

ПУТИ УЛУЧШЕНИЯ ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ПРОИЗВОДСТВА КУСКОВОГО ТОРФА

О.В. ПУХОВА, канд. техн. наук, К.Л. ШАХМАТОВ, канд. техн. наук,
К.Ю. ЖЕНИХОВ, ст. препод.

Тверской государственной технической университет
170026, Тверь, наб. Аф. Никитина, 22, e-mail: owpuhova@mail.ru

© Пухова О.В., Шахматов К.Л., Женихов К.Ю., 2024

В статье рассмотрены вопросы уменьшения энергетических капитальных затрат при полевом производстве кускового торфа. Отмечено, что послойно-щелевым способом на основе метода механизированной экструзии сформованы цилиндрические куски непосредственно на технологических площадках добычи с последующими операциями сушки и уборки. В процессе производства кусков фрезформовочным способом установлено, что добыча является весьма энергозатратной технологией, поэтому появился вопрос о снижении расходов на его производство. Указано, что при фрезформовании существенные нагрузки воздействуют на ножи рабочего органа фрезерирующего агрегата при экструзии и вызывают их деформацию, затем и разрушение, вследствие чего увеличиваются затраты мощности на формование, а тем самым снижаются производительность и надежность агрегата. Рассчитаны удельная работа и необходимые мощности на фрезерование и формование, определена минимальная мощность трактора, требуемая для выполнения операции фрезформования. Обозначено, что для улучшения технико-экономических характеристик торфяного участка по добыче кускового торфа был использован показатель комплексной оценки, позволивший выбрать маломощное оборудование, тем самым сократить эксплуатационные и капитальные затраты и повысить рентабельность и надежность производства.

Ключевые слова: кусковой торф, торфяная залежь, добыча, энергозатраты, фрезформование, рентабельность.

DOI: 10.46573/2658-5030-2024-4-37-45

ВВЕДЕНИЕ

В начале XX столетия торф являлся наиболее значимым полезным ископаемым в стране. Его активно изучали, добывали, а также разрабатывали технологии обработки [1–3]. С постоянным развитием технологий росла потребность в большем количестве энергии. Главным ее источником [4–6] стал уголь, затем использовали газ, а через некоторое время атомная энергетика начала играть значимую роль в данной сфере. В настоящее время производство топливного торфа в России [1, 7–12] находится в стагнации, поскольку в свое время его вытеснила добыча угля, нефти и газа для использования в той же среде. Несмотря на дополнительные недостатки торфяных организаций (относительно низкие заработные платы, большие капитальные затраты и малое количество подготовленных кадров), эта сфера все еще остается в списке перспективных и развивающихся.

Кусковой торф (рис. 1а) – твердое энергетическое и коммунально-бытовое топливо. Если в энергетической промышленности торф (в сравнении с более эффективными аналогами) почти изжил себя, то в сферах агрономии, сельского

хозяйства и строительства он имеет твердую позицию либо положительную тенденцию роста. Так, торф незаменим в виде пролонгированного удобрения и улучшителя почвы из-за возможности контролирования показателя кислотности почвы и исключения вредных бактерий и растений, а также необходим в качестве подстилки для птиц и животных. В строительстве торф является отличным как тепло-, так и звукоизолирующим материалом. Его получают путем выдавливания пластичной торфяной массы через формующие мундштуки (рис. 1б) с последующей сушкой в полевых условиях до уборочной влажности. При сгорании кусковой торф выделяет порядка 11 МДж/кг энергии. Этого количества теплоты больше, чем у дров, но меньше, чем у торфяного брикета. Кусковой торф, если сравнить с теплоотдачей, сопоставим с низкокалорийными углями, но не имеет их недостатков, таких как высокая зольность и наличие сернистых выделений. Вместе с тем он является достаточно экологичным видом местного топлива как при добыче, так и при использовании.



(а)



(б)

Рис. 1. Изображение кускового торфа на поле сушки (а);
формования торфяных кусков (б)

Торф в виде топлива не является основным источником энергии на масштабных котельных, но его использование на ТЭЦ [13–15] может быть установлено законодательством региона для исключения монополизации другого энергоносителя, (например, газа или угля), как это было сделано в Кировском регионе. Кроме того, торф используется на котельных в регионах, не имеющих возможности пользования другими средствами отопления из-за их недоступности или недостижимости.

В настоящей работе рассматривается возможность использования на операции фрезформования трактора с меньшим тяговым усилием для снижения энергоемкости [16–18].

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Научно-исследовательская работа выполнялась на производственной площадке торфяного участка «Катка-3», который находится в Мурманской области, а точнее во впадине морской равнины без активного стока. Геологическое строение сложено породами архейского периода и четвертичными отложениями. По итогам геологической разведки и лабораторной экспертизы были установлены характеристики и качества полезного ископаемого (табл. 1).

Таблица. 1. Характеристики торфяного сырья

Наименование	Ед. изм.	Значение
Естественная влажность	%	88,4
Балансовые запасы при условной влажности 40 %	тыс. т	1 398,4
Средняя глубина залежи	м	2,1
Тип залежи	–	Низинный
Степень разложения	%	30
Зольность	%	3,5

Сезон добычи торфа, проходящий с конца мая по конец августа, характеризовался среднесуточной температурой воздуха +15 °С, относительной влажностью воздуха 70 % и среднемесячными осадками 48 мм. Технологические площадки для добычи кускового торфа имели стандартизированные размеры: длина карт нетто составляла 300 м, а ширина – 30 м. Формование кускового торфа (рис. 2) велось механизированной экструзией с сушкой сформованных кусков [19–21] непосредственно на полях добычи с последующими операциями сушки и уборки. Продолжительность сушки до кондиционной влажности составляла 230 ч с учетом выпадающих осадков в объеме более 10 кг/м².

В ходе формования извлекаемая из залежи торфяная масса измельчается, во-первых, за счет вращающейся дисковой фрезы, а во-вторых, в напорном шнеке, где также уплотняется. С помощью фрезформирующих механизмов организуется первый этап производства кускового торфа. На последующих этапах сформированные куски подвергаются сушке на полях добычи в естественной среде.



Рис. 2. Вид технологической площадки при формовании

Качество добытого и высушенного кускового торфа определялось по стандартной методике (табл. 2).

Таблица 2. Качество готовой продукции

Наименование	Единицы измерения	Значение
Плотность	кг/м ³	440
Прочность на изгиб	МПа	1,75...1,9
Низшая теплота сгорания при условной влажности:	МДж/кг (ккал/кг)	
40 %		11,67 (2 795)
35 %		13,32 (3 189)
20 %		16,38 (3 921)
Диаметр кусков в конце сушки	мм	55...60

Удельная работа на фрезерование $A_{\text{ф}}$ (кг/(м·с²)) залежи, согласно С.Г. Солопову, определялась как работа фрезы за один оборот к срезаемому объему V залежи. Удельную работу можно определить через крутящий момент на валу фрезы $M_{\text{кр}}$ (Н·м) и геометрические показатели:

$$A_{\text{ф}} = \frac{2 \pi M_{\text{кр}}}{z h_{\text{п.ф}} c B},$$

где z – число ножей в плоскости резания; $h_{\text{п.ф}}$ – глубина погружения фрезы, м; c – подача на нож, м; B – ширина диска фрезы (она же ширина ножа, м).

Подача на нож определялась по формуле

$$c = \frac{\pi D}{z \lambda},$$

где D – диаметр дисковой фрезы по концам ножей, м; λ – скоростной параметр, определяющий отношение окружной скорости точки на конце ножа фрезы $v_{\text{тр}}$. При рассмотрении движения одного отдельного ножа фрезы как перемещения точки на окружности скоростной параметр рассчитывался как

$$\lambda = \frac{\pi D n}{z v_{\text{тр}}},$$

где n – количество оборотов дисковой фрезы за секунду, с⁻¹.

Используя преобразование, определили крутящий момент дисковой фрезы $M_{\text{кр}} = m v_{\text{н}}^2$, где m – масса диска, кг; $v_{\text{н}}$ – окружная скорость ножа, м/с.

Используя вышеперечисленные формулы, удельную работу на фрезерование определили как

$$A_{\text{ф}} = \frac{2 \pi m n v_{\text{н}}^2}{h_{\text{п.ф}} B v_{\text{тр}}},$$

или

$$A_{\phi} = \frac{2 m \pi^3 n^3 D^2}{h_{п.ф} B v_{тр}}.$$

Мощность N_{ϕ} (Вт) трактора, необходимая при осуществлении фрезерования без учета сопротивления резания торфяной залежи, определялась для условий работы при загрузке с запасом мощности 30...40 % как $N_{\phi} = Q_{\phi} \cdot A_{\phi}$, где Q_{ϕ} – производительность фрезы, м³/с ($Q_{\phi} = \frac{\pi h D b n K_n}{K_p}$, где h – высота ножа, м; D – диаметр дисковой фрезы по концам ножей, м; b – ширина ножа, м; K_n и K_p – коэффициенты наполнения и разрыхления соответственно).

Основным органом, предназначенным для переработки торфа, является напорный шнек, диспергирующий и подающий торфомассу к экструдерам. Необходимая мощность для работы шнека (кВт):

$$N_{шн} = \frac{\sqrt{2\tau} \lambda_{п} Q_{шн}}{1\,000 (1-\varepsilon)\eta},$$

где τ – тангенциальное напряжение сдвигаемых слоев торфа, Н/м²; $\tau = \tau_0 + f \sigma$ (где τ_0 – тангенциальное напряжение сцепления, Н/м², возникающее при сдвиге слоев торфа в условиях нормального атмосферного давления σ , кН/м²; f – коэффициент трения); $\lambda_{п}$ – степень переработки; $Q_{шн}$ – производительность напорного шнека, м³/с; ε – коэффициент скольжения торфа по поверхности кожуха шнека; η – коэффициент полезного действия передачи от вала двигателя до шнека.

Производительность однозаходного шнека (м³/с) рассчитывалась следующим образом:

$$Q_{шн} = 0,2 \cdot 10^{-3} \cdot \varphi(1 - k^2) z \omega R^3,$$

где φ – коэффициент вращения торфа вместе со шнеком; k – отношение внутреннего радиуса шнека к наружному; z – число заходов шнека (для однозаходного шнека $z = 1$).

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

При проведении научно-исследовательской работы на производственной площадке были использованы маломощные трактора вместе со стилочным оборудованием, необходимые для формирования кускового торфа с достаточными качественными показателями и работающие на предельных или запредельных оборотах двигателя. Кроме того, возможная круглосуточная работа агрегатов с организацией работ в две смены продолжительностью по двенадцать часов определенно негативно сказывается на сроке службы и ремонтпригодности техники. Поскольку добыча кускового торфа фрезформовочным способом является весьма энергозатратной технологией, сокращение расходов на процесс формирования позволило повысить эффективность производства кускового торфа.

На усилие, противостоящее сопротивлению рабочего агрегата, существенно влияли плотностные и прочностные характеристики торфа разрабатываемой залежи, а также древесные включения, прослойки суходола, глины либо нерастаявших ледяных глыб в условиях Крайнего Севера, находящихся под поверхностным слоем разрабатываемой залежи. При исследовании не учитывалось наличие камней в массиве

торфа, хотя попадание особо крупных в приемное отверстие шнека иногда может полностью блокировать подачу торфа.

Дисковая фреза фрезформовочной машины, работая на переуплотненной части суходола, вызывает серьезное сопротивление двигателя, что приводит к снижению как частоты вращения дисковой фрезы, так и оборотов коленчатого вала. Сравнительные расчеты минимальных мощностей были проведены для фрезформовочных машин финского (PK-1SL R12, PK-1SL C5), ирландского (HERBST) и отечественного (МТК-16) производства. Первые пользуются большим спросом в связи с высоким показателем «цена – качество», а российские – благодаря очень низкой стоимости.

В табл. 3 приведены расчеты минимальных требуемых мощностей для оборудования.

Таблица 3. Характеристики оборудования при производстве кускового торфа

Наименование оборудования	Производительность фрезы, м ³ /с	Удельная работа фрезерования, кДж/м ³	Мощность на фрезерование, кВт	Мощность на работу шнека, кВт	Общая мощность, кВт
PK-1SL R12	0,042	762,389	44,83	11,5	56,33
PL-1SL C5	0,042	762,839	44,83	10,5	55,33
HERBST	0,04	755,346	42,43	9,7	54,78
МТК-16	0,015	124,294	26,10	9,31	35,41

Анализ данных табл. 3 показывает, что самым энергозатратным оборудованием является финская фрезформовочная машина PK-1SL R12 (на 60 % больше в сравнении с российской МТК-16). Кроме того, необходимо учитывать, что данные расчеты велись для стоящего на месте трактора, т.е. к полученному значению N_{min} требуется добавить расход мощности на передвижение. В то же время этот недостаток полностью нивелируется производительностью фрезы, которая выше в 2,8 раза. Анализ позволяет сделать вывод о том, насколько сильно удельная работа фрезерования влияет на требуемую мощность трактора, а также дает возможность сравнить фрезформовочное оборудование только по параметрам, заданным в эксплуатационной документации.

Для комплексной оценки использовался коэффициент $K_{ко}$, определяющий отношение удельной работы дисковой фрезы к общей требуемой мощности:

$$K_{ко} = \frac{A_{\phi}}{N_{min}}.$$

Значения коэффициента комплексной оценки для фрезформовочных машин выше в 2,3 раза у финской модели PK-1SL R12 в сравнении с российской МТК-16. Преимущества финской машины PK-1SL R12 говорят о том, что ее можно использовать при выборе оборудования в ходе проектирования участка по производству кускового торфа.

Анализ технико-экономических показателей производства кускового торфа показал, что, основываясь на проведенных исследованиях, связанных с использованием тракторов малой мощности, можно снизить показатели: вложения в технику – на 16 %; амортизационные отчисления и отчисления на ремонт – в 1,4 раза; удельные расходы на добычу 1 т торфа – на 50 %. Это дало возможность увеличить рентабельность всей технологической схемы производства кускового торфа до 65 %.

Данный существенный показатель отражает эффективность вложения инвестиций в производство кускового торфа в качестве местного топлива в Мурманской области.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На основе проведенного исследования можно сделать следующие выводы:

1. В ходе формирования кускового торфа способом механизированной экструзии при попадании дисковой фрезы фрезформовочной машины на переуплотненную часть суходола, имеющего большие прочностные характеристики, двигатель агрегата испытывает серьезное сопротивление, снижается как частота вращения дисковой фрезы, так и обороты коленчатого вала.

2. Использование трактора с меньшим тяговым усилием для снижения энергоемкости операции фрезформования позволило уменьшить удельные расходы топлива на производство и, как следствие, капитальные затраты на добычу кускового торфа для котельных близко расположенных поселков, в которых отсутствует газоснабжение. С учетом этого для местного населения создают вакантные места.

Таким образом, использование тракторов с меньшим тяговым усилием при фрезформовании кускового торфа на производственных площадках участка способствует повышению экономических показателей предприятия, а также отражает привлекательность инвестирования в данную отрасль.

ЛИТЕРАТУРА

1. Плакиткина Л.С., Апухтин П.А. Анализ развития торфяной промышленности в России и мире в период с 2000 по 2009 годы // *Горная промышленность*. 2011. № 1 (95). С. 4–12.

2. Мисников О.С., Копенкина Л.В. Возникновение торфяного дела в России // *Горный журнал*. 2020. № 2. С. 95–99.

3. Singh K. Allocation and Sustainable Management of Peat Resources on Public Land // *AEP Public Land Management*. 2016. № 9. P. 1–14.

4. Яблонев А.Л., Пухова О.В. Современные направления использования торфа // *Вестник Тверского государственного технического университета*. 2010. № 17. С. 104–107.

5. Панов В.В., Мисников О.С., Купорова А.В. Проблемы и перспективы развития торфяного производства в Российской Федерации // *Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал)*. 2017. № 5. С. 105–117.

6. Мисников О.С. Тимофеев А.Е. О рациональном использовании энергетических и минеральных ресурсов торфяных месторождений // *Горный журнал*. 2008. № 11. С. 59–63.

7. Мисников О.С., Тимофеев А.Е., Михайлов А.А. Анализ технологий разработки торфяных месторождений в странах дальнего и ближнего зарубежья // *Горный информационно-аналитический бюллетень*. 2011. № 9. С. 84–92.

8. Панов В.В., Мисников О.С. Тенденции развития торфяной отрасли России // *Горный журнал*. 2015. № 7. С. 108–112.

9. Алпеева Е.А., Гончаров М.С. Торфяная промышленность Российской Федерации. Проблемы и перспективы // *Вестник Курской государственной сельскохозяйственной академии*. 2021. № 3. С. 121–130.

10. Воскобойник М.П. Прогноз добычи торфа в условиях инновационного развития экономики России // *Горная промышленность*. 2015. № 4 (122). С. 22.

11. Синюткина А.А., Малолетко А.А., Беленко А.А., Гашкова Л.П., Харанжевская Ю.А. Оценка современного состояния перспективных для освоения

участков торфяных месторождений Томской области // *Достижения науки и техники АПК*. 2014. № 12. С. 72–75.

12. Нагорнов Д.О. Технологии добычи торфяного сырья в СЗФО // *Высшая школа*. 2015. № 9. С. 63–66.

13. Заровняев Б.Н., Попов В.Ф., Шубин Г.В., Будикина М.Е., Соколова М.Д. Перспективы освоения месторождений торфа арктических и субарктических районов России // *Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал)*. 2020. № 6. С. 168–177.

14. Ялтанец И.М., Штин С.М. Получение биотоплива и его сжигание с целью теплоснабжения жилищного и социального сектора небольших населенных пунктов с численностью населения 11–15 тысяч жителей // *Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал)*. 2009. № S1. С. 95–113.

15. Пиксайкин В.К. Добыча торфа предприятиями местной топливной промышленности Мордовской АССР в 1940–1990-е гг. // *Экономическая история*. 2011. № 3 (14). С. 37–46.

16. Яблонев А.Л., Гусева А.М. Определение энергоемкости процесса формирования кускового торфа // *Вестник Тверского государственного технического университета. Серия «Технические науки»*. 2019. № 1 (1) С. 36–45.

17. Яблонев А.Л., Гусева А.М. Экспериментальное обоснование рациональных режимов производства кускового торфа // *Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал)*. 2019. № 2. С. 163–171.

18. Misnikov O., Yablonev A., Kuporova A. Theories of Peat Systems Structure Formation and Prospects for Their Practical Use in the Production of Molded Fuel // *AIP Conference Proceedings. AIP Publishing*. 2023. V. 2526. № 1. P. 040003.

19. Яблонев А.Л., Мисников О.С., Гусева А.М. Обоснование рациональных параметров и режимов работы перерабатывающего и формующего пресса машин для добычи кускового торфа // *Горный журнал*. 2021. № 8. С. 51–56.

20. Мисников О.С., Купорова А.В. Технологические основы добычи гидрофобно-модифицированного кускового торфа // *Горный журнал*. 2022. № 12. С. 34–39.

Для цитирования: Пухова О.В., Шахматов К.Л., Женихов К.Ю. Пути улучшения технико-экономических характеристик производства кускового торфа // *Вестник Тверского государственного технического университета. Серия «Технические науки»*. 2024. № 4 (24). С. 37–45.

WAYS TO IMPROVE THE TECHNICAL AND ECONOMIC CHARACTERISTICS OF PRODUCTION OF LUMP PEAT

O.V. PUKHOVA, Cand. Sc., K.L. SHAKHMATOV, Cand. Sc.,
K.Yu. ZHENIKHOV, Senior Lecturer

Tver State Technical University
22, Af. Nikitin emb., Tver, 170026, e-mail: owpuhova@mail.ru

The article considers the issues of reducing energy capital costs in the field production of lump peat. It is noted that the layer-by-layer slit method based on the method of mechanized extrusion molded cylindrical lumps directly at the technological sites of extraction with subsequent drying and harvesting operations. In the process of lumps production by milling-forming method it was found that the extraction is a very energy-

*Вестник Тверского государственного технического университета.
Серия «Технические науки». № 4 (24), 2024*

consuming technology, so the question of reducing the costs of its production appeared. It is indicated that during milling molding, substantial loads act on the knives of the working body of the milling unit during extrusion and cause their deformation and then destruction, as a result of which the power consumption for molding increases, and thus the productivity and reliability of the unit are reduced. Specific work and required power for milling and molding are calculated, as well as the minimum tractor power required to perform the operation of milling and molding is determined. It is stated that in order to improve the technical and economic characteristics of the lump peat peat extraction site, the complex evaluation indicator was used, which allowed to select low-power equipment, thereby reducing operating and capital costs and increasing the profitability and reliability of production.

Keywords: lumpy peat, peat deposit, extraction, energy consumption, milling, profitability.

Поступила в редакцию/received: 16.09.2024; после рецензирования/revised: 25.09.2024;
принята/accepted: 02.10.2024

УДК 622.232

ПЕРСПЕКТИВНЫЕ РАЗРАБОТКИ ДЛЯ ДОРОЖНОГО СТРОИТЕЛЬСТВА

Ю.Н. ПАВЛОВ, канд. техн. наук, А.В. КОНДРАТЬЕВ, д-р техн. наук,
С.М. КОЧКАНЯН, канд. техн. наук, Д.Г. МАСЛЕННИКОВ, канд. техн. наук

Тверской государственный технический университет
170026, Тверь, наб. Аф. Никитина, 22, e-mail: pavlov237@yandex.ru

© Павлов Ю.Н., Кондратьев А.В., Кочкян С.М.,
Масленников Д.Г., 2024

Представлен обзор научных исследований и опытно-конструкторских работ, выполненных на кафедре строительных, дорожных машин и оборудования Тверского государственного технического университета для механизации дорожного строительства. Выбраны разработки, которые остаются перспективными и по которым продолжаются исследования. Отмечено, что для большинства из них проведена работа от постановки задачи до создания и испытания экспериментального образца, при этом в ходе данной работы появились новые идеи совершенствования технологий и конструкций. Приведены описания и некоторые результаты исследований или испытаний оборудования для нанесения дорожной разметки, срезки кустов и мелких деревьев в полосе отвода автомобильных дорог, проведения ямочного ремонта, приготовления сухой асфальтобетонной смеси и вибрационного уплотнения грунтов.

Ключевые слова: дорожная разметка, полоса отвода автомобильных дорог, срезка кустов и мелких деревьев, сухая асфальтобетонная смесь, ямочный ремонт, вибровозбудитель, грунтоуплотняющая машина.

DOI: 10.46573/2658-5030-2024-4-45-51

ВВЕДЕНИЕ

Кафедрой строительных, дорожных машин и оборудования (СДМО) выполнен значительный объем работ для решения прикладных и перспективных задач механизации дорожного строительства. Некоторые научные исследования и