

ВЛИЯНИЕ ГИДРОФОБНЫХ ДОБАВОК НА КАЧЕСТВЕННЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ КУСКОВОГО ТОРФА

А.В. КУПОРОВА, ст. препод.

Тверской государственный технический университет,
170026, Тверь, наб. Аф. Никитина, 22, e-mail: a-kuporova@inbox.ru

© Купорова А.В., 2023

Рассмотрено влияние гидрофобизации на качественные характеристики кускового торфа. Приведены результаты экспериментов по изучению процесса сушки мелкокускового торфа с гидрофобными добавками. Установлено, что при использовании гидрофобизатора можно снизить начальное влагосодержание формования, что приведет к снижению энергозатрат и улучшит технологические показатели процесса производства. Отмечено, что применение гидрофобной добавки способствует значительному увеличению прочностных характеристик торфа, за счет чего повышается качество готовой продукции. Указано, что гидрофобные пленки надежно изолируют поверхность куска от проникновения капельно-жидкой влаги.

Ключевые слова: кусковой торф, формованное топливо, структурообразование, кремнийорганическая добавка, прочность, водопоглощение.

DOI: 10.46573/2658-5030-2023-4-53-61

ВВЕДЕНИЕ

В последнее время из-за существенного развития большой энергетики торфяная отрасль переживает серьезный упадок, что отражается в постепенном снижении удельного веса использования торфа как в нашей стране, так и в ведущих мировых торфодобывающих странах. Традиционные виды топлива, такие как нефть, газ и уголь, относятся к невозобновляемым источникам энергии. Скорость использования человечеством имеющихся запасов данных источников энергии в скором времени приведет к потребности искать им замену. В связи с этим необходимо стремиться к увеличению использования энергии возобновляемых источников, к которым с недавнего времени официально причислен торф. Комплекс уникальных физических и химических свойств торфа позволяет использовать его в основе производства многих видов продукции [1]. Таким образом, применение торфа в качестве местного топлива является весьма перспективным направлением.

Для повышения эффективности производства торфа необходимо снизить зависимость производства от погодных условий и повысить качественные характеристики получаемой продукции, поэтому актуальность приобретает производство гидрофобной торфяной продукции. Во-первых, увеличивается срок хранения такой продукции и сокращаются потери при транспортировке ее на дальние расстояния. Во-вторых, изготовленное на основе гидрофобного торфа коммунально-бытовое топливо обладает высокими водоотталкивающими свойствами.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Основное направление использования кускового торфа – его применение в качестве топлива для коммунально-бытового хозяйства. Кусковой торф является хорошим источником тепла, его теплота сгорания составляет 11...13 МДж/кг, что позволяет ему успешно конкурировать с другими видами топлива.

Формованный торф можно получать различными способами: экскаваторным, фрезформовочным, прессованием фрезерного торфа в заводских (брикетирование) и полевых (полубрикетирование) условиях, а также гранулированием с предварительной искусственной досушкой и получением пеллетов. Во всех этих способах используется чистый торф без каких-либо добавок. Оптимальная относительная влажность формования при добыче кускового торфа находится в пределах 80...84 %. Экспериментальные исследования показали возможность использования при формовании кускового торфа сырья пониженной влажности, что позволяет организовать производство кускового торфа на полях, эксплуатировавшихся ранее. Применяемая гидрофобная добавка оказала положительное влияние и на качественные характеристики кускового торфа.

Прочность кускового торфа – наиболее значимая характеристика при оценке качества формованного топлива. Она влияет на количество мелочи в получаемой продукции и регламентирует проведение технологических операций. Высокие значения прочности достигаются с повышением степени переработки торфа, а также качества его формования. Линейные размеры кусков, эксплуатационная влажность и режим их сушки также оказывают влияние на показатель прочности. Исследованиями Калининского филиала ВНИИТП [3] была установлена зависимость между прочностью куска и указанными выше факторами:

$$R_{сж} = R_0 \exp [-bKi'],$$

где $R_{сж}$ – прочность на сжатие; b – величина, не зависящая от режима сушки, размера куска и начального влагосодержания; Ki' – критерий Кирпичева.

Критерий Кирпичева определяется из соотношения

$$Ki' = \frac{i_{п} d}{a' \gamma_e W_n},$$

где $i_{п}$ – интенсивность сушки кускового торфа в постоянном периоде; d – диаметр куска; a' – коэффициент потенциалопроводности; γ_e – плотность абсолютно сухого вещества торфа; W_n – начальное влагосодержание куска.

Было установлено, что прочность куска уменьшается с увеличением критерия Кирпичева Ki' (рис. 1), а величина Ki' резко уменьшается с увеличением начального влагосодержания W_n . Таким образом, можно сделать вывод, что при постоянном размере кусков увеличить прочность можно путем повышения начального влагосодержания. Это, разумеется, приведет к ухудшению технологических показателей, однако повысит качество продукции. На основе исследований было установлено, что необходимая прочность может быть получена при начальной влажности торфа 78 % и выше (вплоть до 86 %, когда куски начнут расплываться при формовании).

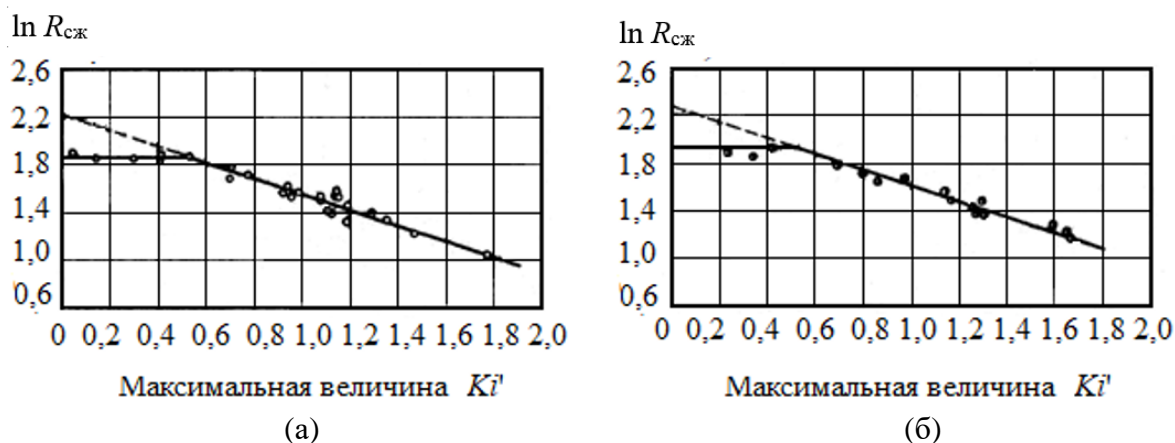


Рис. 1. Зависимость прочности от максимального значения критерия Кирпичева: низинный торф, $R = 25 \%$, $S_0 = 6\ 100 \text{ см}^2/\text{г}$, $k_{у.е.} = 0,95$ (а); верховой торф, $R = 25 \%$, $S_0 = 5\ 600 \text{ см}^2/\text{г}$, $k_{у.е.} = 0,9$ (б)

Недостатки технологической операции «формование торфа при пониженной влажности» заключаются в «ершении» поверхности кусков и образовании слоистой структуры (рис. 2).

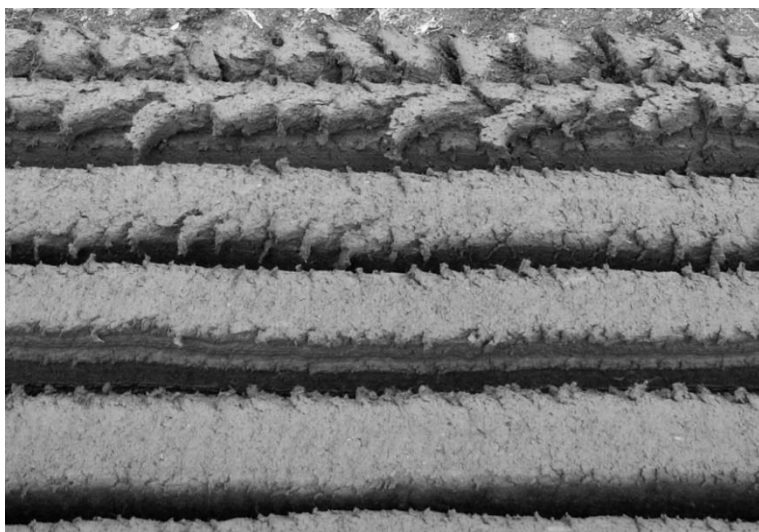


Рис. 2. Явление кольцевого «ершения» в крайнем левом ручье ленты (верхняя часть фото)

На кусках могут появляться поперечные трещины, и такие куски разрушаются обычно сразу после формования. Куски с менее явными дефектами разрушаются в процессе сушки, поскольку трещины являются активными концентраторами напряжений, которые возникают при структурообразовании. Кроме того, на структурный каркас разрушающее действие оказывает и высокое содержание газовой фазы. В результате сжимаемая торфяная масса на выходе из мундштуков расширяется, что приводит к формированию кусков с признаками кольцевого «ершения».

Применение гидрофобной добавки заметно улучшает физико-механические свойства формованного торфа [4]. Добавка оказывает положительное действие на

процесс структурообразования и массопереноса, уменьшая образование трещиноватости кусков.

Для изучения процессов структурообразования твердого топлива на основе торфа применялись комплексные методики.

Методика подготовки экспериментальных образцов к формованию представляет собой следующее. Предварительно приготовили две емкости с торфяной массой, имеющей относительную влажность 70...80 %. В первой емкости находился контрольный торф без добавок. Во второй был торф, в который в виде водного раствора вводили гидрофобную добавку. Далее торфяная масса в емкостях подсушивалась до влажности, соответствующей минимальной границе формования. Затем из полученного торфяного сырья методом экструзии формовались цилиндрические образцы торфа.

После обработки данных, полученных в результате проведения экспериментов, проводилась оценка прочностных и водно-технических характеристик формованных контрольных и гидрофобно-модифицированных образцов.

В качестве модифицированной добавки выбрали кремнийорганическое соединение ГКЖ-11. Выбор модифицирующей добавки был основан на эффективности ее применения, низкой стоимости, а также доступности и экологической безопасности применения [5, 6]. Данная гидрофобная добавка имеет достаточно высокий показатель рН и, соответственно, обладает щелочными свойствами. С точки зрения экологичности и безопасности она удовлетворяет всем требованиям. Кремнийорганическая жидкость ГКЖ-11 является пожаро- и взрывобезопасной, нетоксичной, а также вводится в исходную торфяную массу в виде водного раствора низкой концентрации.

В настоящей работе применялся способ объемного модифицирования торфяной массы. Затем осуществлялось ее формование на шнековом экструдере при предельном напряжении сдвига, близком к верхнему пределу пластичности (5...5,5 кПа [2, 7]). В качестве формующей насадки был использован однотрубный мундштук цилиндрической формы (рис. 3).

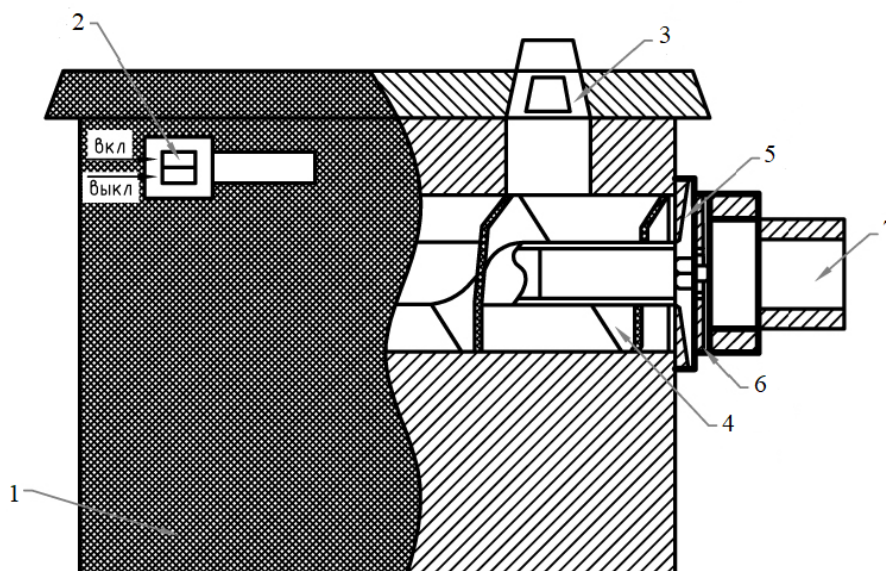


Рис. 3. Формующее устройство экструзионного типа: 1 – корпус; 2 – выключатель; 3 – устройство для подачи торфомассы; 4 – диспергирующий и транспортирующий шнек; 5 – четырехлопастной нож; 6 – решетка с фильерами; 7 – формующий мундштук

Для усреднения качественных характеристик (это влажность, дисперсность, распределение модификатора и др.) [8] по всему объему торфяной массы перед формованием производилось ее предварительное однократное механическое диспергирование на формующем устройстве без использования формующего мундштука. Затем мундштук устанавливали и формовали партии контрольных и гидрофобно-модифицированных образцов диаметром 40 мм и длиной 60 мм. В гидрофобно-модифицированных образцах массовая концентрация кремнийорганической жидкости по действующему компоненту составила 1% в пересчете на абсолютно сухое вещество.

Сушка экспериментальных образцов проводилась на металлических поддонах в радиационно-конвективном режиме при температуре окружающей среды $T = 20 \pm 2$ °C и относительной влажности воздуха $\varphi = 75 \pm 5$ % (рис. 4). В процессе сушки ежедневно контролировались основные физико-механические характеристики образцов в соответствии с комплексной методикой изучения процесса их сушки и структурообразования [9, 10]. Суть методики заключается в определении текущей влажности (влаго содержания) образцов, их линейных размеров и диаметра, а также максимальной разрушающей нагрузки при одноосном сжатии с последующим расчетом площади поверхности сушки, объема, плотности и прочности куска, а также скорости и интенсивности сушки.



Рис. 4. Сушка экспериментальных формованных образцов

Для установления величины водопоглощения образцы торфа предварительно взвешивали, определяли их начальную влажность и помещали в сетчатые мешочки (из полимерного материала), а затем в пластиковые емкости с дистиллированной водой [11]. Для обеспечения зависимости величины водопоглощения только от физико-химических свойств образцов и времени проводили исследования при одинаковой температуре окружающей среды (рис. 5).



Рис. 5. Эксперимент по определению величины водопоглощения кускового торфа

Для оценки водоотталкивающих свойств формованного торфа были проведены эксперименты по смачиванию поверхности гидрофобно-модифицированного торфа с концентрацией гидрофобной добавки 1 % и контрольного образца [12]. Для этого на поверхность кусков наносились капли воды, далее секундомером засекали время полного впитывания каждой капли (рис. 6).



Рис. 6. Эксперимент по исследованию водоотталкивающих свойств кускового торфа

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

На основании проведенных экспериментов можно сделать вывод о положительном влиянии гидрофобизации на прочностные и водно-технические свойства кускового торфа.

Экспериментально установлено, что применение модификатора существенно не изменяет интенсивность сушки кусков, но его использование позволяет снизить начальную влажность формования торфяной массы за счет повышения ее пластичности. Наибольший эффект от применения гидрофобной модификации был получен при оценке прочности формованного торфа (рис. 7).

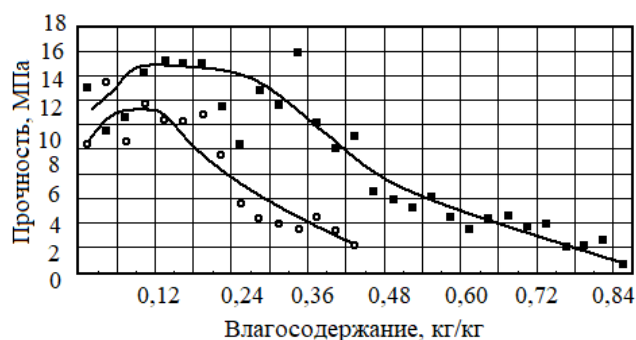


Рис. 7. Сравнительная оценка прочности экспериментального (■) и контрольного (○) образцов формованного торфа

Анализ экспериментальных данных показывает, что минимальная прочность для гидрофобно-модифицированных образцов составила приблизительно 2 кПа при влагосодержании около $W = 1$ кг/кг, а для контрольных – при $W = 0,36$ кг/кг. Заметное увеличение прочности наблюдается во втором периоде структурообразования, а в диапазоне влагосодержаний от 0,6 до 0,28 кг/кг имеется превышение прочности модифицированного торфа в 1,7...4 раза.

Определение величины водопоглощения представляет особый интерес при оценке свойств кусковой продукции при натуральной влажности. Величина водопоглощения сразу показывает то возможное количество воды, которое может поглотиться торфом [11]. Установлено, что чем больше начальная влажность продукции, тем меньше она поглощает воды (рис. 8).

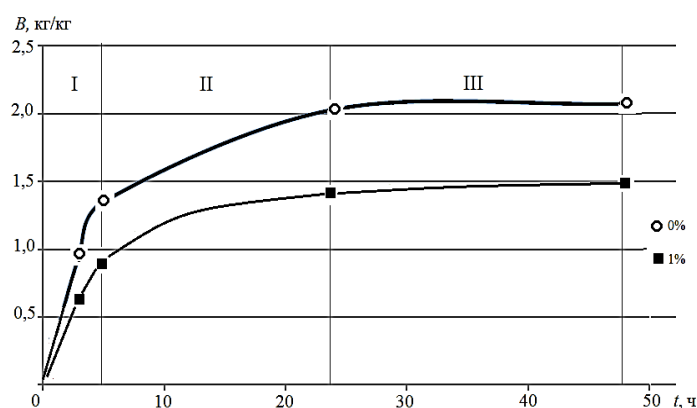


Рис. 8. Кинетическая кривая поглощения воды экспериментальным (■) и контрольным (○) образцами формованного торфа: I – начальная (сорбционно-капиллярная) стадия процесса поглощения влаги; II – промежуточная (переходная); III – заключительная (энтропийно-осмотическая)

Анализ образцов на водоотталкивание показывает, что лучший водоотталкивающий эффект достигается в торфе с высокой степенью разложения. Данный факт можно объяснить тем, что при получении образцов из такого торфа вероятность возникновения дефектов структуры при формовании очень мала, что и позволяет водоотталкивающему эффекту проявляться в большой степени. Именно по этой причине стабильного водоотталкивающего эффекта в моховом торфе низкой степени разложения достичь не удалось.

Тем не менее проведенные эксперименты позволили установить, что образующиеся гидрофобные пленки [13] достаточно надежно изолируют гидрофобную

пористую структуру торфа от проникновения капельно-жидкой влаги, причем это относится ко всем исследуемым видам торфа.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Формирование прочной структуры при удалении влаги из торфяных систем является весьма сложным механизмом, так как на прочность оказывает влияние как физико-химическая природа самого торфяного сырья (степень разложения, содержание гуминовых веществ, тип их надмолекулярных структур и др.), так и множественные технологические факторы. В процессе испарения влаги под действием капиллярных сил происходит усадка сформованного образца, что способствует увеличению содержания сухого вещества в единице объема влажного материала и, следовательно, числа межмолекулярных и водородных взаимодействий. В конечном итоге это приводит к росту прочности торфа [14].

При исследовании прочностных показателей формованных образцов торфа определяли прочность на одноосное сжатие $R_{сж}$. Увеличение прочности гидрофобно-модифицированного торфа можно объяснить тем, что при внесении гидрофобизатора со щелочной реакцией происходит выделение гуматов, которые сами по себе являются хорошими структурообразователями. Прочность в торфяных системах определяют Ван-дер-Ваальсовы взаимодействия и водородные связи. Не влияя на Ван-дер-Ваальсовы взаимодействия, гуматы натрия будут увеличивать количество водородных связей, тем самым повышая прочность. Прочность растет с уменьшением линейных размеров куска. В торфе с высокой степенью разложения при внесении добавки заметно повышение прочности во втором периоде структурообразования на протяжении всего диапазона изменения влажности.

Исследование водно-физических свойств кускового формованного торфа показало, что максимальное количество поглощенной жидкости зависит от степени разложения торфа и степени его переработки и убывает пропорционально их росту. Обработка структуры торфяного сырья перед формованием гидрофобными пленками увеличивает время смачивания поверхности [15].

ЛИТЕРАТУРА

1. Яблонев А.Л., Пухова О.В. Современные направления использования торфа // *Вестник Тверского государственного технического университета*. 2010. № 17. С. 104–107.
2. Мисников О.С., Беляков В.А. Технология и комплексная механизация открытых горных работ. Добыча кускового торфа и сапропеля: учебное пособие. Тверь: ТвГТУ. 2016. 168 с.
3. Малков Л.М., Панкратов Н.С. Исследование процесса радиационно-конвективной сушки гранулированного и кускового торфа // *Труды филиала ВНИИТП*. Л.: Госэнергоиздат. 1961. Вып. 1. 216 с.
4. Абрамец А.М. Исследование влияния ПАВ и ВМС на процессы структурообразования и массопереноса в торфяных системах. Дис. ... канд. техн. наук. Минск. 1980. 21 с.
5. Ласская Е.А., Воронков М.Г. Кремнийорганические водоотталкивающие покрытия в строительстве. Киев: Будивельник. 1968. 92 с.
6. Лиштван И.И. Современные представления о некоторых физико-химических свойствах торфа // *Химия твердого топлива*. 1977. Т. 11. № 3. С. 35–39.
7. Мисников О.С., Тимофеев А.Е., Пухова О.В. Получение формованных сорбционных материалов на основе торфоминеральных композиций // *Все материалы. Энциклопедический справочник*. 2014. № 4. С. 2–13.

8. Зюзин Б.Ф., Фомин Д.С. О влиянии физико-механических свойств исходного торфа на процесс механического диспергирования // *Труды Инсторфа*. 2013. № 7 (60). С. 49–52.

9. Афанасьев А.Е., Болтушкин А.Н. Изучение структурообразования при сушке коллоидных капиллярно-пористых тел различных размеров // *Коллоидный журнал*. 1982. Т. 49. № 6. С. 1043–1050.

10. Афанасьев А.Е., Мисников О.С. Оценка структурных характеристик при сушке формованных органических и органоминеральных биогенных материалов // *Теоретические основы химической технологии*. 2003. Т. 37. № 6. С. 620–628.

11. Мисников О.С. Изменения водно-физических свойств торфа и торфяных залежей при техногенном воздействии // *Техника и технология горного дела*. 2019. № 2 (5). С. 19–32.

12. Misnikov O. Scientific Basis of a New Method for Hydrophobic Modification of Mineral Binders Using Peat Products // *Mires and Peat*. 2016. V. 18. № 22. P. 1–15.

13. Misnikov O. Effect of Hydro-physical Properties of Peat on Regulation of Peatland Drainage Systems // *E3S Web of Conferences. EDP Sciences*. 2019. V. 105. P. 01010.

14. Belyakov V., Kuporova A. Influence of Organosilicon Additives on Strength of Sod Peat // *E3S Web of Conferences. EDP Sciences*. 2020. V. 174. P. 01008.

15. Misnikov O. Perspectives for Application of Moulded Sorption Materials Based on Peat and Mineral Compositions // *E3S Web of Conferences. EDP Sciences*. 2017. V. 21. P. 01020.

Для цитирования: Купорова А.В. Влияние гидрофобных добавок на качественные характеристики кускового торфа // *Вестник Тверского государственного технического университета. Серия «Технические науки»*. 2023. № 4 (20). С. 53–61.

INFLUENCE OF HYDROPHOBIC ADDITIVES ON QUALITATIVE CHARACTERISTICS OF SOD PEAT

A.V. KUPOROVA, Senior Lecturer

Tver State Technical University

22, Af. Nikitin emb., 170026, Tver Russian Federation, e-mail: a-kuporova@inbox.ru

The influence of hydrophobisation on qualitative characteristics of lump peat is considered. The results of experiments on studying the drying process of fine lump peat with hydrophobic additives are given. It is established that the use of hydrophobiser can reduce the initial moisture content of moulding, which will lead to a reduction in energy consumption and improve the technological performance of the production process. It is noted that the use of hydrophobic additive significantly increases the strength characteristics of peat, due to which the quality of finished products is improved. It is indicated that hydrophobic films reliably isolate the surface of the piece from the penetration of liquid-drop moisture.

Keywords: sod peat, molded fuel, structure formation, organosilicon additives, strength, water absorption.

Поступила в редакцию/received: 19.05.2023; после рецензирования/revised: 15.06.2023;
принята/accepted: 30.06.2023