудеса, металлической стружки и т.п. отделяются, оседают в отстойнике. Разделенные сред устойчивое хорошо фильтруемое.

Уровень механизации данного вида работ - средний и требует постоянное участие одного работника. Электробезопасность установки обеспечивается тремя замкнутыми, наличием диэлектрического покрытия и диэризом, для упрощения разрядов и быстрого отключения установки используется ножная педаль, что в целом удобно и позволяет бо́льшую часть времени работы проводить в позиции сидя.

Начальник ПТО
 Е.В. Дерезюк

Мастер производственного участка
 А.А. Михайлов

ответственный за эксплуатацию ЭТО
 А.И. Митюков

С ООО «КОМКОНТ»

Котлы промышленные на древесных отходах
 БЕЛАРУСЬ - г. Гомель 246000, ул. Федюнинского, 19
 Тел/Факс: (+232)68-27-73; 68-28-14; 68-28-13; 68-27-74,
 E-mail : komkont@mail.ru URL: www.komkont.com

**С ООО «КОМКОНТ»**

РЕСПУБЛИКА БЕЛАРУСЬ
 СОВМЕСТНОЕ ОБЩЕСТВО С
 ОГРАНИЧЕННОЙ ОТВЕТСТВЕННОСТЬЮ
 «КОМКОНТ»

"21" 10 2016 г.
 № 287
 г. Гомель ул. Федюнинского, 19
 Тел 68.28.14

В совет по защите диссертаций
 Д 02.05.01 при БНТУ
 председателю совета
 Седину В.А.


Отзыв

Наше предприятие является производителем промышленных котлов, работающих на различных видах твердого топлива и биомассы. Изготавливаемое предприятием ОДО «ТеплоБел» твердое многокомпонентное топливо по ТУ ВУ 4903319372.001–2005 «Топливо твердое многокомпонентное», с изменениями № 1 от 01.02.2009 и № 2 от 05.03.2014 допускается к сжиганию в твердотопливных котлах со слоевыми топками марки СН15- СН450 (мощностью от 150 до 4500 кВт) в виду соответствия заявленных производителем характеристик по теплотехническим параметрам и экологическим требованиям, предъявляемым к эксплуатации производимых СООО «Комконт» котлов. Сжигание топлива обеспечивается высокой энергоэффективностью, что способствует полному сгоранию с образованием зольного остатка не более 8-11% и не приводит к образованию высоких концентраций выбросов загрязняющих вредных веществ (в первую очередь оксидов серы в диапазоне 83,4-95,3 мг/м³ и оксидов азота в диапазоне 88,8-98,6 мг/м³). Сбоев работы режимов сжигания при работе котлоагрегатов на многокомпонентном топливе не выявлено.

Генеральный директор
 СООО «Комконт»

В.С. Проскушкин


001010293924



Гомельское республиканское учреждение
предприимчивости «Гомельские сети»

Ф.Л.И.А.Л.
«ГОМЕЛЬСКИЕ ПЕЧЛОВАЯ СЕТИ»

Индустриальный проезд, 4, 246027, г. Гомель.
тел. +375 (232) 42 22 49 - главный
факс + 375 (232) 46 09 05
e-mail: gosnet@gosnet.gomel.by
р/с №12112480013, Республика Беларусь № 300
г. Гомельской области
ОАО «БПС-Сбербанк», ул. Сахарская, 29а
УНП 400064997, БИК 155901309



Гомельское республиканское учреждение
предприимчивости «Гомельские сети»

Ф.Л.И.А.Л.
«ГОМЕЛЬСКИЕ ТЕПЛОВЫЕ СЕТИ»

Индустриальный проезд, 4, 246027, г. Гомель.
тел. +375 (232) 42 22 49 - главный
факс + 375 (232) 46 09 05
e-mail: gosnet@gosnet.gomel.by
р/с №12112480013, Республика Беларусь № 300
г. Гомельской области
ОАО «БПС-Сбербанк», ул. Сахарская, 29а
УНП 400064997, БИК 155901309

17.01.2017 № 08-18/1485

На № _____ от _____

Проректору по научной работе БНТУ
профессору
Малышевскому А.М.

ОТЗЫВ

В период сентябрь - декабрь 2016 года под руководством представителя кафедры «Теплогазоснабжение и вентиляция» БНТУ Пехота Александром Николаевичем выполнены работы направленные на переработку отходов в виде донных отложений мазутных резервуаров (код отхода 5471700) в объеме 50 тонн, образовавшихся от эксплуатации мазутного хозяйства Северной котельной филиала «Гомельские тепловые сети» и нефтешламов нефтеловушек (код отхода 5471900) в объеме 4,8 тонн, образовавшихся от эксплуатации автомобильной мойки, расположенной на производственной площадке.

Работы проводились в соответствии с ТУ ВУ 4903319372.001-2005 «Топливо твердое многокомпонентное. Технические условия», изменения № 1 от 01.02.2009 и №2 от 05.03.2014, в ходе переработки выполнен цикл работ направленных на разработку технических условий ТУ ВУ 4903319372.002-2017 «Котельно-печное многокомпонентное твердое топливо насыщенное углеводородсодержащими отходами» позволяющих в перспективе использовать обширный спектр углеводородсодержащих отходов.

Работы проводились с использованием передвижной установки УПНДО-0,35 зарегистрированной в РУП «Бел НИЦ Экология».

Планируем продолжить научно-производственное сотрудничество и в 2017 году по переработке имеющихся углеводородсодержащих отходов, так как это, несомненно принесёт положительный результат, как для предприятий, так и для экологии в целом.

М.М.Починок

074273