

УДК 662.71/74

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ПРОИЗВОДСТВА ТОРФЯНЫХ ПЕЛЛЕТ МЕТОДОМ ФОРМОВАНИЯ

© 2019 г. А. С. Михайлов^{1,*}, Ш. А. Пиралишвили^{2,**}, О. А. Евдокимов^{2,***}, А. А. Емец^{2,****},
С. В. Веретенников^{2,*****}

¹ ООО «ГК Регионэнерго», 152934 Рыбинск, Россия

² РГАТУ имени П.А. Соловьева, 152934 Рыбинск, Россия

*e-mail: mihailov@region-energo.net

**e-mail: piral@list.ru

***e-mail: yevdokimov_oleg@mail.ru

****e-mail: bgd13p@mail.ru

*****e-mail: serveret@yandex.ru

Поступила в редакцию 15.01.2019 г.

После доработки 06.02.2019 г.

Принята к публикации 02.04.2019 г.

Представлены результаты экспериментальных исследований по атмосферной, естественно-конвективной, вынужденно-конвективной и СВЧ-сушке формованного торфяного топлива. Изучены особенности динамики сушки торфяных пеллет в указанных условиях, а также их характеристики после полного высушивания. Даны рекомендации относительно оптимизации технологии производства торфяных пеллет, включающей в себя стадии термохимической активации, формования и сушки до получения готовой продукции.

Ключевые слова: торф, пеллеты, сушка, формование, термохимическая активация, СВЧ-излучение, конвекция

DOI: 10.1134/S0023117719040091

Развитие современного мирового топливно-энергетического комплекса сопровождается неуклонным ростом использования твердых топлив для производства тепла и электричества. Особое место занимают возобновляемые источники тепловой энергии, к которым относятся торфяное и древесное топлива. В промышленных масштабах производство энергии из твердого топлива, в частности угля и торфа, связано с необходимостью его предварительной обработки для обеспечения транспортировки от мест добычи до мест складирования, хранения и эффективного использования в энергетических установках. Это обуславливает актуальность проведения исследований, направленных на решение задач эффективной обработки топлива после его добычи.

Имеющиеся в литературе публикации указывают на существенное влияние технологии и условий производства торфяного топлива на его характеристики [1–6]. Приведенные в этих работах экспериментальные данные позволяют спрогнозировать свойства спрессованных торфяных брикетов и пеллет в зависимости от давления

сжатия, влажности сырья, времени выдержки, типа торфа, его кислотности, дисперсности, зольности и других показателей.

Анализ исследований показывает, что прессование торфяной сушенки позволяет получать топливо высокой плотности (до 1250 кг/м³) и прочности (до 25 МПа при испытании на сжатие), обладая при этом существенным термодинамическим несовершенством, обусловленным высокими затратами энергии при проталкивании сухого торфа через матричный канал, и дополнительно сопровождается потерями летучих углеводородов из поверхностного слоя топлива [7].

Альтернативной технологией изготовления торфяного топлива является формование – процесс уплотнения вязкопластичной торфяной массы повышенной влажности (от 60 до 85%) в результате ее прохождения через матричный канал формующего устройства с последующей сушкой полученного топлива до кондиционного влагосодержания. Процесс характеризуется приданием торфу заданной геометрической формы,

например прямоугольной, цилиндрической, сферической, которая определяется способом формования и технологическими особенностями формирующего устройства [8–10].

При формовании торфяного топлива применяется механохимическая обработка сырья, заключающаяся в механическом и/или ультразвуковом воздействии на торф при повышенной температуре в присутствии химических реагентов [11, 12]. Полученные результаты показывают, что реализуемое в процессе обработки экстрагирование гуминовых кислот из торфяного сырья позволяет получать связующее, использование которого в качестве добавки при формовании приводит к повышению содержания летучих компонентов и увеличению реакционной способности пеллет по сравнению с топливом, полученным при прессовании на матричном грануляторе [11].

Экспериментальное исследование условий производства торфяных пеллет. В качестве сырья для производства пеллет использовали верховой торф пушицево-сфагнового вида Гусевского месторождения Владимирской области РФ со степенью разложения $R = 30\%$. Выбор верхового торфа для проведения исследований обусловлен его низкой зольностью $A^d = 3.5\%$ и высокой теплотой сгорания $Q_n^p = 19.3$ МДж/кг, которые в совокупности определяют его широкую применимость в теплотехнических устройствах. Гранулометрический состав и средневзвешенный диаметр частиц торфа $d_{ср}$, используемого для проведения экспериментов, предварительно определяли по результатам ситового анализа в соответствии с ГОСТ 33162-2014. Рассев проводили на ситах с диаметром 0.25; 0.5; 1; 2; 3; 5 и 10 мм. По результатам серии испытаний $d_{ср}$ составило 1.7 мм.

На первой стадии исследований были выполнены опыты по формованию торфяной массы с влажностью $W = 40–80\%$ и массовой концентрацией связующего $M_{св} = 10–90\%$ на лабораторном экструдере шнекового типа.

Исследования показали, что подготовка к формованию торфяного сырья с относительной влажностью менее 55% характеризуется трудностью равномерного перемешивания со связующим и приводит к образованию поперечных дефектов на поверхности топлива при выходе из матричных каналов. Последнее обуславливает малую плотность и низкие прочностные качества получаемых гранул и брикетов.

Приготовление рабочей смеси торфа и связующего с относительной влажностью более 70% не позволяет обеспечить требуемое давление в камере прессования. Органолептическое исследова-

ние пеллет, полученных в отмеченных условиях, выявило их невысокую прочность в сочетании с существенным временем последующей сушки.

Для последующих исследований использовали торфяную массу с концентрацией связующего $M_{св} = 88\%$, обеспечивающую наилучшие результаты экспериментов с точки зрения прочности пеллет на сжатие. Указанное связующее получено по технологии производства торфяного топлива [12] на основе экстрагирования гуминовых кислот торфа в результате щелочного гидролиза.

Исследование процесса сушки формованного топлива выполнено в лабораторных условиях для четырех наиболее распространенных на практике способов: естественной (атмосферной) сушки, естественно-конвективной сушки воздухом, нагретым до температуры 70–80°C, вынужденно-конвективной сушки воздушным потоком со скоростью V , сушкой СВЧ-излучением. Сушку пеллет осуществляли на металлической сетке. Для вынужденно-конвективной сушки использовался вентилятор мощностью 400 Вт, для естественно-конвективной – термоэлектрический нагреватель мощностью 825 Вт, для сушки СВЧ-излучением – СВЧ-печь мощностью до 0.5 кВт.

В процессе исследований проводили измерения убыли массы гранул, температуры поверхности, скорости воздушного потока (для конвективных способов сушки), влажности и температуры воздуха в лаборатории. Результаты экспериментов приведены на рис. 1, 2.

Исследования процесса естественной (атмосферной) сушки проводили с торфяными пеллетами диаметром $d = 8$ мм в вентилируемом помещении с относительной влажностью воздуха 35–40%. Выполненные исследования, представленные на рис. 3,а, позволили установить, что сушка формованных торфяных пеллет при отсутствии внешних воздействий требует значительных временных затрат (рис. 1,а). Достижение кондиционной влажности $W = 12–15\%$ исследованных образцов получено через 50 ч.

Исследование сушки пеллет при интенсификации процессов массообмена было выполнено в три этапа.

На первом этапе принудительное удаление свободной жидкости из торфяных пеллет и брикетов проходило за счет обдува образцов воздушным потоком комнатной температуры. Эксперименты показали значительную неравномерность влагораспределения в радиальном направлении образцов топлива, что приводило к образованию высушенной наружной поверхности гранул и внутреннего слоя с высоким содержанием влаги.

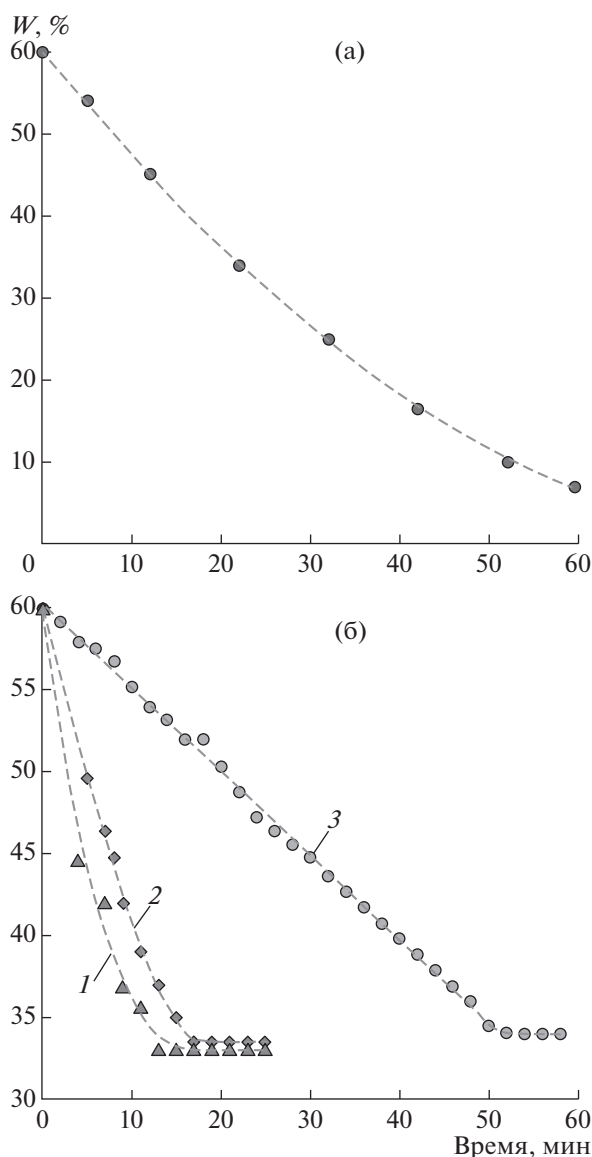


Рис. 1. Динамика сушки торфяных пеллет: естественная (атмосферная) сушка (а); вынужденно-конвективная сушка (б): 1 – $v = 15$ м/с, 2 – $v = 10$ м/с, 3 – $v = 5$ м/с.

Скорость высыхания пеллет находилась в прямой зависимости от скорости обдуваемого воздушно-го потока v . Как показали эксперименты, наиболее оптимальной является скорость $v = 10$ м/с, так как дальнейшее увеличение v не приводит к значительному сокращению скорости высыхания, при $v > 15$ м/с начинается эффект «кипящего слоя», что приводит к повреждению не успевших высохнуть пеллет. Создающийся на поверхности гранул сухой плотный слой затрудняет диффузию жидкости из центра топлива в окружающую сре-

ду. При всех значениях v наблюдалось резкое торможение влагоудаления из пеллет при общем значении влагосодержания $W = 33–35\%$, что не позволило получить кондиционное топливо при данном способе сушки. Последующее досушивание полученных образцов в естественных условиях потребовало времени больше, чем сушка пеллет без интенсификации процессов массообмена. Результаты экспериментов представлены графически (на рис. 1,б).

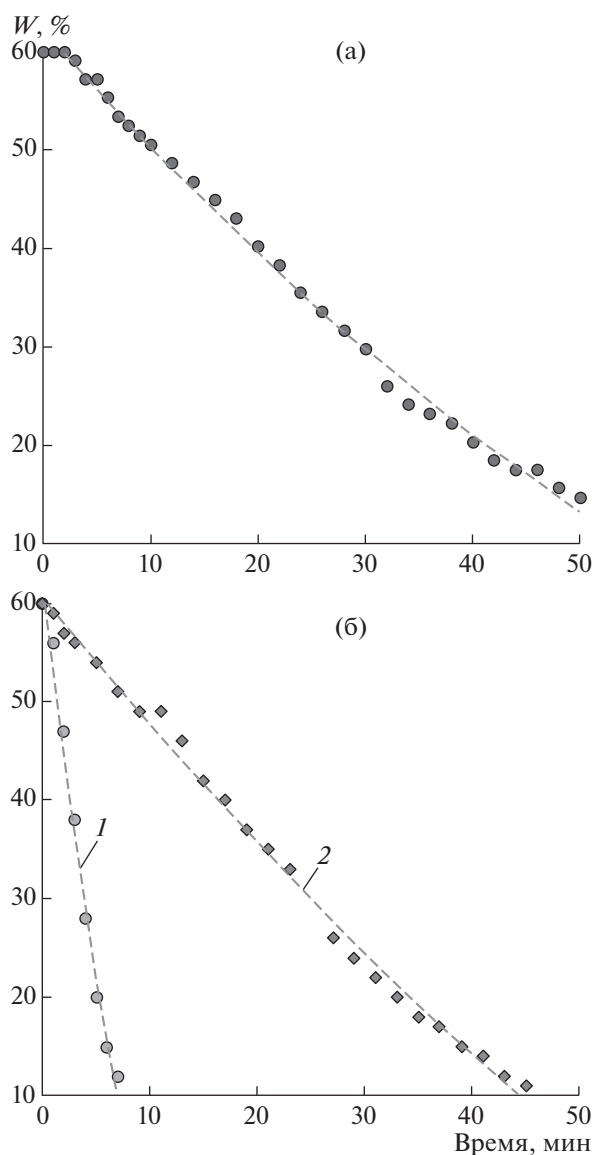


Рис. 2. Динамика сушки торфяных пеллет: вынужденно-конвективная сушка нагретым воздухом (а); сушка СВЧ-излучением (б): 1 – мощность СВЧ-излучения 1 кВт/кг, 2 – мощность СВЧ-излучения 4.5 кВт/кг.

На втором этапе исследований удаление свободной жидкости из торфяных пеллет проводили подогретым воздухом с температурой $t = 80\text{--}90^\circ\text{C}$ – граничной температурой нагрева торфа, при которой начинается выделение летучих и их потери при сушке. Скорость движения воздушного нагретого потока определяли естественной конвекцией от нагретой поверхности электрических ТЭНов. Процесс характеризовался постоянной скоростью сушки во всем исследованном диапазоне по влажности (рис. 2,а). При достижении необходимой влажности пеллет в данных условиях

сушки наблюдали формирование многочисленных дефектов в виде трещин на поверхности топлива, значительно снижающих его механическую прочность.

На третьем этапе исследований процесс сушки проводили при помощи СВЧ-излучения. Исследуемый образец подвергали направленному СВЧ-излучению мощностью 1 и 4.5 кВт/кг. Мощность СВЧ-излучения 4.5 кВт/кг – максимально допустимая, так как приводит к нагреву осушаемых гранул до $t = 90^\circ\text{C}$, что является предельным для начала выделения летучих из торфа. При воздей-

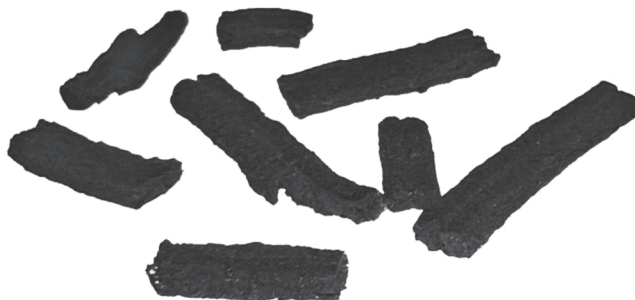


Рис. 3. Фотографии торфяных гранул после испытания на одноосное сжатие.

ствии СВЧ-излучения происходило повышение температуры внутри образца, что вызывало интенсификацию влагообмена внутри объема пеллет. В сравнении с естественно-конвективной сушкой данный способ показал положительные результаты с точки зрения обеспечения механической прочности получаемых пеллет. Несмотря на относительно высокую температуру осушаемых гранул механические дефекты на поверхности топлива отсутствовали, а высыхание образцов за счет проникающей способности СВЧ-излучения протекало в радиальном направлении от центральных слоев к периферии. Общее время сушки составило 8 и 45 мин для СВЧ-излучения мощностью 1 и 4.5 кВт/кг соответственно.

Для оценки качества пеллет проводили испытания полученных образцов на одноосное сжатие (рис. 3), которые показали, что топливо, высушенное естественным способом, т.е. в наиболее “щадящих” условиях, характеризуется максимальными значениями механической прочности и твердости по сравнению с другими методами сушки. Пеллеты, высушенные путем обдува, отличаются высокой хрупкостью.

Сушка пеллет СВЧ-излучением практически не оказывает влияния на механическую прочность формованного топлива, значение которой по сравнению с естественным способом сушки в среднем ниже на 5–10%.

В результате проведенных исследований определены оптимальные условия приготовления, формования и сушки торфяного топлива, характеризующегося исходной влажностью сырья $55 < W < 70\%$. Показано, что в совокупности с методом и условиями организации сушки предел прочности торфяных гранул и брикетов закладывается непосредственно на стадии формования продукции, поэтому наиболее эффективный способ произ-

водства торфяных пеллет — экструдирование, наиболее эффективный способ сушки торфяных пеллет с точки зрения их прочности и теплофизических характеристик — сушка в естественных условиях.

ФИНАНСИРОВАНИЕ РАБОТЫ

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта Президента РФ для молодых ученых — кандидатов наук МК-1774.2019.8 “Разработка способа стабилизации горения твердого пылевидного топлива в противоточном закрученном течении”.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Михайлов А.С., Пиралишвили Ш.А., Степанов Е.Г., Бирфельд А.А., Спесивцева Н.С. // ХТТ. 2016. № 5. С. 38. [Solid Fuel Chemistry, 2016, vol. 50, no. 5. p. 310. DOI: 10.3103/S0361521916050074] <https://doi.org/10.7868/S0023117716050078>
2. Михайлов А.С., Пиралишвили Ш.А., Степанов Е.Г., Бирфельд А.А., Спесивцева Н.С. // ХТТ. 2016. № 6. С. 33. [Solid Fuel Chemistry, 2016. vol. 50. no. 6. p. 364. DOI: 10.3103/S0361521916060070] <https://doi.org/10.7868/S0023117716060074>
3. Наумович В.М. Теоретические основы брикетирования торфа. Минск: Изд-во АН БССР, 1960. 196 с.
4. Москаленко Т.В., Михеев В.А. // Изв. вузов. Горный журн. 2014. № 2. С. 122.
5. Лиштван И.И., Король Н.Т. Основные свойства торфа и методы их определения. Минск: Наука и техника, 1975. 319 с.
6. Суворов В.И. Научные основы формирования структуры торфа в технологиях получения продукции с заданными свойствами: Дис. ... д-ра техн. наук. Тверь: ТГТУ, 2000. 513 с.

7. *Mikhailov A.S., Evdokimov O.A., Guryanov A.I., Spesivtseva N.S.* // Inter. J. Ener. Clean Env. 2017. V. 18. № 3. P. 231.
8. *Енифанцев К.В.* Выбор рациональных параметров наборной матрицы торфяной формующей машины для получения энергоплотного окускованного топлива: Дис. ... канд. техн. наук. СПб: СПбГУ, 2012. 145 с.
9. *Гамаюнов С.Н.* Процессы структурообразования в технологии формованной продукции из торфа и сапропеля: Дис. ... докт. техн. наук. Тверь: ТГТУ, 1998. 328 с.
10. *Мисников О.С.* Технология и комплексная механизация открытых горных работ. Добыча кускового торфа и сапропеля. Тверь: ТГТУ, 2008. 160 с.
11. *Mikhailov A.S., Piralishvili Sh.A., Stepanov E.G., Spesivtseva N.S.* // J. Eng. Phys. Thermophy. 2017. V. 90. № 2. P. 491.
12. *Степанов Е.Г., Пиралишвили Ш.А., Михайлов А.С.* Способ производства пеллет и брикетов на основе торфа. Пат. 2541317С1 РФ // Б.И. 2015. № 4. 9 с.