

**Для цитирования:** Шабает О.Е., Довгань А.Ю. Математическая модель формирования вектора внешнего возмущения на осевой коронке исполнительного органа проходческого комбайна // Вестник Тверского государственного технического университета. Серия «Технические науки». 2024. № 2 (22). С. 55–72.

## **A MATHEMATICAL MODEL OF THE FORMATION OF AN EXTERNAL DISTURBANCE VECTOR ON THE AXIAL CROWN OF A BOOM-TYPE HEADING MACHINE**

O.E. SHABAEV<sup>1</sup>, Dr. Sc, A.Yu. DOVGAN<sup>1,2</sup>, postgraduate

<sup>1</sup>Donetsk National Technical University,

58, st. Artema, 283001, Donetsk, e-mail: donntu.info@mail.ru

<sup>2</sup>Mine Automation Research Institute named after V.A. Antipov,  
93, Plycha ave., 283003, Donetsk, e-mail: avtomatgormash@mail.ru

A complex model of the formation of an external disturbance vector on the axial crown of the executive body has been developed, taking into account the influence of mining and geological conditions and operating parameters of the combine on the process of destruction of the mountain range, which consists of models of the destroyed array and the face surface, finding the coordinates of the tip of the cutter in the face, evaluating the conditions of contact of the cutter with the array, determining the parameters of the process of destruction of the array by cutters crowns for determining the cutting and feeding forces on the cutter, taking into account the fulfillment of the contact condition of the cutter with the face. The adequacy of the mathematical model was assessed by comparing the indicators obtained during model and experimental studies: average fracture power per cycle, theoretical productivity, specific energy consumption per cycle, and the duration of face treatment.

*Keywords:* mathematical model, heading machine, cutter, boom, external disturbance vector.

Поступила в редакцию/received: 26.02.2024; после рецензирования/revised: 28.02.2024;  
принята/accepted: 01.03.2024

УДК 622.331:622.271

## **ОЦЕНКА ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО МЕТОДА УПРАВЛЕНИЯ КАЧЕСТВЕННЫМИ ПАРАМЕТРАМИ ТОРФЯНОГО СЫРЬЯ**

Е.Ю. ЧЕРТКОВА, канд. техн. наук

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

© Черткова Е.Ю., 2024

Рассмотрены вопросы управления качеством торфяного сырья. Разработана технология добычи фрезерного торфа с интенсификацией сушки в полевых условиях до уборочной влажности менее 40 % за счет переменной высоты общего слоя, что

позволяет управлять качеством добываемого сырья и снизить энергоемкость процесса его переработки. Проведены полевые испытания данной технологии на торфяном месторождении. Определены показатели относительной влажности убираемой торфяной крошки в каждом цикле по двум технологиям. Приведены результаты сравнительного анализа эксплуатационной производительности машин с учетом разных технологических параметров добычи.

*Ключевые слова:* фрезерный торф, качественные параметры, интенсификация, сушка торфа, глубина фрезерования, переработка, влажность, цикловые сборы, эксплуатационная производительность.

**DOI: 10.46573/2658-5030-2024-2-72-80**

## **ВВЕДЕНИЕ**

В горнодобывающей промышленности большое внимание уделяется подходам, позволяющим обеспечивать высокие качественные характеристики добываемого сырья на этапе геотехнологии, что, в свою очередь, способствует значительному сокращению расходов на последующие высокотехнологические процессы переработки торфа в заводских условиях.

К качественным характеристикам торфяного производства относят такие показатели, как влажность и зольность, которые регламентируются нормативными документами [1–3] и определяют качество торфяной залежи. Зольность обусловлена природными характеристиками торфяного месторождения, а уборочная влажность торфа зависит от направления использования торфяной продукции и выбранного способа добычи.

В технологиях добычи фрезерного торфа, применяемых в России и в ряде зарубежных стран, его высушивают до уборочной влажности от 45 до 65 %, в зависимости от направления дальнейшего использования [4]. Например, в торфобрикетной промышленности для получения 1 т брикетов из исходного сырья требуется удалить около 0,5 т воды [5], что связано с большими затратами тепловой энергии. При глубокой химической переработке торфяной крошки для производства гидрофобных добавок [6] требуется высокое температурное воздействие на сырье, которое негативно влияет на групповой химический состав и приводит к потере органических компонентов [7]. Важной задачей технологии добычи крошкообразного торфяного сырья является снижение его уборочной влажности в естественных условиях до минимальных значений.

В связи с вышеперечисленным цель работы заключалась в разработке технологического метода добычи фрезерного торфа с увеличением интенсивности сушки в полевых условиях, что позволит максимально снизить уборочную влажность и сохранить ряд ценных органических компонентов сырья. С целью оценки технологического метода проведена исследовательская работа на площадях торфяного месторождения.

## **МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ**

Для решения поставленной задачи в исследовательской работе проведен анализ технологических подходов к процессу интенсификации естественной сушки торфа в полевых условиях. Теорией полевой сушки фрезерного торфа занимались В.Я. Антонов, Л.М. Малков, А.Е. Афанасьев, В.И. Смирнов, Н.И. Гамаюнов и другие известные специалисты в области торфяного производства [8–11]. Полевая сушка

фрезерного торфа является существенной операцией технологического процесса добычи торфа. Режим полевой сушки торфа зависит от ряда факторов [12–14]:

метеорологических – осадков, интенсивности солнечной радиации, относительной влажности, температуры воздуха, облачности;

физических – ботанический состав, степень разложения, влагоемкость и пр.;

гидрогеологических – уровня грунтовых вод, способов осушения торфяной залежи и др.;

технологических – характера и очередности технологических операций, начального и конечного влагосодержания, толщины сушимого слоя и пр.

Перечисленные факторы взаимосвязаны и влияют друг на друга.

В разработанной технологии были учтены основные элементы интенсификации сушки торфа на торфяных полях.

### РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Научно-исследовательская работа выполнялась на специально предоставленной технологической площадке, расположенной рядом с полями добычи на торфяном месторождении в Псковской области, где торф добывается открытым способом. Это дало возможность сравнить преимущество рассматриваемой технологии с применяемой на данном предприятии. Объект исследования – производственный участок с одинаковыми качественными характеристиками торфяной залежи по всей площади. Тип залежи – верховой, пнистость менее 1 %, степень разложения – 29 %, естественная влажность – 83 %, эксплуатационная – 75 %.

Действующая технология добычи торфяной крошки включает следующие технологические операции: фрезерование торфяной залежи на глубину 9–15 мм, ворошение торфяной крошки и уборку торфа.

Разработанный технологический метод представлен аналогичными технологическими операциями, но с кондиционированием уборочной относительной влажности на технологических площадях за счет изменения глубины фрезерования и интенсификации сушки.

Основной технологической операцией по созданию слоя фрезерного торфа является фрезерование залежи (рис. 1).



(а)



(б)

Рис. 1. Вид залежи: в процессе фрезерования (а); после фрезерования (расстил) (б)

Глубина фрезерования в различных способах добычи торфа представлена изменяемым параметром [15]. В предложенной технологии операция фрезерования залежи выполняется фрезбарабаном после выпадения осадков на глубину 25–30 мм, обеспечивающую толщину слоя аэрации  $h_{сл} = 45–50$  мм (рис. 2).

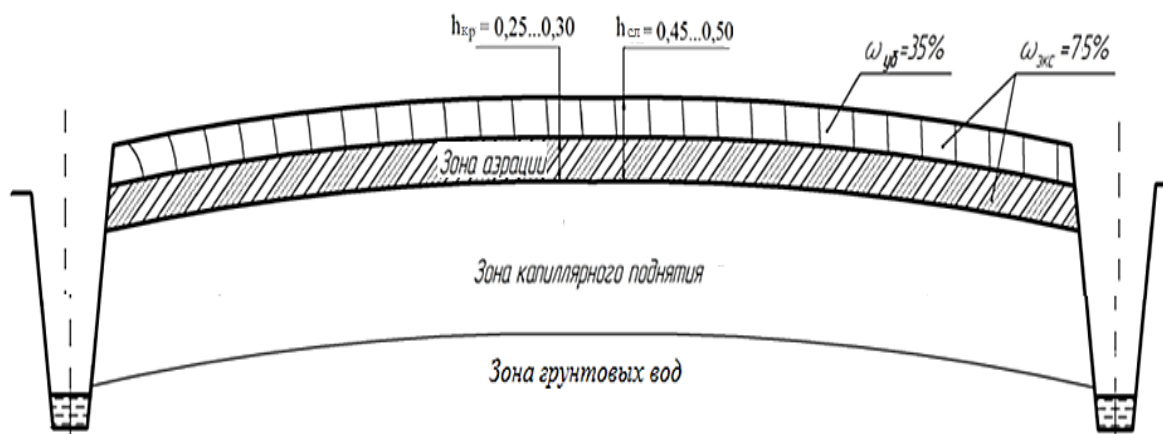


Рис. 2. Схематическое изображение торфяной залежи

В процессе фрезерования образуется минимальная (критическая) толщина слоя  $h_{кр} = 25–30$  мм. Во втором и последующих циклах фрезерные барабаны активного типа формируют из оставшейся фрезерной крошки на полях добычи и дополнительно нафрезерованной залежи слой глубиной не более 10–12 мм. В случае неустойчивых погодных условий толщина слоя может быть изменена, но всегда должна быть больше, чем критическая. Прерванный осадками технологический цикл сушки торфа восстанавливается рыхлением оставшейся несработанной части слоя ворошилками или фрезбарабанами.

Схема сушки фрезерного торфа включает в себя три слоя. Первый (верхний) слой – быстросохнущий; второй (средний) – с высокой интенсивностью испарения влаги; третий (нижний) слой торфа предотвращает влагообмен сфрезерованного слоя и торфяной залежи. Для верхового типа залежи он составляет около 30 мм (рис. 3). В процессе сушки зона испарения перемещается в глубь торфяной крошки в среднем на 25–30 мм, что вызывает интенсивную подсушку подстилающих верхних слоев торфа.

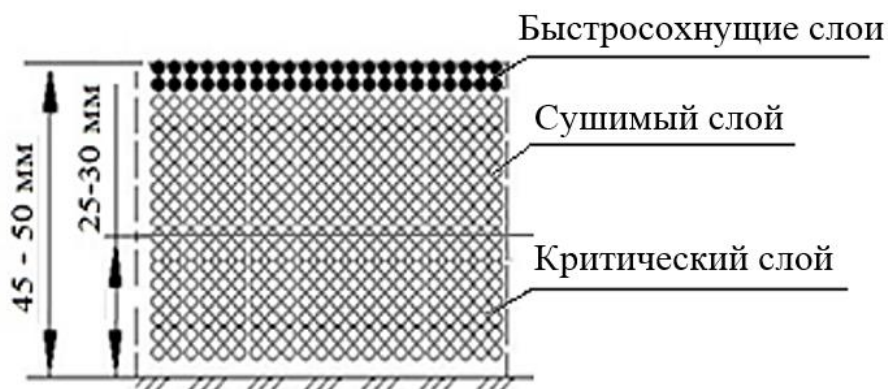


Рис. 3. Схема сушки многослойного расстила



При срабатывании сушеного слоя до минимальной (критической) толщины слоя начинает усиливаться тепло- и влагообмен с подстилающим слоем торфяной залежи [13], что вызывает снижение интенсивности полевой сушки, затрат тепловой энергии на испарение влаги. Происходит и отток тепла из сушеного слоя в монолит, и это приводит к снижению показателей сбора торфа. Критический слой предотвращает отрицательное влияние залежи на сушку торфяной крошки [8].

Последующая технологическая операция – ворошение (рис. 4). Для интенсификации сушки при хорошей категории сушки выполняется одно ворошение на глубину 20–25 мм при длительности цикла одни сутки. При средней и слабой категориях выполняется два ворошения [14].

Затем осуществляется послойная уборка подсохшего до кондиционной влажности не более 40 % верхнего тонкого слоя торфяной крошки машинами с пневматическим сбором.



Рис. 4. Расстил торфяной крошки после ворошения

Пневматическая уборка имеет ряд технологических преимуществ перед механическим способом, а именно [15, 16]:

улучшается качество торфяного сырья, так как в первую очередь засасываются более легкие частицы торфяной крошки с наименьшей влажностью;

при движении пневмоуборочной машины сопла перемещаются над расстилом, благодаря чему не происходит подфрезеровывание торфяной залежи и, следовательно, не повышается уборочная влажность торфа;

сокращается продолжительность цикла;

увеличиваются сезонные сборы.

При хороших погодных условиях верхний слой торфа убирают один или несколько раз в сутки. На экспериментальном участке уборка торфа производилась прицепной к трактору пневмоуборочной машиной МПГУ-30 (рис. 5).

Суть метода заключается в следующем. После уборки высушенного слоя до влажности не более 40 % технологический цикл заканчивается. Затем проводится следующий технологический цикл с образованием глубины слоя 40–45 мм, что достигается за счет фрезерования залежи на глубину 10–12 мм и оставшейся на карте подсохшей торфяной крошки от предыдущего цикла. После этого выполняется ворошение верхнего слоя и уборка высушенного до кондиционной уборочной влажности нового слоя.



Рис. 5. Пневмоуборочная машина МПТУ-30: общий вид (а); всасывающие сопла уборочной машины (б)

Для неустойчивых погодных условий для сушки предусматривается дифференцированная глубина фрезерования с целью получения расчетных цикловых сборов фрезерного торфа. При наиболее благоприятных климатических условиях отсутствует неубранный высушенный торф на площадях разрабатываемого участка. Следовательно, увеличится количество технологических циклов и сезонная выработка уборочных машин [15]. Кроме того, на повышение цикловых сборов оказывает большое влияние интенсивное удаление влаги из слоя благодаря улучшенной аэрации.

Определение относительной влажности убранной торфяной крошки на исследуемой площадке производилось в течение июля 2023 года, по данным среднее значение составило 33,9 %, в то время как на соседней карте, где добыча осуществлялась по действующему технологическому методу, уборочная влажность в среднем достигала 47 %.

Цикловой сбор при конечной влажности 33,9 % в разработанной технологии по произведенным расчетам составил 12,3 т/га и практически совпал с цикловым сбором, полученным по действующей технологии.

В ходе исследования были проанализированы эксплуатационные производительности машин на технологических операциях добычи, которые рассчитываются по выражению [12, 15]:

$$S = 0,1 \cdot v_T \cdot K_v \cdot b_k \cdot K_{ш} \cdot K_{п. в} \cdot K_{ц},$$

где  $v_T$  – расчетная скорость трактора, км/ч;

$K_v$  – коэффициент использования скорости;

$b_k$  – конструктивная ширина захвата рабочего органа;

$K_{ш}$ ,  $K_{п. в}$ ,  $K_{ц}$  – коэффициенты использования соответственно конструктивной ширины захвата, полезного времени работы машины, времени цикла.

На фрезеровании торфяной залежи скорости определялись по мощности двигателя трактора [17]. При уборке бункерными машинами с пневматическим сбором скорость рассчитывалась из условия сбора всего высушенного фрезерного торфа и проверялась по мощности двигателя трактора [17].

Результаты расчета эксплуатационной производительности машин приведен на гистограмме (рис. 6). Из полученных данных следует, что на операции фрезерования показатель выше на 18,7 % по действующему технологическому методу за счет меньшей толщины фрезеруемого слоя и более высокой скорости работы фрезбарабана, следовательно, выше коэффициент использования времени цикла по сравнению с испытываемой технологией.

Эксплуатационная производительность ворошилки по действующей на предприятии технологии на 7,6 % выше по сравнению с разработанным методом в связи с более высоким коэффициентом использования времени цикла. В то же время эксплуатационная производительность МПТУ-30 по разработанному технологическому методу выше на 8,2 %. Это обусловлено снижением массы торфа за счет понижения уборочной влажности торфяной крошки в естественных условиях до минимального значения.

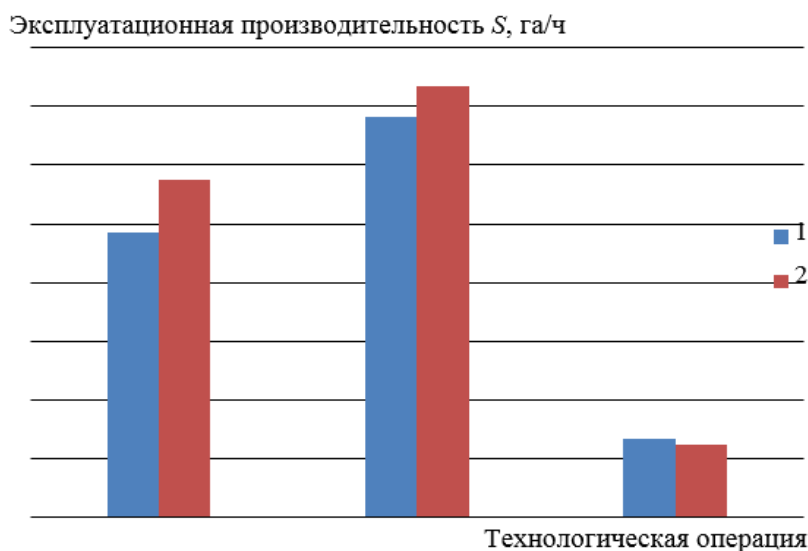


Рис. 6. Эксплуатационная производительность машин на технологических операциях: разработанный (1) и действующий (2) технологические методы

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведенные на торфяном месторождении исследования позволяют сделать следующие выводы:

1. Испытан предложенный технологический метод добычи фрезерной торфяной крошки с кондиционированием по влажности для применения в качестве топливного торфа, брикетов и сырья для глубокой химической переработки. Разработанная технология добычи торфа с интенсификацией сушки в толстых слоях позволяет управлять качественными параметрами торфяного сырья и уменьшить продолжительность искусственной досушки.

2. Оценены показатели уборочной влажности торфяной крошки. На исследуемом участке торфяного месторождения показатель конечной влажности ниже на 38,6 %.

3. В случае неблагоприятных климатических условий предусмотрена дифференцированная глубина фрезерования, что способствует сохранению цикловых сборов на уровне действующих норм технологического проектирования.

4. Проведен сравнительный анализ эксплуатационной производительности машин с учетом разных технологических параметров добычи, который показал, что производительность машин ниже на фрезерование и ворошение. При уборке фрезерной крошки по описанному в статье методу эксплуатационная производительность машин выше за счет снижения уборочной влажности.

5. Получены цикловые сборы при сушке фрезерного торфа по существующей и по предлагаемой технологиям при разных высотах общего и убираемого слоев торфяной крошки. Установлено, что цикловой сбор при сушке торфа в толстых слоях при конечной влажности 33,9 % сохраняется на уровне действующих норм технологического проектирования.

Таким образом, разработанный метод позволяет управлять качественными параметрами торфяного сырья. Это способствует снижению энергоемкости искусственной досушки торфяной крошки в заводских условиях, благодаря чему сокращается время температурного воздействия, а также сохраняется исходный групповой химический состав торфяного сырья для дальнейшей химической переработки.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. ГОСТ 13672-76 Торф фрезерный для производства брикетов. Технические требования. М.: Издательство стандартов, 1976. 6 с.
2. ГОСТ 11306-2013 Торф и продукты его переработки. Методы определения зольности. М.: Стандартформ, 2014. 8 с.
3. ГОСТ Р 50902-2011. Торф топливный для пылевидного сжигания. М.: Стандартинформ, 2019. 7 с.
4. Панов В.В., Мисников О.С., Купорова А.В. Проблемы и перспективы развития торфяного производства в Российской Федерации // *Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-техн. журнал)*. 2017. № 5. С. 105–117.
5. Наумович В.М. Искусственная сушка торфа. М.: Недра, 1984. 222 с.
6. Misnikov O. A Study of the Properties of Portland Cement Modified Using Peat Based Hydrophobic Admixtures // *Polymer Science. Series D*. 2014. V. 7. № 3. P. 252–259.
7. Misnikov O. Analysis of the Effect of the Composite Peat-based Hydrophobically Modifying Additives on the Properties of Portland Cement and Cement Mortar // *Mires and peat*. 2021. V. 27. № 10. P. 11.
8. Гамаюнов Н.И., Афанасьев А.Е. Исследования процессов сушки фрезерного торфа в тонких слоях на толстой аэрированной подложке // *Торфяная промышленность*. 1977. № 6. С. 25–28.
9. Малков Л.М., Чураева А.И. Исследование процесса сушки фрезерного торфа в тонких слоях // *Сборник научных трудов ВНИИТП*. 1963. Вып. 21. С. 96–182.
10. Kremcheev E.A., Kremcheeva D.A. Validation of Processing Methods for Peat Raw Dehumidification with Excavating Digging // *Research Journal of Pharmaceutical, Biological and Chemical Sciences*. 2016. V. 7. № 3. P. 1284–1289.
11. Пухова О.В. Оценка влияния технологических параметров на полевую сушку торфяного слоя при его добыче // *Вестник Тверского государственного технического университета. Серия «Технические науки»*. 2023. № 3 (19). С. 53–61.



12. Смирнов В.И., Черткова Е.Ю. Экспертная оценка интенсификации процессов сушки в геотехнологии торфяного производства // *Горный информационно-аналитический бюллетень*. 2011. № 9. С. 106–113.

13. Черткова Е.Ю. Технология добычи и кондиционирования фрезерного торфа для получения гидрофобных модификаторов. Дисс... канд. техн. наук. Тверь. 2014. 170 с.

14. Мисников О.С., Пухова О.В., Черткова Е.Ю. Физико-химические основы торфяного производства: учеб. пособие. Тверь: ТвГТУ, 2015. 168 с.

15. Пухова О.В. Применение вертикального дренажа для подготовки производственной площадки торфяного участка // *Вестник Тверского государственного технического университета. Серия «Технические науки»*. 2024. № 1 (21). С. 60–68.

16. Яблонев А.Л., Щербакова Д.М. Исследование работы всасывающего сопла торфяной пневмоуборочной машины // *Вестник Тверского государственного технического университета. Серия «Технические науки»*. 2020. № 3 (7). С. 40–49.

17. Столбикова Г.Е., Мисников О.С., Иванов В.А. Процессы открытых горных работ. Фрезерный торф: учеб. пособие. Тверь: ТвГТУ, 2017. 160 с.

**Для цитирования:** Черткова Е.Ю. Оценка технологического метода управления качественными параметрами торфяного сырья // *Вестник Тверского государственного технического университета. Серия «Технические науки»*. 2024. № 2 (22). С. 72–80.

## EVALUATION OF THE TECHNOLOGICAL MANAGEMENT METHOD QUALITATIVE PARAMETERS OF PEAT RAW MATERIALS

E.Yu. CHERTKOVA, Cand. Sc.

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

The issues of quality management of peat raw materials are considered. A technology has been developed for the extraction of milled peat with the intensification of drying in the field to a harvest moisture content of less than 40 % due to the variable height of the total layer, which makes it possible to control the quality of the extracted raw materials and reduce the energy intensity of the process of its processing. Field tests of this technology have been carried out in a peat deposit. The relative humidity indicators of the harvested peat chips in each cycle were determined using two technologies. The results of a comparative analysis of the operational capacity of machines taking into account different technological parameters of production are presented.

**Keywords:** milling peat, qualitative parameters, intensification, peat drying, milling depth, processing, moisture content, cyclic collections, operational capacity.

Поступила в редакцию/received: 20.02.2024; после рецензирования/revised: 28.02.2024;  
принята/accepted: 01.03.2024