

УДК 622.331:662.641

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ТОРФА В КАЧЕСТВЕ СОРБЕНТА НЕФТИ И НЕФТЕПРОДУКТОВ С ДАЛЬНЕЙШЕЙ УТИЛИЗАЦИЕЙ ОТРАБОТАННОГО МАТЕРИАЛА В КАЧЕСТВЕ ТОПЛИВА

Э. Р. ЗВЕРЕВА, Е. С. ДРЕМИЧЕВА, А. А. ЭМИНОВ

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Казанский государственный энергетический университет», Российская Федерация

Е. Н. МАКЕЕВА, Т. Н. НИКУЛИНА

Учреждение образования «Гомельский государственный технический университет имени П. О. Сухого», Республика Беларусь

Проведено теоретическое и экспериментальное исследование торфа в качестве сорбента нефти и нефтепродуктов с дальнейшей утилизацией отработанного материала в качестве топлива. Показано, что нефтеемкость торфа существенно зависит от вязкости сорбированных нефтепродуктов. Оценены основные свойства торфа, насыщенного нефтепродуктами. Доказано, что сорбированные нефтепродукты увеличивают теплоту сгорания торфа в 1,95 раза для отработанного моторного масла и в 2,15 раза для дизельного топлива. Получено, что сорбированные нефтепродукты увеличивают как влажность, так и зольность торфа в сравнении с исходным топливом. Насыщенный нефтепродуктами торф может сжигаться как самостоятельное топливо, так и в качестве добавки к традиционному топливу. Рассчитана экономия от сжигания отработанного в качестве сорбционного материала торфа, насыщенного нефтепродуктами. Таким образом, для котельной установки производительностью 1,14 Гкал/ч экономия от сжигания торфа влажностью 40 % вместо природного газа составит от 10621,5 тыс. руб./год.

Ключевые слова: торф, сорбент, нефтеемкость, сорбированные нефтепродукты, очистка сточных вод.

USE OF PEAT AS A SORBENT FOR OIL AND PETROLEUM PRODUCTS WITH FURTHER UTILIZATION OF WASTE MATERIAL AS FUEL

E. R. ZVEREVA, E. S. DREMICHEVA, A. A. EMINOV

Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Kazan State Power Engineering University", Russian Federation

E. N. MAKEEVA, T. N. NIKULINA

Sukhoi State Technical University of Gomel, the Republic of Belarus

A theoretical and experimental study of peat as a sorbent for oil and petroleum products was carried out with further utilization of spent material as fuel. It has been shown that the oil capacity of peat significantly depends on the viscosity of the sorbed petroleum products. The main properties of peat saturated with petroleum products were evaluated. It has been proven that sorbed petroleum products

increase the heat of combustion of peat by 1.95 times for used engine oil and by 2.15 times for diesel fuel. It is obtained that sorbed petroleum products increase both moisture content and ash content of peat in comparison with initial fuel. Oil-saturated peat can be burned both as an independent fuel and as an additive to traditional fuel. Savings from burning spent oil-saturated peat as sorption material were calculated. Thus, for a boiler plant with a capacity of 1.14 Gcal/h, the savings from burning peat with a humidity of 40% instead of natural gas will range from 10621.5 thousand rubles. per year.

Keywords: peat, sorbent, oil capacity, sorbed petroleum products, waste water treatment.

Введение

Торф относят к возобновляемым энергетическим ресурсам. Торфяные месторождения – это естественные биологические системы, которые находятся в стадии непрерывного роста. Годовой прирост торфа в мире, исходя из площади болот (4 млн км²) и средней скорости прироста (1 мм в год), составит 4 млрд м³, что примерно соответствует 350 млн т. у. т. Скорость накопления торфа зависит от метеорологических условий. Годовой естественный прирост запасов торфа в Российской Федерации составит более 1 млрд м³ (в энергетическом эквиваленте – 87 млн т. у. т.) [1–4].

Российская Федерация обладает большими запасами торфа, которые составляют более 60 % мировых ресурсов. Энергетические запасы торфа превосходят запасы нефти и газа и уступают только углю. Общие запасы торфа оцениваются в 3,5 трлн м³, или около 700 млрд т для торфа, приведенного к влажности 40 %. В энергетическом аспекте это эквивалентно примерно 300 млрд т. у. т. [4–7]. Западно-Сибирский экономический район занимает первое место по сырьевому потенциалу (51 % от общих запасов торфа в Российской Федерации).

В Республике Татарстан учтено 455 месторождений торфа с запасами категорий А+В+С1 – 26,507 тыс. т, С2 – 88 млн т, забалансовые запасы – 19,458 тыс. т. Такой торф относится к низинному типу, т. е. месторождения залегают в поймах рек, на месте бывших озер, в оврагах. Этим обусловлена его сравнительно высокая зольность. В Республике Татарстан торф применяется, главным образом, в качестве удобрения, для мульчирования почв, производства грунтов и субстрата для теплиц, парников и др. [4].

Месторождения торфа широко распространены и в Республике Беларусь. Организациями торфяной промышленности Министерства энергетики Республики Беларусь разрабатывается 44 торфяных месторождений. Отведено 17,2 тыс. га площадей торфяных месторождений (0,72 % от общей площади торфяных месторождений). Общая площадь торфяного фонда Республики Беларусь оценивается в 2,4 млн га с геологическими запасами торфа в 4 млрд т [8, 9].

В энергетике Российской Федерации объем потребления торфяного топлива в 90-е гг. составлял 30 млн т, число электростанций на торфе приближалось к 80, а мощность их достигала 3800 МВт. Сейчас добыча торфа на топливо составляет 2,5 млн т, которое используется на 11 электростанциях и лишь на двух тепловых электрических станциях (ТЭЦ). В котельных используется примерно 700 тыс. т фрезерного торфа, 200 тыс. т брикета и 100 тыс. т кускового торфа [10, 11].

По информации Национальной академии наук Беларуси, в стране находится около 9 тыс. торфяных месторождений, общая площадь которых составляет 2,4 млн га; извлекаемые промышленные запасы торфа оцениваются в 302,1 млн т. В общем топливно-энергетическом балансе доля торфа составляет около 2 %, что позволяет ежегодно замещать до 550 млн м³ импортируемого природного газа [12, 13].

В настоящее время торфяная промышленность представлена 25 торфодобывающими и тремя машиностроительными организациями, осуществляющими добычу торфа и производство торфяной продукции (брикеты топливные, грунты питатель-

ные (более 50 наименований), торф верховой, удобрения жидкие, торф кусковой топливный, горшочки торфяные), производство специализированного технологического оборудования. В последние годы объемы добычи торфа составляют 2,6–3 млн т, из них 2,3–2,7 млн т торфа фрезерного для производства брикетов (производство брикетов топливных – 1,1–1,4 млн т); 112–131 тыс. т торфа фрезерного топливного (поставка на ТЭЦ и котельные); 90–131 тыс. т торфа верхового (производство торфа кипованного – 71–81 тыс. т, грунтов – 9–16 тыс. т); 14–20 тыс. т торфа кускового; 20–25 тыс. т торфа для приготовления компостов (для использования в сельском хозяйстве) (табл. 1–3).

Таблица 1

Торф топливный кусковой СТБ 2202–2011

| Наименование показателя | Норма | |
|--|-----------|-----------|
| | Тип «А» | Тип «Б» |
| Массовая доля влаги, %, не более | 40 | 40 |
| Зольность, %, не более | 23 | 23 |
| Диаметр куска торфа d , мм | 35–100 | 100–150 |
| Длина куска торфа, мм | $\leq 3d$ | $\leq 3d$ |
| Массовая доля мелочи (куски размером менее 25 мм), %, не более, для торфа: – поставляемого в рассыпном виде навалом; – упакованного в контейнеры | 8 3 | 7 2 |
| Массовая доля общей серы, %, не более | 0,5 | 0,5 |
| Низшая рабочая теплота сгорания торфа, кДж/кг, не менее | 8600 | 8600 |

Таблица 2

Торф топливный фрезерный СТБ 2062–2010

| Наименование показателя | Норма |
|--|-------|
| Массовая доля влаги, %, не более | 52 |
| Зольность, %, не более | 23 |
| Засоренность (куски торфа и древесины размером более 25 мм), %, не более | 8 |
| Массовая доля общей серы, %, не более | 0,5 |

Таблица 3

Торф верховой ТУ ВУ 100219992.318–2007

| Наименование показателя | Норма | |
|--|---------|---------|
| | Тип «А» | Тип «Б» |
| Массовая доля общей влаги, %, не более | 53 | 58 |
| Зольность, %, не более | 10 | 12 |
| Массовая доля древесных включений, %, не более | 1 | 1 |

Цель работы – теоретическое и экспериментальное исследование перспективности использования торфа в качестве сорбента нефти и нефтепродуктов с дальнейшей утилизацией отработанного материала в качестве топлива.

Для достижения данной цели в работе были поставлены и решены следующие задачи:

- провести анализ эффективных и эколого-экономичных сорбционных материалов для очистки нефтесодержащих сточных вод;
- оценить основные свойства торфа, насыщенного нефтепродуктами;
- проанализировать изменение зольности на рабочую массу при совместном сжигании торфа с каменным углем;
- рассчитать экономию от сжигания отработанного в качестве сорбционного материала торфа, насыщенного нефтепродуктами.

В Республике Беларусь основная часть торфа и топливных брикетов (более 50 %) используется в качестве коммунально-бытового топлива населением, также торфяное топливо поставляется на тепловые электростанции, котельные различного назначения (школы, больницы) (табл. 4). Доля торфа в общем объеме местных топливно-энергетических ресурсов составляет около 15 %. В энергетическом балансе доля торфа составляет 2–3 %. Помимо традиционного использования торфа в энергетических целях, организациями торфяной отрасли на перспективу планируется развитие направлений нетопливного использования торфа, в том числе организация производства продукции на основе глубокой переработки торфа [14].

Таблица 4

Брикеты топливные на основе торфа СТБ 1919–2008

| Наименование показателя | Норма для марки | |
|---|-----------------|-----------------|
| | БТ-1 | БТ-2 |
| Массовая доля общей влаги, %, не более | 16 | 20 |
| Зольность, %, не более | 15 | 23 |
| Механическая прочность, %, не менее | 95 | 94 |
| Массовая доля частично разрушенных брикетов, %, не более | 25 | 25 |
| Низшая рабочая теплота сгорания торфа, ккал/кг (кДж/кг), не менее | 3000 (12600) | 3000 (12600) |

Наличие достаточно равномерно распределенных запасов торфа в Российской Федерации дает широкие возможности для развития региональной энергетики на основе местного топлива, при этом генерирующие мощности могут использоваться независимо от централизованной энергосистемы и служить в качестве резервных [10]. Необходимо отметить, что при активном вовлечении торфяных ресурсов в энергетику решается задача пожаробезопасности на территориях торфоразработок.

В настоящее время использование торфа без подготовки сдерживается такими факторами, как сезонность добычи, высокая влажность, необходимость предварительного обезвоживания, низкая теплота сгорания, самовозгорание. Рациональное использование торфа предусматривает его комплексную переработку с применением малоотходных технологий. Торф при этом может служить сырьем для получения целого ряда ценных материалов и продуктов. Хочется при этом отметить, что существуют и другие направления применения торфа. В настоящее время в Российской Федерации и Республике Беларусь ведутся активные научные разработки по данной тематике [12, 13].

Для решения проблемы очистки нефтесодержащих сточных вод в каталоге наилучших доступных технологий включено несколько подходов, к числу которых относят обработку поверхностного стока промышленных предприятий в целях макси-

мального использования воды и уловленных нефтепродуктов в технологических процессах, а также проведение доочистки воды до требуемых норм при сбросе в водоемы. Кроме того, существует целый ряд технологических решений, позволяющих решить задачу создания замкнутых водооборотных циклов с глубокой очисткой объектов до установленных СанПиН, ВОЗ, ЕС, USEPA норм. Для быстрого достижения требуемых норм качества воды предусматривается сочетание нескольких методов очистки [15, 16].

На большинстве предприятий большую часть нефтепродуктов и масел, содержащихся в сточных водах и находящихся в эмульгированном состоянии, отделяют в нефтеловушках, после чего сточные воды, как правило, подвергают флотации, фильтрованию.

Однако для обеспечения высокого качества очищенной воды, соответствующего требованиям выпуска ее в водоемы рыбохозяйственного назначения, может быть использован метод адсорбции, который характеризуется высокой степенью очистки, эксплуатационной надежностью и относительной простотой аппаратного оформления [1].

Поиск новых сорбционных материалов, а также изучение механизмов сорбционных процессов говорит о том, что сорбционные методы очистки воды от различных загрязнителей остаются одними из эффективных и перспективных методов, а изучаемая тема актуальна. В настоящее время ведется расширение номенклатуры эффективных и эколого-экономичных материалов для аппаратов очистки нефтесодержащих сточных вод и сбора нефти и нефтепродуктов с поверхности водоемов при аварийных разливах. Основные требования к сорбенту нефти и нефтепродуктов – наличие высокой нефтепоглощающей способности, возможность регенерации либо утилизация совместно с собранной нефтью, низкая стоимость и др. [17, 18].

Качество сорбентов определяется, прежде всего, их емкостью по отношению к нефти и нефтепродуктам, степенью гидрофобности, плавучестью после сорбции нефти, возможностью десорбции нефти, регенерации или утилизации сорбента. В сложившихся макроэкономических условиях целесообразно использовать в качестве сорбентов природные материалы и отходы производств промышленных предприятий. Такие сорбенты относительно дешевы, и многие из них обладают достаточно высокими сорбционными свойствами по отношению к углеводородам, причем предпочтение нужно отдавать органическим материалам, так как они не нуждаются в регенерации.

Например, известно, что торф обладает сорбционными свойствами по отношению к нефти и нефтепродуктам. Причем торф может быть использован также в качестве исходного продукта для получения сорбентов. Сорбенты на основе синтезированных материалов после их применения захоранивают, что приводит к вторичному загрязнению окружающей среды.

Существует экологически безопасный сорбент на основе торфа. Торф относится к природным возобновляемым ресурсам, поэтому использование его в качестве сырья для приготовления сорбентов – достаточно перспективное направление. Наибольшей поглотительной способностью обладает торф с низкой степенью разложения. Для изготовления сорбентов выбирают верховые сфагновые слаборазложившиеся виды торфа, поскольку у них самая высокая нефтеемкость.

Сорбция нефти и нефтепродуктов торфом происходит в несколько стадий.

Сначала идет быстрая стадия адсорбции, при которой нефть смачивает поверхность абсорбента. Затем наступает медленная стадия проникания углеводородов в поры абсорбента. Заполнение пустот абсорбента происходит под действием капиллярных сил.

Торф относят к многокомпонентному природному образованию, основу которого составляют гуминовые кислоты – высокомолекулярные соединения, – содержащие различные функциональные группы, что придает им способность извлекать как ионы тяжелых металлов, так и органические загрязнения. Высокая поглощающая способность по отношению к нефти и нефтепродуктам создает возможность использования его для очистки сточных вод нефтеперерабатывающих и нефтехимических производств. Такой интерес широкого применения обусловлен его дешевизной, доступностью и возможностью утилизации насыщенного нефтью и нефтепродуктами торфа путем сжигания, получая при этом дополнительное количество тепла. Кроме того, ранее были проведены исследования по оценке сорбционной емкости и удерживающей способности торфами по отношению к растворенным нефтепродуктам, а также были получены положительные результаты, позволяющие детально изучить механизмы протекания данного процесса [19, 20].

Ранее [21–25] были проведены эксперименты по оценке сорбционных свойств торфов Республики Татарстан из различных месторождений, относящихся к низинному типу, т. е. месторождений, которые залегают в поймах рек, на месте бывших озер, в оврагах, по отношению как к нефти в чистом виде, так и к нефтепродуктам различной вязкости. Кроме сорбционной емкости была оценена удерживающая способность. Установлено, что торфы как низинного, так и верхового типа обладают высокими сорбционными свойствами по отношению к нефти и нефтепродуктам.

В качестве объектов исследования, модельных систем, характеризующих совокупность больших групп индивидуальных углеводородов, были использованы товарные нефтепродукты – отработанное моторное масло и зимнее дизельное топливо.

Моторные масла применяются для смазывания поршневых и роторных двигателей внутреннего сгорания. В процессе работы в автомобильном двигателе масло загрязняется различными примесями и теряет свои первоначальные физико-химические и эксплуатационные свойства. Отработанное моторное масло представляет повышенную опасность для окружающей среды и относится к категории опасных отходов.

Отработанные моторные (для авиационных поршневых, карбюраторных и дизельных двигателей), компрессорные, вакуумные и промышленные масла, согласно ГОСТ 21046–86, должны соответствовать следующим требованиям: условная вязкость при 20 °С – свыше 40 °ВУ; температура вспышки, определяемая в открытом тигле, – не ниже 100 °С; массовая доля механических примесей – не более 1 %; массовая доля воды – не более 2 %; массовая доля фракций, выкипающих до 340 °С, – не более 10 %; температура застывания фракций, выкипающих выше 340 °С, – не выше –10 °С; плотность при 20 °С – не более 905 кг/м³.

Дизельное топливо (ГОСТ Р 55475–2013) – топливо, получаемое из керосиново-газойлевых фракций путем прямой перегонки нефти с плотностью 0,855 г/см³, является токсичным малоопасным веществом по степени воздействия на человеческий организм (4-го класса опасности). Основными потребителями дизельного топлива являются железнодорожный транспорт, грузовой автотранспорт, автобусы, водный транспорт, военная техника, дизельные электрогенераторы, сельскохозяйственная техника, а также легковой дизельный автотранспорт. Остаточное дизельное топливо (соляровое масло) используется в качестве котельного топлива, для пропитывания

кож, в смазочно-охлаждающих средствах и закалочных жидкостях, при механической и термической обработке металлов [21, 26].

Определение нефтеемкости проводилось в соответствии со стандартной методикой “Activated carbon. Standard test method for determination of sorbent performance of adsorbents”. Данный стандарт используется при сравнении адсорбентов по их адсорбционной способности к нефтепродуктам и их сравнительной оценки эффективности. Отличие лабораторного испытания от натурального заключается в том, что в реальных условиях применения адсорбент не будет контактировать с таким слоем нефтепродукта, который позволит ему быстро и полностью насытиться, т. е. результат лабораторного эксперимента представляет собой максимально возможную адсорбционную способность и минимальное время насыщения. Выбор данного стандарта обусловлен тем, что полученные экспериментальные данные позволяют осуществлять выбор оптимального адсорбента в условиях, когда этап обработки адсорбента водой отсутствует, и результаты применимы только в случаях, когда толщина слоя нефтепродукта равна или превышает толщину слоя адсорбента.

В соответствии с данной стандартной методикой торф является адсорбентом II типа (свободной формы), сыпучим материалом в виде отдельных кусков, форма и размеры которых позволяют манипулировать материалом только с помощью черпака или аналогичного приспособления. Толщина слоя испытуемого нефтепродукта была не менее чем 2,5 см при толщине пробы торфа, равномерно распределенного в емкости для испытаний, не более 2,5 см [22, 23].

Для получения насыщенных нефтепродуктами образцов навеску торфа массой 5 и 10 г помещали в колбу, содержащую нефтепродукты, выдерживали в течение 60 мин с шагом 10 мин, затем извлекали из нее, давали стечь в течение 30 ± 3 с для дизельного топлива и $2 \text{ мин} \pm 3 \text{ с}$ для моторного масла, далее производили взвешивание.

По результатам испытаний вычисляли нефтеемкость – массовую и объемную адсорбируемости нефтепродукта. Массовая адсорбируемость нефтепродукта – отношение массы адсорбированного нефтепродукта к массе сухого адсорбента (рис. 1), объемная адсорбируемость – отношение объема адсорбированного нефтепродукта к объему сухого адсорбента (рис. 2).

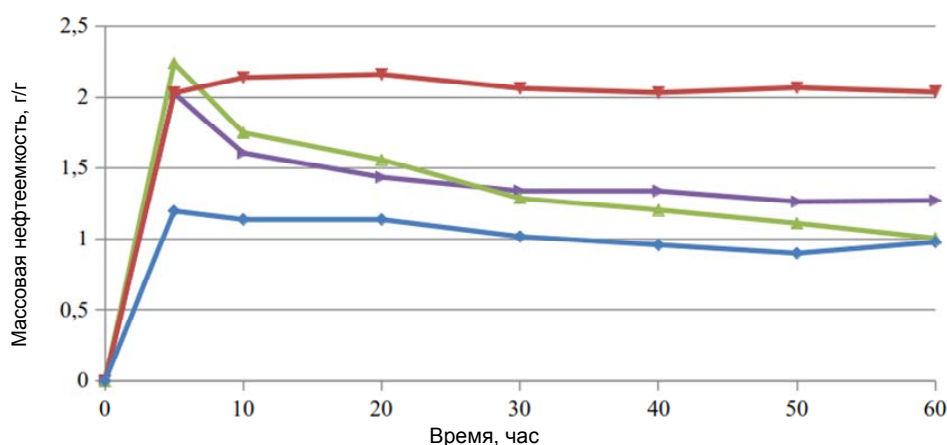


Рис. 1. Массовая нефтеемкость:

- ◆ – масло, масса торфа – 5 г; ▼ – масло, масса торфа – 10 г;
- ▲ – дизельное топливо, масса торфа – 5 г;
- ▶ – дизельное топливо, масса торфа – 10 г

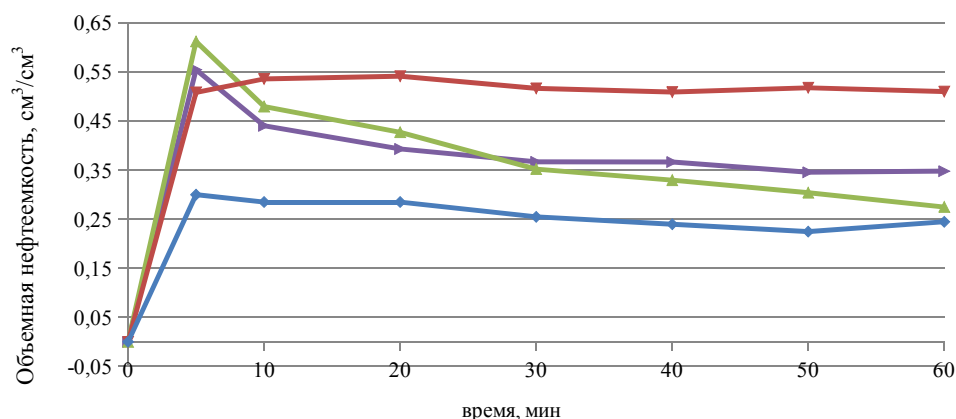


Рис. 2. Объемная нефтеемкость:

- ◆ – масло, масса торфа – 5 г; ▼ – масло, масса торфа – 10 г;
- ▲ – дизельное топливо, масса торфа – 5 г;
- ▶ – дизельное топливо, масса торфа – 10 г

Сорбционные свойства торфа наблюдаются с первых минут контакта с моторным маслом и дизельным топливом и существенно зависят от их вязкости. Причем степень насыщения достигается к 20 мин контакта торфа и нефтепродукта, выдерживать далее нецелесообразно.

Таким образом, отработанный торф в качестве сорбционного материала может быть перспективным энергетическим топливом, так как происходит увеличение теплоты сгорания торфа за счет прибавления значительного количества высококалорийного нефтепродукта [24].

В соответствии с действующими ГОСТ были определены на рабочую массу влажность W (ГОСТ Р 52911–2013), зольность A (ГОСТ Р 55661–2013) полученных образцов. Полученные результаты представлены в табл. 5.

Таблица 5

Свойства отработанного торфа

| Показатель | Исходный образец | Насыщенный нефтепродуктами торф | | | |
|-------------------|------------------|---------------------------------|-------|-------------------|-------------------|
| | | Масло | Масло | Дизельное топливо | Дизельное топливо |
| Масса торфа, г | 5 | 5 | 10 | 5 | 10 |
| Влажность W , % | 63 | 67 | 67 | 69 | 70 |
| Зольность A , % | 2,1 | 3,5 | 3,7 | 4,1 | 4,5 |

По полученным результатам видно, что сорбированные нефтепродукты увеличивают как влажность, так и зольность торфа в сравнении с исходным образцом. Поэтому при энергетическом использовании необходима дополнительная сушка насыщенного нефтепродуктами торфа.

В настоящее время применяются два основных принципа использования биотоплива в виде гранул для генерации энергии. Тепловые электрические станции и котельные практически полностью переходят на гранулированное биотопливо как топливо (моносжигание) или гранулированное биотопливо используют как дополнительное топливо к основному (совместное сжигание – Co-Firing) [25].

Для оценки изменения зольности в зависимости от количества торфа, насыщенного нефтепродуктами, в общем балансе твердого топлива при совместном сжигании были проведены экспериментальные исследования. Результаты приведены на рис. 3.

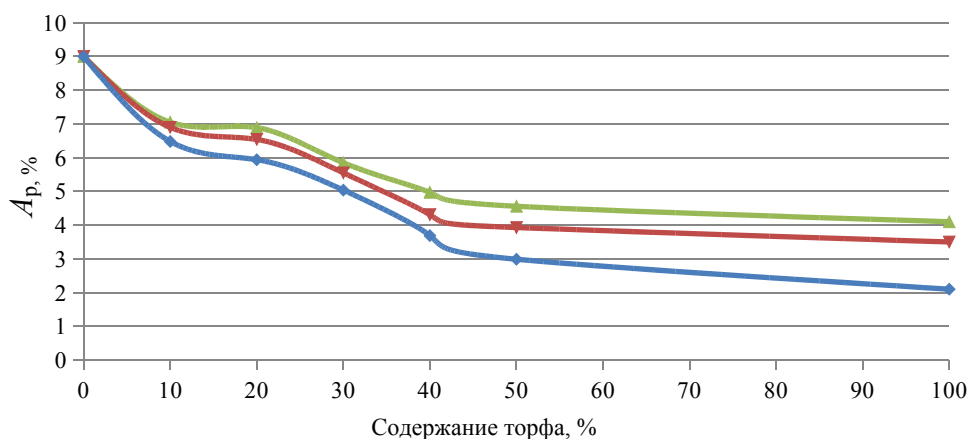


Рис. 3. Изменение зольности на рабочую массу при совместном сжигании торфа с каменным углем:

- ◆ – исходный образец торфа; ▼ – торф, насыщенный моторным маслом;
- ▲ – торф, насыщенный дизельным топливом

По значениям низшей теплоты сгорания можно провести моделирование значения теплоты сгорания торфа, насыщенного нефтепродуктами в различном процентном отношении, для дальнейшего расчета экономии топлива (табл. 6) [24, 25].

Таблица 6

Значения низшей теплоты сгорания торфа, насыщенного отработанным моторным маслом и дизельным топливом

| Содержание нефтепродукта, % | Низшая теплота сгорания, МДж/кг | |
|---------------------------------|---------------------------------|-------------------|
| | Моторное масло | Дизельное топливо |
| 0 | 10,84 | 10,84 |
| 50 | 26,48 | 26,98 |
| 100 | 42,138 | 43,12 |
| Насыщенный нефтепродуктами торф | 32,01 | 34,11 |

Далее была проведена оценка количество полученной от сжигания насыщенного нефтепродуктами торфа энергии [25]. Расчетные данные экономии от сжигания торфа представлены в табл. 7.

Таблица 7

Экономия от сжигания торфа

| Вид торфа | Удельная теплота сгорания q , кВт/кг | Масса топлива m , кг | Количество полученной энергии Q , кВт | Эквивалентное количество природного газа V , м ³ | Экономия от сжигания торфа вместо природного газа, тыс. руб. |
|-------------------------------------|--|------------------------|---|---|--|
| Торф с влажностью 65 % | 3,01 | 4826254,8 | 14527024 | 2135071 | 12429 |
| Торф, насыщенный моторным маслом | 8,89 | 1633858,8 | 14525004 | 2134774 | 12778 |
| Торф, насыщенный дизельным топливом | 9,475 | 1533366 | 14528642 | 2135309 | 12792,7 |

Среднюю цену (2022 г.) торфа за 1 т принимаем равной 110 руб.

Средняя цена (2022 г.) на природный (магистральный) газ – 6,07 руб./м³.

Нормальный КПД котлов имеет пределы 80–85 %.

Таким образом, для котельной установки производительностью 1,14 Гкал/час экономия от сжигания торфа влажностью 40 % вместо природного газа составит от 10621,5 тыс. руб./год.

Таким же образом был произведен расчет затрат при сжигании торфа влажностью 40 % вместо каменного угля Кузнецкого бассейна и мазута М-100. Теплоты сгорания угля и мазута составляют 26,66 и 40,61 МДж/кг, соответственно.

При сжигании торфа вместо угля экономия составит 3980 тыс. руб./год при стоимости каменного угля 2300 руб./т, а вместо мазута – 24584 тыс. руб./год при стоимости мазута 19500 руб./т.

Заключение

Результаты теоретических и экспериментальных исследований показали перспективность использования торфа в качестве сорбента нефти и нефтепродуктов с дальнейшей утилизацией отработанного материала в качестве топлива:

– торф обладает сорбционными свойствами по отношению к нефти и нефтепродуктам, которые проявляются с первых минут контакта. Показано, что нефтеемкость торфа существенно зависит от вязкости сорбированных нефтепродуктов;

– оценены основные свойства торфа, насыщенного нефтепродуктами. Показано, что сорбированные нефтепродукты увеличивают теплоту сгорания торфа в 1,95 раза для отработанного моторного масла и в 2,15 раза для дизельного топлива. Получено, что сорбированные нефтепродукты увеличивают как влажность, так и зольность торфа в сравнении с исходным топливом.

– показано, что насыщенный нефтепродуктами торф может сжигаться как самостоятельное топливо, так и в качестве добавки к традиционному топливу. Проанализировано изменение зольности на рабочую массу при совместном сжигании торфа с каменным углем.

Литература

1. Сорбционные свойства верхового торфа Прибеломорской провинции (Россия) / С. Б. Селянина [и др.] // Природопользование. – 2019. – № 1. – С. 211–218.
2. Крамаренко, В. В. Сравнительная характеристика физических свойств верховых и низинных торфов томской области / В. В. Крамаренко // Ученые зап. Казан. гос. ун-та. Естеств. науки. – 2009. – Т. 151, кн. 4. – С. 142–151.
3. Архипов, В. С. Состав и свойства типичных видов торфа центральной части Западной Сибири // В. С. Архипов, С. Г. Маслов // Химия раст. сырья. – 1998. – № 4. – С. 9–16.
4. Дегтярев, К. С. Торф – недооцененный ресурс России / К. С. Дегтярев // Сантехника, отопление, кондиционирование. – 2016. – № 3. – Режим доступа: <https://www.c-o-k.ru/articles/torf-nedoocenennyyu-resurs-rossii>. – Дата доступа: 11.07.2023.
5. Использование биотоплива для производства тепла // Новости теплоснабжения. – 2000. – № 4. – Режим доступа: https://www.rosteplo.ru/Tech_stat/stat_shablon.php?id=3656. – Дата доступа: 11.07.2023.
6. Российское энергетическое агентство (РЭА) Минэнерго России. – Режим доступа: <https://rosenergo.gov.ru/>. – Дата доступа: 12.07.2023.

7. Справка о состоянии и перспективах использования минерально-сырьевой базы Республики Татарстан на 15.03.2021. – Режим доступа: <https://www.rosnedra.gov.ru/data/Fast/Files/202104/0d7902ff118308f4bc272cdb94c47d02.pdf>. – Дата доступа: 12.07.2023.
8. Резервы торфяного фонда Республики Беларусь / А. П. Гаврильчик [и др.] // Новости науки и технологий. – 2012. – № 1 (20). – С. 3–14.
9. Торфяной фонд республики Беларусь и задачи по его рациональному использованию и охране / Л. С. Лис [и др.] // Природ. ресурсы. – 2019. – № 1. – С. 118–133.
10. Тимофеева, С. С. Перспективы использования торфа в региональной энергетике / С. С. Тимофеева, Г. Р. Мингалеева // Изв. Том. политехн. ун-та. – 2014. – Т. 325, № 4. – С. 46–55.
11. Штин, С. М. Применение торфа как топлива для малой энергетики / С. М. Штин // Горный информ.-аналит. бюл. – 2011. – № 7. – С. 82–95.
12. Пресс-служба Президента Республики Беларусь. – Режим доступа: <https://president.gov.by/ru/belarus/>. – Дата доступа: 13.07.2023.
13. Восьмое национальное сообщение Республики Беларусь в соответствии с обязательствами по рамочной конвенции ООН об изменении климата. – Режим доступа: https://unfccc.int/sites/default/files/resource/8NC_BLR.pdf. – Дата доступа: 13.07.2023.
14. О развитии торфяной промышленности ГПО «Белтопгаз». – Режим доступа: https://www.topgas.by/content/sobytiya/novosti/156__o_razvitii_torfyanou_promyshlennosti_gpo_beltopgaz_/. – Дата доступа: 13.07.2023.
15. Дремичева, Е. С. Проблемы загрязнения водоемов нефтесодержащими сточными водами промышленных предприятий и варианты их решения / Е. С. Дремичева // Хим. безопасность. – 2021. – Т. 5, № 2. – С. 66–77.
16. Дремичева, Е. С. Механизм адсорбционной очистки сточных вод от эмульгированных нефтепродуктов / Е. С. Дремичева // Вестн. Перм. нац. исслед. политехн. ун-та. Хим. технология и биотехнология. – 2022. – № 3. – С. 73–88.
17. Изучение процесса сорбции растворенных нефтепродуктов из водных сред уг-леродсодержащим материалом / И. В. Старостина [и др.] // Защита окружающей среды в нефтегазовом комплексе. – 2022. – № 3 (306). – С. 60–66.
18. Татаринцева, Е. А. Получение эффективных нефтесорбентов для очистки вод на основе отходов химической промышленности / Е. А. Татаринцева, Л. Н. Ольшанская // Пром. процессы и технологии. – 2021. – Т. 1, № 1. – С. 6–16.
19. Kurbangaleeva, M. Kh. Improvement of Emergency Oil Spill Management Technology / M. Kh. Kurbangaleeva // IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science. – 2022. – Vol. 988, N 022008. – P. 1–4. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/988/2/022008>
20. Dremicheva, E. S. Modeling the process of sorption for the purification of waste water from petroleum products and heavy metals / E. S. Dremicheva, A. G. Laptev // Theoretical Foundations of Chemical Engineering. – 2019. – N 53 (3). – P. 355–363. <https://doi.org/10.1134/S0040579519030047>
21. Дремичева, Е. С. Энергетические свойства торфа, насыщенного нефтепродуктами / Е. С. Дремичева // Надежность и безопасность энергетики. – 2020. – № 13 (2). – С. 105–109. <https://doi.org/10.24223/1999-5555-2020-13-2-105-109>
22. Дремичева, Е. С. Использование низкокачественного местного топлива в качестве сорбента нефти и нефтепродуктов / Е. С. Дремичева, Э. Р. Зверева, А. А. Эминов // Вестн. Перм. нац. исслед. политехн. ун-та. Хим. технология и биотехнология. – 2023. – № 1. – С. 92–111.

23. Перспективы технологии совместного сжигания биомассы и угля на объектах энергетики / Е. С. Дремичева [и др.] // Изв. высш. учеб. заведений. Проблемы энергетики. – 2021. – Т. 23, № 1. – С. 119–130.
24. Дремичева, Е. С. Использование твердотопливных композиций при совместном сжигании на объектах малой энергетики / Е. С. Дремичева // Пром. энергетика. – 2021. – № 8. – С. 48–56. <https://doi.org/10.34831/EP.2021.21.66.006>
25. Дремичева, Е. С. Эколого-экономические аспекты использования торфа в энергетике / Е. С. Дремичева, А. А. Эминов // Вестн. Казан. гос. энергет. ун-та. – 2022. – Т. 14, № 1 (53). – С. 96–108.
26. Макеева, Е. Н. Влияние концентрации этанола и изопропанола на октановое число бензина и цетановое число дизельного топлива / Е. Н. Макеева // Вестн. Гомел. гос. техн. ун-та им. П. О. Сухого. – 2022. – № 4 (91). – С. 66–72.

References

1. Selyanina S. B., Orlov A. S., Ponomareva T. I., Trufanova M. V., Yarygina O. N., Sokolova T. V., Sosnovskaya N. Ye., Pekhtereva V. S. Sorbtionnyye svoystva verkhovogo torfa Pribelomorskoy provintsii. *Prirodopol'zovaniye = Nature Management*, 2019, no. 1, pp. 211–218 (in Russian).
2. Kramarenko V. V. Cravnitel'naya kharakteristika fizicheskikh svoystv verkhovykh i nizinykh torfov tomskoy oblasti. *Uchenyye zapiski Kazanskogo gosudarstvennogo universiteta. Yestestvennyye nauki = Scientific Notes of Kazan State University. Natural Sciences*, 2009, vol. 151, book 4, pp. 142–151 (in Russian).
3. Arkhipov V. S., Maslov S. G. Costav i svoystva tipichnykh vidov torfa tsentral'noy chasti Zapadnoy Sibiri. *Khimija Rastitel'nogo Syr'ja = Russian Journal of Bioorganic Chemistry*, 1998, no. 4, pp. 9–16 (in Russian).
4. Degtyarev K. S. Torf – nedootsenonnyy resurs Rossii. Santekhnika, otopleniye, konditsionirovaniye = Peat is an underestimated resource in Russia Plumbing, heating, air conditioning, 2016, no. 3. Available at: <https://www.c-o-k.ru/articles/torf-nedootsenonnyy-resurs-rossii> (accessed 11.07.2023).
5. The use of biofuels for heat production. *Novosti teplosnabzheniya = News of heat supply*. 2000, no. 4. Available at: https://www.rosteplo.ru/Tech_stat/stat_shablon.php?id=3656 (accessed 11.07.2023).
6. Russian Energy Agency (REA) of the Ministry of Energy of Russia. Available at: <https://rosenergo.gov.ru/> (accessed 12.07.2023).
7. Information on the state and prospects for the use of the mineral resource base of the Republic of Tatarstan as of March 15, 2021. Available at: <https://www.rosnedra.gov.ru/data/Fast/Files/202104> (accessed 12.07.2023).
8. Gavril'chik A. P., Lis L. S., Makarenko T. I., Osipov A. V. Reserves of the peat fund of the Republic of Belarus. *Novosti nauki i tekhnologiy = Science and Technology News*, 2012, no. 1 (20), pp. 3–14 (in Russian).
9. Lis L. S., Kuntsevich V. B., Makarenko T. I., Ageychik I. V. Peat fund of the Republic of Belarus and tasks for its rational use and protection. *Prirodnyye resursy = Natural resources*, 2019, no. 1, pp. 118–133 (in Russian).
10. Timofeyeva S. S., Mingaleyeva G. R. Prospects for the use of peat in the regional energy sector. *Izvestiya Tomskogo politekhnicheskogo universiteta = Proceedings of the Tomsk Polytechnic University*, 2014, vol. 325, no. 4, pp. 46–55 (in Russian).

11. Shtin S. M. The use of peat as a fuel for small-scale energy. *Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten' (nauchno-tekhnicheskiy zhurnal) = Mining information and analytical bulletin (scientific and technical journal)*, 2011, no. 7, pp. 82–95 (in Russian).
12. Press Service of the President of the Republic of Belarus. Available at: <https://president.gov.by/ru/belarus> (accessed 13.07.2023).
13. Eighth National Communication of the Republic of Belarus in accordance with the obligations under the UN Framework Convention on Climate Change. Available at: https://unfccc.int/sites/default/files/resource/8NC_BLR.pdf (accessed 13.07.2023).
14. On the development of the peat industry of the State Production Association «Beltopgaz». Available at: https://www.topgas.by/content/sobytiya/novosti/156__o_razvitiitii_torfyanoy_promyshlennosti_gpo_beltopgaz (accessed 13.07.2023).
15. Dremicheva Ye. S. Problems of pollution of water bodies by oil-containing waste waters of industrial enterprises and options for their solution. *Khimicheskaya bezopasnost' [Chemical safety]*, 2021, vol. 5, no. 2, pp. 66–77 (in Russian).
16. Dremicheva Ye. S. Mekhanizm adsorbtsionnoy ochistki stochnykh vod ot emul'girovannykh nefteproduktov. *Vestnik Permskogo natsional'nogo issledovatel'skogo politekhnicheskogo universiteta. Khimicheskaya tekhnologiya i biotekhnologiya*, 2022, no. 3, pp. 73–88 (in Russian).
17. Starostina I. V., Kiryushina N. Yu., Lushnikov A. S., Palenova M. A., Pisklov M. A. Study of the process of sorption of dissolved petroleum products from aqueous media by carbon-containing material. *Zashchita okruzhayushchey sredy v neftegazovom komplekse = Environmental Protection in the Oil and Gas Complex*, 2022, no. 3 (306), pp. 60–66 (in Russian).
18. Tatarintseva Ye. A., Ol'shanskaya L. N. Obtaining effective oil sorbents for water purification based on waste products of the chemical industry. *Promyshlennyye protsessy i tekhnologii = Industrial processes and technologies*, 2021, vol. 1, no. 1, pp. 6–16 (in Russian).
19. Kurbangaleeva M. Kh. Improvement of Emergency Oil Spill Management Technology. *IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science = IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science*, 2022, vol. 988, no. 022008, pp. 1–4. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/988/2/022008>
20. Dremicheva E. S., Laptev A. G. Modeling the process of sorption for the purification of waste water from petroleum products and heavy metals. *Theoretical Foundations of Chemical Engineering*, 2019, no. 53 (3), pp. 355–363. <https://doi.org/10.1134/S0040579519030047>
21. Dremicheva Ye. S. Energy properties of peat saturated with petroleum products. *Reliability and safety of energy*, 2020, no. 13 (2), pp. 105–109. <https://doi.org/10.24223/1999-5555-2020-13-2-105-109>
22. Dremicheva Ye. S., Zvereva E. R., Eminov A. A. The use of low-quality local fuel as a sorbent for oil and oil products. *Vestnik Permskogo natsional'nogo issledovatel'skogo politekhnicheskogo universiteta. Khimicheskaya tekhnologiya i biotekhnologiya*, 2023, no. 1, pp. 92–111 (in Russian).
23. Dremicheva Ye. S., Zvereva E. R., Burganova F. I., Zverev L. O. Prospects for the technology of co-burning of biomass and coal at energy facilities. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Problemy energetiki = Power engineering: research, equipment, technology*, 2021, vol. 23, no. 1, pp. 119–130 (in Russian).

24. Dremicheva Ye. S. The use of solid fuel compositions for co-burning at small power facilities. *Promyshlennaya energetika*, 2021, no. 8, pp. 48–56. <https://doi.org/10.34831/EP.2021.21.66.006>
25. Dremicheva Ye. S., Eminov A. A. Ecological and economic aspects of the use of peat in the energy sector. *Vestnik Kazanskogo gosudarstvennogo energeticheskogo universiteta*, 2022, vol. 14, no. 1 (53), pp. 96–108 (in Russian).
26. Makeyeva Ye. N. Influence of the concentration of ethanol and isopropanol on the octane number of gasoline and the cetane number of diesel fuel. *Vestnik Gomel'skogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta imeni P. O. Sukhogo*, 2022, no. 4 (91), pp. 66–72 (in Russian).

Поступила 05.09.2023 г.