

**Б.М. Хрусталеv,**  
академик НАН Беларуси,  
д.т.н., проф., ректор БНТУ



**А.Н. Пехота,**  
инженер-исследователь,  
БНТУ



# КОМПОЗИЦИОННОЕ ТВЕРДОЕ ТОПЛИВО НА ОСНОВЕ ВТОРИЧНЫХ ГОРЮЧИХ ОТХОДОВ

УДК 662.8.053.33

## Аннотация

Рассмотрены современные подходы к использованию отходов в качестве энергоресурсов, образование углеводородсодержащих отходов в Республике Беларусь, используемые технологии переработки. Предложен способ эффективного использования углеводородсодержащих отходов в качестве связующего вещества при производстве твердого топлива, что позволяет получать топливо с высокими теплотехническими характеристиками. Описана технологическая схема и способ получения ТТМ с эффективной последовательностью технологических процессов и оптимальным компонентным составом. Рассмотрены особенности хранения и транспортировки, приведены сравнительные характеристики, практическая применимость и экономическая целесообразность.

## Abstract

Modern approaches of using waste materials as energy resources, the formation of hydrocarbon waste in Belarus and used processing technology are considered. A method for the efficient use of hydrocarbon waste as a binder in solid fuel production, which produces fuel with high thermal characteristics is proposed.

The flow chart and preparation method of MSF with an effective sequence of technological processes and optimal component composition are described.

The storage and transport features, comparative characteristics, practical applicability and economic viability are considered.



Доля собственных энергоресурсов Республики Беларусь, которые в основном представлены древесиной, нефтью, торфом, низкосортным углем и горючими сланцами, составляет около 16% [1], поэтому проблема обеспечения энергетической безопасности имеет первостепенное значение для нашей страны [2, 3], и ее решение является приоритетным направлением внутренней и внешней политики Республики Беларусь [4, 5].

Одним из путей повышения экономической эффективности производства и энергетической безопасности является рациональное использование местных сырьевых, возобновляемых и вторичных ресурсов (отходов). Наши исследования показали, что энергетический потенциал в Республике Беларусь вторичных горючих, нефтесодержащих, древесных и прочих отходов обеспечивает возможность их использования в качестве вторичных энергетических ресурсов [6, 7]. Однако в настоящее время многие виды нефтесодержащих и прочих горючих отходов остаются не вовлеченными в использование в качестве энергетических ресурсов из-за ряда технических и организационных проблем. В частности, актуальным является разработка на основе нефтесодержащих отходов новых видов топлива, адаптированных по экономическим и экологическим требованиям для сжигания в существующих котлоагрегатах, а также технологий их производств.

Как известно [8], к углеводородсодержащим отходам относят отходы продуктов переработки нефти, являющиеся физико-химическими смесями, которые состоят из нефтепродуктов, механических примесей и воды. Они обладают значительным энергетическим потенциалом вследствие высокого содержания углерода (86–88%) и водорода (10–14%). Отходы данного вида охватывают преимущественно смеси отработанных нефтепродуктов, отработанные масла, нефтешламы, шламы очистки емкостей, отходы нефтеловушек очистных сооружений, использованные сорбирующие материалы, промасленную ветошь, опилки и др.

Для решения ряда принципиальных вопросов утилизации углеводородсодержащих отходов была рассмотрена возможность получения твердого топлива с применением технологии брикетирования. При этом, с одной стороны, решалась задача опреде-

ления оптимального состава компонентов новых видов топлива, с другой, – рассматривалась возможность применения стандартного технологического оборудования для производства этих видов топлива в виде брикетов.

Проведенные исследования показали, что к основным параметрам брикетируемости как физико-механического процесса относятся способность используемых компонентов к уплотнению, упрочнению, их упругость и пластичность. Установлено, что эти параметры зависят от температуры, влажности, давления, скорости прессования. Поэтому важно было определить те их значения, которые соответствуют минимальным энергетическим затратам и максимальной производительности прессования при необходимом качестве брикета.

В ходе разработки состава нового вида топлива и технологии его производства учитывались результаты теоретических исследований и имеющегося практического опыта брикетирования отходов углей связующими веществами из различных нефтесодержащих отходов, которые должны компоновать и «склеивать» разобщенные твердые тела, 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, обеспечивая высокое взаимодействие с субстратом;
- отличаться высокой гидрофобностью, мало зависеть от влажности субстрата и воздействия 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, высокой прочностью, быть жестче брикетируемого материала;
- отличаться недефицитностью и невысокой ценой, особенно, если они употребляются в больших количествах;
- обеспечивать тепло- и массостойчивость брикетов при повышенных летних температурах и их достаточную эластичность в условиях разгрузочно-погрузочных работ;

– иметь высокую теплоту сгорания и малый выход летучих веществ.

Учитывая вышеуказанные факторы, было принято решение разработать композитное топливо на основе смешения утилизируемых нефтесодержащих отходов с древесными отходами, а брикетирование нефтесодержащих отходов производить с использованием брикетирующего пресса с приемлемым уровнем энергопотребления и высокой производительностью по готовому продукту. Рабочие детали пресса должны быть технологичными в изготовлении, стойкими к износу и легкозаменяемыми.

В ходе предварительных изысканий выявилась также необходимость изменения и совершенствования технологической схемы процесса производства твердого топлива методом брикетирования. Классический подход к реализации процесса брикетирования в упрощенном варианте состоит из последовательности операций, представленной на рис. 1.

К общему недостатку типовых технологических схем относится необходимость обеспечения непрерывной работы применяемых в них сушильных агрегатов и теплогенераторов, так как любые неполадки в работе этого оборудования вызывают остановку технологического процесса. Кроме того, процесс сушки в этих условиях требует генерации топочных газов высокой температуры, что приводит к значительным затратам энергии на подготовку формовочной смеси. Для генерации высокотемпературных топочных газов необходимо дополнительное топливо, что приводит к снижению экономического эффекта такого производства. Кроме того, еще одним недостатком данной схемы, ограничивающей ее применение при переработке нефтесодержащих отходов, является необходимость нагрева формируемой массы сырья до температуры 240 – 280°C для спекания смолы и лигнина, выделяемых при брикетировании древесных опилок под создаваемым прессом давлением, что может привести к самовоспламенению.

В результате наших исследований был определен оптимальный состав композиционного топлива на основе смеси нефтесодержащих и древесных отходов, а сама технология при производстве твердого топлива на их основе видоизменена путем «рокировки» процессов брикетирования и сушки. Новая схема последовательности тех-

Рисунок 1. Последовательность операций при традиционном способе брикетирования

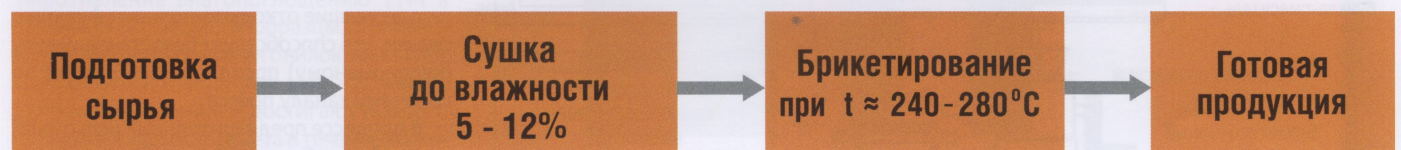
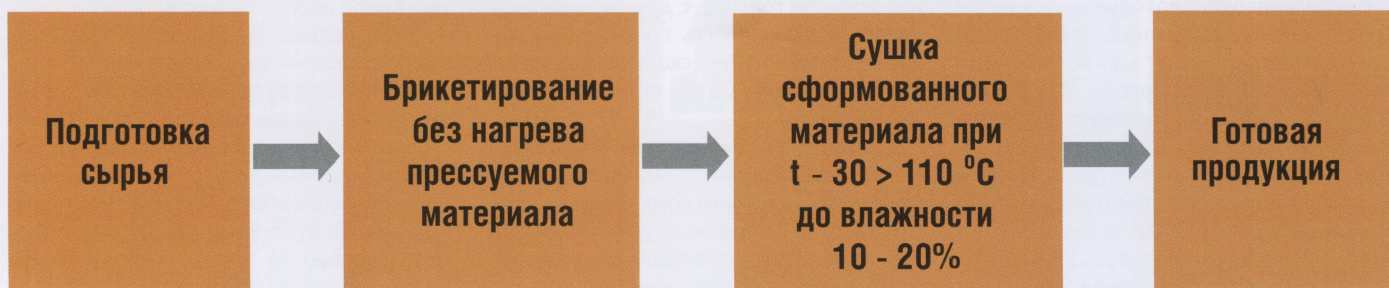


Рисунок 2. Последовательность операций при предложенном способе брикетирования



нологических операций производства топлива представлена на рис. 2.

Топливо, полученное предложенным способом, названо автором топливом твердым многокомпонентным (ТТМ) [9]. Были предложены способы (технологии) производства данного топлива [10–12].

Дополнительным преимуществом такой схемы является исключение возможности самовоспламенения нефтесодержащих отходов при брикетировании топлива вследствие отсутствия нагрева формуемой смеси и, главное, организация условий формовки брикетов из композиционной смеси. При этом сушку брикетов можно производить в сушильных камерах, а в теплое время года ее возможно осуществлять на открытых полигонах при температурах наружного воздуха.

Целью проведенных дальнейших исследований являлось решение задач изучения общих закономерностей процесса, проте-

кающего в установке при получении ТТМ, и оптимизации режима работы установки по производству этого топлива по критерию минимизации затрат на формовку брикетов (максимизации производительности установки). Экспериментальные исследования выполнялись на созданной опытно-промышленной установке для получения ТТМ на основе нефтедревесных отходов, схема которой показана на рис. 3.

В ходе исследований были определены основные требования к исходному сырью:

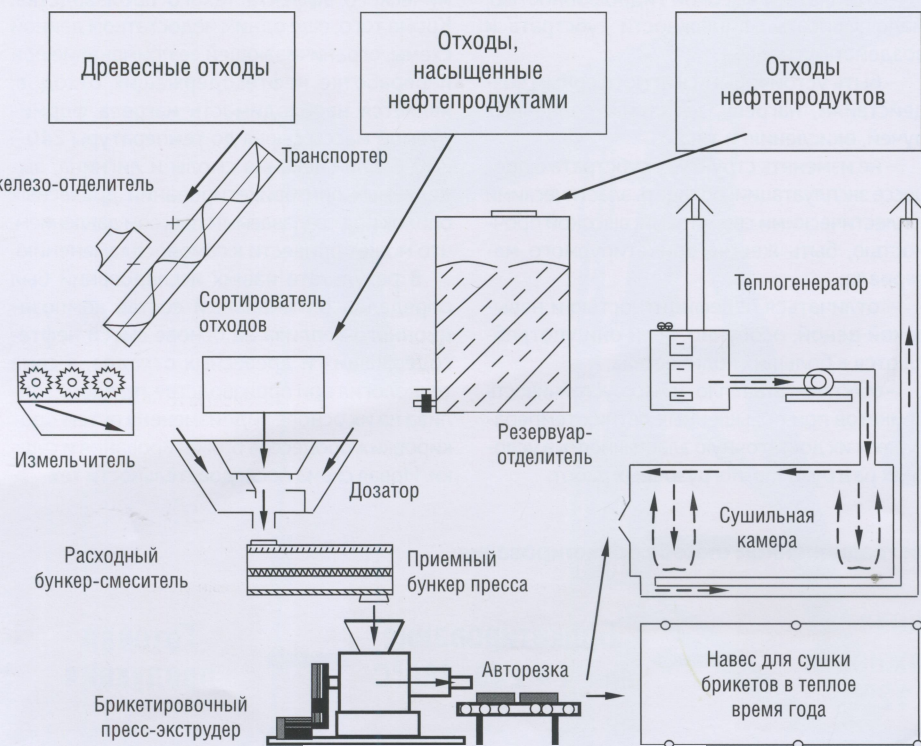
- древесное сырье: опилки – не менее 70% (допускается наличие мелких древесных частиц, коры размером до 8–10 мм и объемом 20%);
- нефтеотходы – не более 30%: нефтешламы, смесь отработанных нефтепродуктов (допускается присутствие до 5% промасленной ветоши, насыщенных нефтепродуктами сорбентов, таких как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

Для использования разноразмерных древесных отходов в процессе получения ТТМ в установку входит измельчитель, позволяющий дробить кусковые древесные отходы в мелкую древесную массу размерами 3–8 мм, пригодную для прессования. 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, которая из расходного бункера-смесителя поступает через загрузочное окно пресса в формующую часть пресса-экструдера. В процессе прессования смесь уплотняется под воздействием внешней нагрузки, создаваемой шнековым прессом за счет его вращения электродвигателем мощностью 27 кВт. В качестве прессующего устройства используется шнековый пресс (рис. 4), который формирует брикет способом непрерывного прессования винтовым рабочим органом (коническим шнеком).

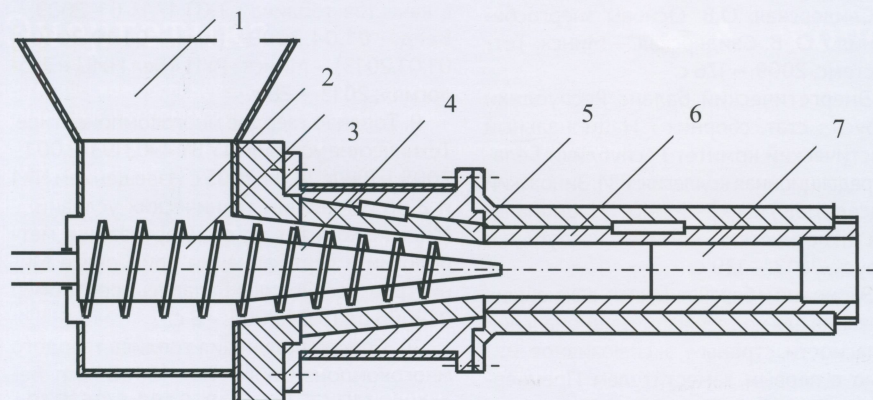
В отличие от технологии брикетирования сухих древесных опилок, при которой качественные показатели брикета достигаются за счет спекания, в предложенной технологии производства ТТМ методом непрерывного прессования нефтедревесных отходов шнековый пресс уплотняет влажную массу смеси данных отходов с определенной влажностью. Присутствующие в формуемой массе нефтесодержащие отходы – это связующее, которое придает формуемой массе пластичность, гидрофобные свойства, а также позволяет повышать теплоту сгорания. Нефтесодержащие отходы выполняют функцию смазки, что способствует безостановочному (непрерывному) прохождению брикета по рабочему каналу пресса.

В процессе предварительных испытаний пресса было обнаружено, что качество сфор-

Рисунок 3. Схема опытно-промышленной установки



**Рисунок 4.** Схема устройства пресса-экструдера ПМТ-1 для производства ТТМ



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

мованного прессом брикета зависит от влажности смеси нефтедревесных отходов, загружаемых в приемный бункер пресса. При влажности до 30% прессуемая масса не формируется (забивается рабочий канал, происходит нагрев до 120°C 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% формируемая 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 10–15°C, что удовлетворяет требованиям пожаробезопасности. В то же время небольшое повышение температуры способствует ускорению сушки изготовленных брикетов. 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 50x50 мм, которые перемещаются под навес для сушки в естественных условиях или в сушильную камеру для досушки.

Определены теплотехнические характеристики топлива, а также проведены исследования условий транспортировки, хранения и влагопоглощения нового вида топлива. Теплотехнические характеристики и влагопоглощение представлено на рис. 5, 6. На рис. 6 наглядно представлено высокое сопротивление влагопоглощению ТТМ в течение 9–12 часов, а образцы, произведенные методом спекания опилок, начинают разваливаться в воде уже через 20 минут после их погружения и достигают полного разрушения каркаса брикета в течение 30 минут. Таким образом, новый вид топлива не

прихотлив к условиям хранения и не требует герметичной упаковки и специальных условий складского хранения.

Возможность использования ТТМ для сжигания в топках, котлах и промышленных котельных согласована с Министерством природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Беларусь. Этот вид альтернативного топлива зарегистрирован в Госстандарте, а разработанные составы четырех марок прошли регистрацию в государственном центре каталогизации продукции и допущены к реализации потребителям [9]. Разработанные марки топлива защищены патентами [11, 12].

Автором также разработана методика расчета экологических показателей вредных продуктов сгорания при использовании ТТМ в котлоагрегатах со слоевыми топками. Таким образом, методика позволяет рассчитывать доли компонентного состава предлагаемого в работе топлива, удовле-

творяющего индивидуальным особенностям оборудования котельной и экологическим требованиям, которые предъявляются к его работе. Такой подход позволяет превратить отходы для получения местных видов топлива для энергоустановок без дополнительных экономических затрат по переоборудованию.

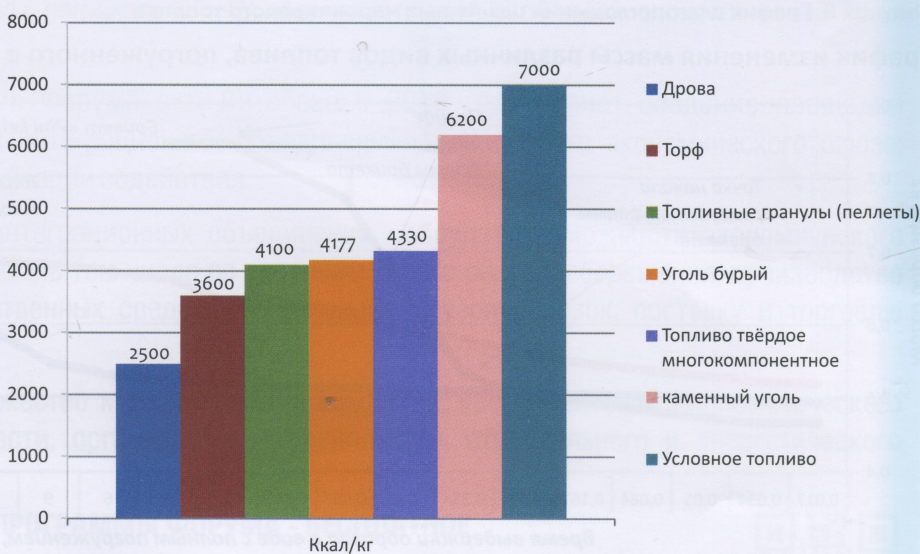
По результатам исследований была создана и внедрена на ОДО «ТеплоБел» г. Гомеля промышленная установка по производству ТТМ. На основании полученных результатов теоретических и практических исследований и в соответствии с техническими нормативно-правовыми актами разработаны ТУ ВУ 490319372.00 1–2005, прошедшие согласование в установленном законодательством порядке.

Экономический эффект работы установки состоит в сокращении расходов на обеспечение тепловой энергией собственной потребности предприятия, а также в получении дополнительной прибыли от реализации топливных брикетов сторонним промышленным предприятиям и населению.

Для расчета экономического эффекта использовались технические характеристики, стоимость оборудования, необходимое соотношение различных используемых компонентов и величины других затрат, связанных с организацией и производством топлива. Результаты технико-экономических расчетов показали, что себестоимость топливных брикетов с производительностью линии 1 тонна в час, составляет 38 долл. США за 1 тонну. Период возврата капитальных затрат при отпускной цене 50 долл. США за 1 тонну при двухсменном режиме работы и производительности выпуска 6 тонн в смену составил 28 месяцев.

При расчете принималось, что отходы, поступающие на переработку, прини-

**Рисунок 5.** Значение удельной энергоёмкости различных видов топлива в сравнении с топливом твердым многокомпонентным



маются бесплатно. Однако, при изменении структуры издержек в расчете себестоимость топлива твердого многокомпонентного может быть нулевой, так как в настоящее время на рынке переработки и утилизации отходов нефтепродуктов принципиально изменяются взаимоотношения с собственниками отходов путем компенсации затрат на их переработку. В этом случае прибыль предприятия, производящего топливо твердое многокомпонентное по разработанной технологии, зависит от возможности реализовать свою продукцию по конкурентоспособной цене и объемам продаж. Одним из факторов этих изменений является тенденция к ежегодному увеличению образования отходов производства, а также огромное количество уже накопленных отходов производства.

### Выводы

1. В результате исследований был получен новый вид композитного топлива на основе смеси нефтесодержащих и древесных отходов, определен оптимальный его состав и разработана технология его производства.

2. Проведенные исследования процесса получения топлива твердого многокомпонентного методом «холодного» брикетирования позволили на основе построения математических моделей технологического процесса получить оптимальные характеристики процесса брикетирования.

3. Технологическое объединение насыщенных по химическому составу углеродсодержащих отходов позволило не только получить топливо с высокой калорийностью, но и решить экологическую проблему утилизации углеродсодержащих отходов, в результате чего был достигнут высокий экономический эффект.

### Литература

1. Свицерская, О.В. Основы энергосбережения / О. В. Свицерская. – Минск: ТетраСистемс, 2009. – 176 с.

2. 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.

3. 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.

4. 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)

5. Энергосбережение и возобновляемые источники энергии : учеб.-метод. пособие / О.И. Родькин [и др.]; под общ. ред. С.П. Кундаса. – Минск : МГЭУ им. А.Д. Сахарова, 2011. – 160 с.

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

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

8. Охрана окружающей среды и природопользование. Отходы. Правила исполь-

зования углеродсодержащих 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.

9. 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.

10. 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. Хрусталеv; заявитель Пехота Александр Николаевич; Хрусталеv Борис Михайлович (BY). – № а 20120656; заявл. 25.04.12; опубл. 30.08.14 // Афіцыйны бюл. / Нац. цэнтр інтэлектуал. уласнасці. – 2014. – № 4. – С. 115.

11. 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. Хрусталеv; заявитель Пехота Александр Николаевич; Хрусталеv Борис Михайлович (BY). – № а 20120655; заявл. 25.04.12; опубл. 30.08.14 // Афіцыйны бюл. / Нац. цэнтр інтэлектуал. уласнасці. – 2014. – № 4. – С. 115–116.

12. 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. Хрусталеv; заявитель Пехота Александр Николаевич; Хрусталеv Борис Михайлович (BY). – № а 20120676; заявл. 30.04.12; опубл. 30.04.14 // Афіцыйны бюл. / Нац. цэнтр інтэлектуал. уласнасці. – 2014. – № 2. – С. 85. ■

Статья поступила в редакцию 17.03.2016

Рисунок 6. График влагопоглощения различных марок твердого топлива

График изменения массы различных видов топлива, погруженного в воду

