



УДК 622.331

ОСНОВЫ ВСЕСЕЗОННОЙ МАЛОТОННАЖНОЙ ТЕХНОЛОГИИ ДОБЫЧИ ТОРФА С ДОСУШКОЙ НА ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ПЛОЩАДКЕ

Мисников О.С., Женихов К.Ю.

Тверской государственный технический университет



Информация о статье

Поступила:

01 марта 2026 г.

Рецензирование:

26 мая 2026 г.

Принята к печати:

15 июня 2026 г.

Ключевые слова:

фрезерный торф, добыча,
всесезонная технология,
гравитационное
обезвоживание,
промораживание, рыхление,
досушка, уборка,
штабелирование

Аннотация.

Обоснована актуальность разработки всесезонных технологий добычи торфа для отработки его запасов на ранее разрабатываемых торфяных месторождениях. Приведен краткий анализ технологий применяемых в торфяном деле с констатацией недостатков фрезерного способа добычи на ранее разрабатываемых месторождениях. Раскрыта сущность всесезонной малотоннажной технологии добычи торфа, предусматривающей досушку сырья до кондиционной влаги на технологической площадке. Технологический процесс разделен на два независимых этапа. Первый этап включает добычу торфяного сырья эксплуатационной влаги ($w_3 \approx 84...88\%$) с его обезвоживанием методами гравитации, испарения и зимнего промораживания. На втором этапе весной производится придание отвалу трапецидальной формы; рыхление преимущественно сельскохозяйственным оборудованием; сбор торфяной крошки в штабель. Обосновано увеличение величины цикловых сборов и количества циклов по сравнению с традиционными технологиями добычи. Даны рекомендации по использованию средств механизации и разработаны схемы работы добычного оборудования, определены сроки проведения технологических операций. При соблюдении рекомендованных технологических параметров сезонные сборы фрезерного торфа сельскохозяйственного назначения могут достигать 5 тыс. тонн с гектара, что примерно в 2,5 раз больше, чем при использовании традиционной технологии при прочих равных условиях.

Для цитирования: Мисников О.С., Женихов К.Ю. Основы всесезонной малотоннажной технологии добычи торфа с досушкой на технологической площадке // Техника и технология горного дела. – 2026. – №2(33). – С. 4-30. – DOI:10.26730/2618-7434-2026-2-4-30, EDN: LUDKHW

Введение

В развитии торфяной промышленности нашей страны до 60-х годов XX века определяющим было энергетическое направление использования торфа. В СССР в различные годы без учета муниципальных котельных работало около 80 электростанций, основным топливом для которых являлся фрезерный торф. Поэтому он и получил наибольшее распространение с использованием поверхностно-послойной системы разработки торфяного месторождения. В настоящее время вследствие перевода электростанций на природный газ потребность в топливном торфе сравнительно небольшая, поэтому произошло радикальное снижение добычи торфа [1] с перераспределением в сельскохозяйственное направление использования [2]. Период так называемой «перестройки» экономики страны сопровождался практически полной ликвидацией ряда отраслей отечественной промышленности. Наиболее болезненно это отразилось на торфяной отрасли: прекратило работу подавляющее число торфопредприятий, и выработанные, а также подготовленные к добыче торфа (осушенные) производственные площади



месторождений оказались, по сути, бесхозными и заброшенными (не рекультивированными). В настоящее время, несмотря на определенную работу в этом направлении, связанную с реализацией проектов по восстановлению болотообразовательных процессов на разрабатываемых ранее площадях [3-5], таких объектов остается еще достаточно много. Кроме того, они представляют высокую пожарную опасность [6, 7]. Между тем ранее разрабатываемые торфяные месторождения обладают определенной инвестиционной привлекательностью в связи с минимизацией финансовых и материальных средств, необходимых для организации (возобновления) добычи полезного ископаемого на этих площадях и относительно быстрого ввода торфяного предприятия в эксплуатацию.

Таким образом, рациональное использование ранее разрабатываемых торфяных месторождений (или отдельных участков) с оставшимися промышленными запасами требует создания новых, в том числе малотоннажных, технологий добычи торфа для сельскохозяйственного использования. Они должны обладать признаками «всесезонности» и быть реализуемыми с применением простых и доступных средств механизации, производимых в РФ и дружественных странах.

Краткий анализ технологий добычи торфа

В зависимости от характера и приемов разработки торфяных месторождений различают: гидравлический, экскаваторный, фрезерный, фрезерформочный и другие менее известные способы производства, а также их комбинации [8-11]. При различных схемах механизации и условиях разработки приняты глубинная (карьерная), поверхностно-послойная, глубинно-послойная и другие системы разработки торфяных месторождений.

Самым ранним, описанным в исторических материалах [12] способом добычи торфа, является резной способ (рис. 1).



Рис. 1. Фото добычи резного торфа в Австрии (1920-е годы) (Фото с сайта <https://www.tagesanzeiger.ch>)

Fig. 1. Photo of carved peat extraction in Austria (1920s) (Photo from <https://www.tagesanzeiger.ch>)

Он успешно используется и в наше время в кустарном виде жителями сельской местности ряда регионов РФ и некоторых зарубежных стран (например, Ирландия), а также в виде промышленного способа добычи с помощью специального технологического оборудования – насадки на экскаватор (рис. 2, 3) [13]. Поскольку для этого способа необходимы повышенные требования к плотности торфяной залежи (менее 1 %), в середине XIX столетия начали активно разрабатываться способы диспергирования торфомассы с формованием ее в торфяные кирпичи, а в конце века разработан машинно-формовочный способ [14, 15]. Экскавация торфа из залежи

осуществлялась, как правило, при помощи ковшей. Главным преимуществом способа являлось разрушение первичной структуры экскавируемой торфомассы, ее измельчение, уплотнение и формирование прочных торфяных кусков (так называемых, «кирпичей»). Сначала извлечение торфа, осуществлялось с использованием ручного труда с погрузкой на транспортер (элеваторный способ). Но в дальнейшем распространение получил экскаваторный (багерный) способ экскавации торфа: небольшими ковшами, последовательно установленными на раме, которая опускалась в карьер. Принципиально в неизменном виде он просуществовал вплоть до 60-х годов XX века [15].



Рис. 2. Современный вариант резного торфа – фигура, выполненная из отдельных кусков («кирпичей») для сушки в естественных условиях

Fig. 2. A modern version of cut peat – a shape made from individual pieces (“bricks”) for drying under natural conditions



Рис. 3. Специальная насадка на экскаватор для добычи резного торфа

Fig. 3. A special attachment for an excavator used to extract cut peat

В начале XX века начал разрабатываться, а в 30-50-х гг. этого же столетия получил широкое распространение гидравлический способ добычи торфа, названный «гидроторфом» [12]. Струя воды под большим давлением размывала торфяную залежь, превращая ее, таким образом, в торфомассу (смесь торфа с водой) высокой влажности. Влажность торфомассы позволяла перекачивать ее по системе трубопроводов на поля сушки. После сгущения, нарезки кирпичей и их сушки получалась готовая продукция. В настоящее время промышленно выпускается оборудование [16], которое можно использовать для добычи торфа гидравлическим способом, однако в комплекте с ним необходимо применение дополнительных приспособлений для обезвоживания и сгущения торфомассы (например, геотуб [17-19]). При этом использования специальных устройств из смежных отраслей горной промышленности [20] представляется малоэффективным, в первую очередь по экономическим показателям.

Тем не менее, основным способом добычи торфа, который активно используется в нашей стране и за рубежом в настоящее время, является фрезерный (или послойно-поверхностный), разрабатываемый с середины 20-х годов XX века.

Начальной операцией в общем цикле работ по производству фрезерного торфа является фрезерование поверхностного слоя торфяной залежи на глубину 10...20 мм, с получением растила толщиной 20...40 мм (рис. 4). Цель фрезерования – измельчение верхнего слоя залежи и получение фрезерной крошки определенных размеров (как правило, размер частиц до 25 мм).



Рис. 4. Фото фрезбарабана, агрегатированного с колесным трактором (слева) и фрезерование торфяной залежи (справа)

Fig. 4. Photo of a cutting drum attached to a wheeled tractor (left) and cutting of a peat deposit (right)

Следующей технологической операцией является 1...3-кратное ворошение, выполняемое для интенсификации полевой сушки торфа. Подсохшую до требуемых значений относительной влажности¹ ($\approx 40...60\%$) крошку убирают из растила уборочными машинами с пневматическим принципом сбора (рис. 5) или собирают в валки. В этом случае (из валков) уборка фрезерного торфа выполняется уборочными машинами с механическим принципом сбора (рис. 6) или погрузчиками в специальные прицепы.



Рис. 5. Фото бункерной уборочной машины с пневматическим принципом сбора торфа из растила

Fig. 5. Photo of a hopper-type peat harvester that uses a pneumatic system to collect peat from the growing bed

¹В соответствии с ГОСТ 11305-2013 физический термин «относительная влажность торфа» трактуется как «влага торфа».



Рис. 6. Бункерная уборочная машина с механическим сбором торфа из валков
Fig. 6. Hopper-type harvesting machine with mechanical picking of peat from windrows

Таким образом, существует несколько схем уборки, отличающихся по способу сбора торфа с поля сушки, а также транспортирования его в складочные единицы – в бункерах уборочных машин или саморазгружающихся тракторных прицепах.

Заключительная операция – штабелирование (рис. 7) с размещением штабелей торфа в специально отведенных местах. Это могут быть подштабельные полосы на технологической площадке, суходолы или другие зоны, удобные для хранения и последующего транспортирования торфа к потребителю [8-11].



Рис. 7. Фото работы штабелера по формированию складочных единиц фрезерного торфа
Fig. 7. Photo showing a stacker forming storage units of milled peat



Обоснование необходимости разработки малотоннажных технологий производства торфа

Поскольку фрезерный способ изначально применялся для добычи топливного торфа² для пылевидного сжигания, годовая программа отдельных торфяных предприятий могла достигать 0,5...1 млн. тонн торфа и более. Для обеспечения таких программ при поверхностно-послойном способе (сработка торфяной залежи около 25 см в год) требовались большие площади (до 1000...2000 га и более) и высокая степень механизации работ. При переходе электростанций на другие виды энергоносителей, потребность во фрезерном топливном торфе в таких достаточно больших объемах отпала. Поскольку в настоящее время его добыча исчисляется десятками, а на некоторых предприятиях сотнями тысяч тонн, подготовленные к добыче фрезерного торфа площади оказались невостребованными. Их рекультивацией долгое время никто не занимался. Вполне естественно, что при снижении спроса на торфяное сырье, до минимума сократилось и отечественное торфяное машиностроение³. При таких условиях принимаются определенные попытки использования оборудования из смежных отраслей реального сектора экономики. Например, в работе [21] отмечается, что на рынке торфяного оборудования нет комплектов по малотоннажной добыче торфа, которые можно было бы эксплуатировать на небольших по площади месторождениях. Поэтому предлагается модернизировать широко распространенную промышленную технологическую схему с раздельной уборкой из наращиваемых валков за счет применения универсально-комбинированных машин при небольших объемах производства. Однако и этой технологической схеме малотоннажной добычи торфа, являющейся, по сути, разновидностью фрезерного способа, присущи все его недостатки.

Необходимо также отметить, что ранее разрабатываемые фрезерным способом (нерекультивируемые) площади торфяных месторождений становятся объектами негативного влияния на окружающую среду. В первую очередь это связано с поступлением больших объемов внутризалежных и поверхностных специфических болотных вод в водоприемники. Но главное, что ранее разрабатываемые торфяные площади являются объектами с повышенным риском возникновения пожаров (рис. 8). По сделанной специалистами Инсторфа ТвГТУ классификации техногенной пожарной опасности участков торфяников, фрезерные поля с выпуклой поверхностью относятся к I классу техногенной пожарной опасности (очень высокая пожарная опасность) [22-24]. При глубинном (карьерном) способе добычи торфа, выработанные карьеры заполняются водой и относятся уже к V классу техногенной пожарной опасности (пожарная опасность отсутствует). Особенно высока вероятность возникновения торфяных пожаров на разрабатываемых ранее торфяных месторождениях с остаточными промышленными запасами торфа [22-24].

Их пожароопасность определяется рядом факторов:

- 1) окрайки торфяных месторождений, имеющих сравнительно небольшую глубину залежи и, как правило, ранее не разрабатывались, а с течением времени зарастали лесом высокого бонитета;
- 2) наличие на некоторых месторождениях штабелей торфа, не вывезенных в свое время;
- 3) частичное функционирование осушительной сети;
- 4) наличие коммуникаций, обеспечивающих возможность проникновения на месторождения людей (в т.ч. на транспорте) – основных источников возникновения возгораний;
- 5) расположение выработанного месторождения на землях государственного лесного фонда, что повышает опасность перехода торфяного пожара в низовой или верховой лесной пожар.

В дополнение к этому необходимо отметить, что при нахождении пожароопасных объектов на землях сельскохозяйственного назначения близкое расположение к ним населенных пунктов также может спровоцировать возгорания с непредсказуемыми последствиями.

² Относительная уборочная влага топливного торфа в зависимости от погодных условий колеблется в диапазоне примерно 38...49 %, а для расчетов с потребителем масса торфа пересчитывается на условную влагу, равную 40 % [8].

³ В настоящее время технику для подготовки производственных площадей и добычи торфа выпускает одно предприятие в РФ и несколько заводов в Белоруссии.



Рис. 8. Фото пожара на ранее разрабатываемых площадях торфяного месторождения
(фото Галеева А.М.)

Fig. 8. Photo of a fire in areas of the peat deposit that had previously been mined (photo by A.M. Galeev)

Право пользования участками недр местного значения для разведки и добычи полезного ископаемого, в соответствии со статьей 10.1 Закона РФ от 21.02.1992 № 2395-1 «О недрах», оформляется лицензией на пользование недрами после проведения аукциона. Победитель оплачивает разовый платеж за пользование недрами, зависящий в том числе, и от запасов торфа. Поэтому, как правило, в первую очередь оформляется право пользования недрами не всего торфяного месторождения, а его отдельного участка, на котором сохранилась осушительная сеть (на ранее разрабатываемых участках месторождения). В контексте рассматриваемой проблемы хочется обратить внимание еще на один существенный недостаток «классического» фрезерного способа производства торфа применительно к малоконтурным, мелкозалежным участкам месторождений – его разработка может быть неэффективной, а зачастую и не реализуемой по условиям конфигурации.

Таким образом, комплексная задача, связанная с расширением использования сырьевых баз торфяных ресурсов, экономической эффективностью технологий, наличием средств механизации (желательно отечественного производства), способами и методами рекультивации и восстановления торфяных болот может быть решена посредством разработки вариантов малотоннажных технологий добычи торфа. Причем, в основном речь идет о технологиях добычи торфа повышенной влаги ($w \geq 55...65\%$) по ряду причин.

1. Сокращение финансовых и трудовых затрат за счет относительно быстрого ввода в эксплуатацию ранее разрабатываемых торфяных месторождений с обособленными малоконтурными участками, разработка которых фрезерным способом неэффективна или невозможна по условиям конфигурации.



2. Эффективность традиционного фрезерного способа достигается при достаточно больших программах производства торфа из-за сравнительно низких цикловых и сезонных сборов и значительных потерях при сушке и уборке (около 50 %).

3. Применение комплекта специального технологического оборудования, которое производится в РФ не в полном объеме и в виде единичных образцов (что существенно повышает его стоимость).

4. Сезонность производства и большая зависимость от погодных условий.

5. Неоднородность качественных показателей готовой торфяной продукции в зависимости от стратиграфии торфяной залежи вследствие поверхностно-послойной ее разработки.

6. Отсутствие экологической сбалансированности фрезерного способа: высокая пожароопасность торфяных полей, негативное воздействие дренажных и сточных вод на поверхностные водные объекты.

Анализ состояния ранее разрабатываемых и выработанных торфяных площадей

Разработка малотоннажных всесезонных технологий добычи торфа и их применение требует оценки состояния сырьевых баз, перспективных для реализации этих технологий.

В настоящее время методология рационального использования торфяных месторождений предусматривает выделения целевых торфяных фондов, в том числе разрабатываемых и ранее выработанных. Рассмотрим перспективные сырьевые базы предлагаемой технологии на примере Тверской области - типичного представителя торфодобывающего региона Центрального Федерального округа Российской Федерации.

По состоянию на 01.01.1996 г. в Тверской области находилось 81 выработанное торфяное месторождение [22, 23]. После 1996 года добыча торфа велась в малых объемах силами частных инвесторов, и вновь выработанных торфяных месторождений не образовалось. Общая площадь выработанных торфяных месторождений составляет 17 835,2 га (таблица 1).

Таблица 1. Выработанные торфяные месторождения Тверской области

Table 1. Depleted peat deposits in the Tver Region

Торфяные месторождения	Общее число торфяных месторождений	Общая площадь в нулевой границе F_0 , га	Процент от площади пожароопасных торфяных месторождений, %
Выработанные	81	17 835,2	15,0
В том числе:			
группа А – земли ГЛФ	5	1 073 (от 14 до 423)	0,9
группа Б – земли сельскохозяйственного назначения	76	16 762,2 (от 2,4 до 6 598)	14,1

Для Тверской области характерно неравномерное географическое распределение количества выработанных торфяных площадей. Наибольшее число выработанных месторождений приходится на Калининский (9), Кимрский (7), Кувшиновский (5) районы. Среди крупных выработанных торфяных месторождений следует выделить «Васильевский Мох» (6 598 га), «Кулицкий Мох» (1 656 га), «Мельшня» (1 218 га), «Дмитровско-Черкасское» (897 га) Калининского района и «Осиновая Гряда» (878 га) Лихославльского района.

Наибольшее количество выработанных торфяных месторождений имеют площадь от 10 до 100 га (55,6 %). Однако доля их общей площади составляет лишь 8,1 %. На долю четырех крупных (более 1000 га) выработанных месторождений приходится 60,0 % от общих выработанных площадей (таблица 2).

К пожароопасным выработанным торфяным месторождениям отнесены 22 объекта с площадью более 100 га в нулевой границе торфяной залежи.



Таблица 2. Распределение выработанных торфяных месторождений Тверской области по размеру площадей

Table 2. Distribution of depleted peat deposits in the Tver Region by area

Площадь в нулевой границе, F_0 , га	Кол-во выработанных месторождений	Процент от числа всех выработанных месторождений, %	Общая площадь в нулевой границе, га	Процент от всей площади выработанных месторождений
≤ 10	14	17,3	93,2	0,5
11...100	45	55,6	1 443	8,1
101...200	8	9,9	1 043	5,8
201...500	7	8,6	2 237	12,5
501...1000	3	3,7	2 341	13,1
1001...2000	3	3,7	4 080	23,0
> 5000	1	1,2	6 598	37,0
Всего	81	100,0	17 835,2	100,0

Добыча торфа в Тверской области велась и (или) ведется на 352 торфяных месторождениях [22, 23]. В разрабатываемом фонде преобладают месторождения, осваиваемые ранее сельскохозяйственными предприятиями, спиртзаводами, торфяными артелями и другими местными организациями (таблица 3). На их долю приходится 80,1 % от общего числа разрабатываемых торфяных месторождений. Однако сельским хозяйством разрабатывались преимущественно малоконтурные месторождения. Общая площадь торфяных месторождений, разрабатываемых сельским хозяйством и местными организациями, составляет 48 692,2 га или 26,9 % общей площади торфяных месторождений, на которых велась добыча торфа.

Таблица 3. Торфяные месторождения, разрабатываемые сельским хозяйством и предприятиями, относящимися к торфяной промышленности

Table 3. Peat deposits being mined by agricultural farms and enterprises in the peat industry

Освоение торфяных месторождений	Количество торфяных месторождений	Процент от общего числа разрабатываемых месторождений, %	Площадь в нулевой границе, га	Доля общей площади разрабатываемых торфяных месторождений, %
Сельское хозяйство, спиртзаводы, торфоартели и др.	282	80,1	48 692,2	26,9
Торфяные предприятия	62	17,6	128 102	70,8
Осушенные	8	2,3	4 157	2,3
Всего	352	100	180 951,2	100

Промышленные торфяные предприятия организовывались в основном на крупных сырьевых базах. Число ранее разрабатываемых промышленностью торфяных месторождений (нераспределенный фонд) и в настоящее время разрабатываемых объектов (распределенный фонд) составляет 62 при общей площади 128 102 га, что составляет 70,8 % от их общей площади (таблица 3).

Распределение разрабатываемых торфяных месторождений по размерам приведено в таблице 4.

Таким образом, по размерам преобладают небольшие по площади торфяные месторождения. На долю объектов с площадью в нулевых границах до 100 га приходится 55,0 % всех разрабатываемых торфяных болот. В то время как удельный вес 37 крупных месторождений площадью более 1000 га составляет 72,7 % или в абсолютных величинах – 131 511 гектаров.

Таблица 4. Распределение разрабатываемых торфяных месторождений по размерам
Table 4. Distribution of developing peat deposits by size

Площадь F_0 , га	Количество разрабатываемых месторождений	Доля от числа всех разрабатываемых месторождений, %	Общая площадь, га	Доля от всей площади разрабатываемых месторождений, %
≤ 10 га	22	6,3	139,8	0,08
11...100	171	48,7	7 736,4	4,28
101...200	45	12,7	6 776	3,74
201...500	52	14,7	16 619	9,18
501...1000	25	7,1	18 169	10,04
1001...5000	32	9,1	73 273	40,49
> 5000	5	1,4	58 238	32,18
Всего	352	100	180 951,2	100

Характерно, что потенциально пожароопасными ранее разрабатываемыми торфяными месторождениями является 141 объект с площадью в границах нулевой залежи более 100 га [22, 23]. Потенциальную опасность в пожарном отношении представляют ранее разрабатываемые (нераспределенный фонд) и эксплуатируемые в пределах горных отводов месторождения, на которых осуществляется (или осуществлялась) добыча торфа предприятиями промышленными способами. На таких месторождениях сохранилась удовлетворительно функционирующая осушительная сеть, а также технологические площадки с картами для добычи торфа. Такие месторождения хорошо дешифрируются по аэро- и космическим снимкам (рис. 8). В число пожароопасных торфяных месторождений включены также месторождения площадью в нулевой границе более 100 га, разрабатываемые сельским хозяйством, спиртзаводами и другими местными организациями.



Рис. 8. Фото космического снимка части ранее разрабатываемого торфяного месторождения «Оршинский мох» Тверской области (слева) и аэроснимка выделенного элемента (справа) технологической площадки (фото К.Л. Шахматова)

Fig. 8. A satellite image of part of the previously developed “Orshinsky moss” peat deposit in the Tver Region (left) and an aerial photograph of a selected area (right) of the processing site (photo by K.L. Shakhmatov)

Применение малотоннажных технологий с использованием экскаваторного способа добычи торфа перспективно практически в любом регионе нашей страны. В качестве примера на рисунке 9 показано размещение пяти обособленных разрозненных мелкозалежных участков небольших по площади со сложной конфигурацией с промышленными запасами торфа на месторождении «Варегово» Ярославской области (таблица 5). По данным предварительной разведки 1984-1986 гг. площадь торфяного месторождения «Варегово» в нулевой границе составляла 5 078 га, в промышленной границе по глубине 0,8 м с очесом – 3 754 га. По состоянию на 01.01. 2025 г оставшаяся площадь составляет 281,7 га с промышленными запасами 787 тыс. т.

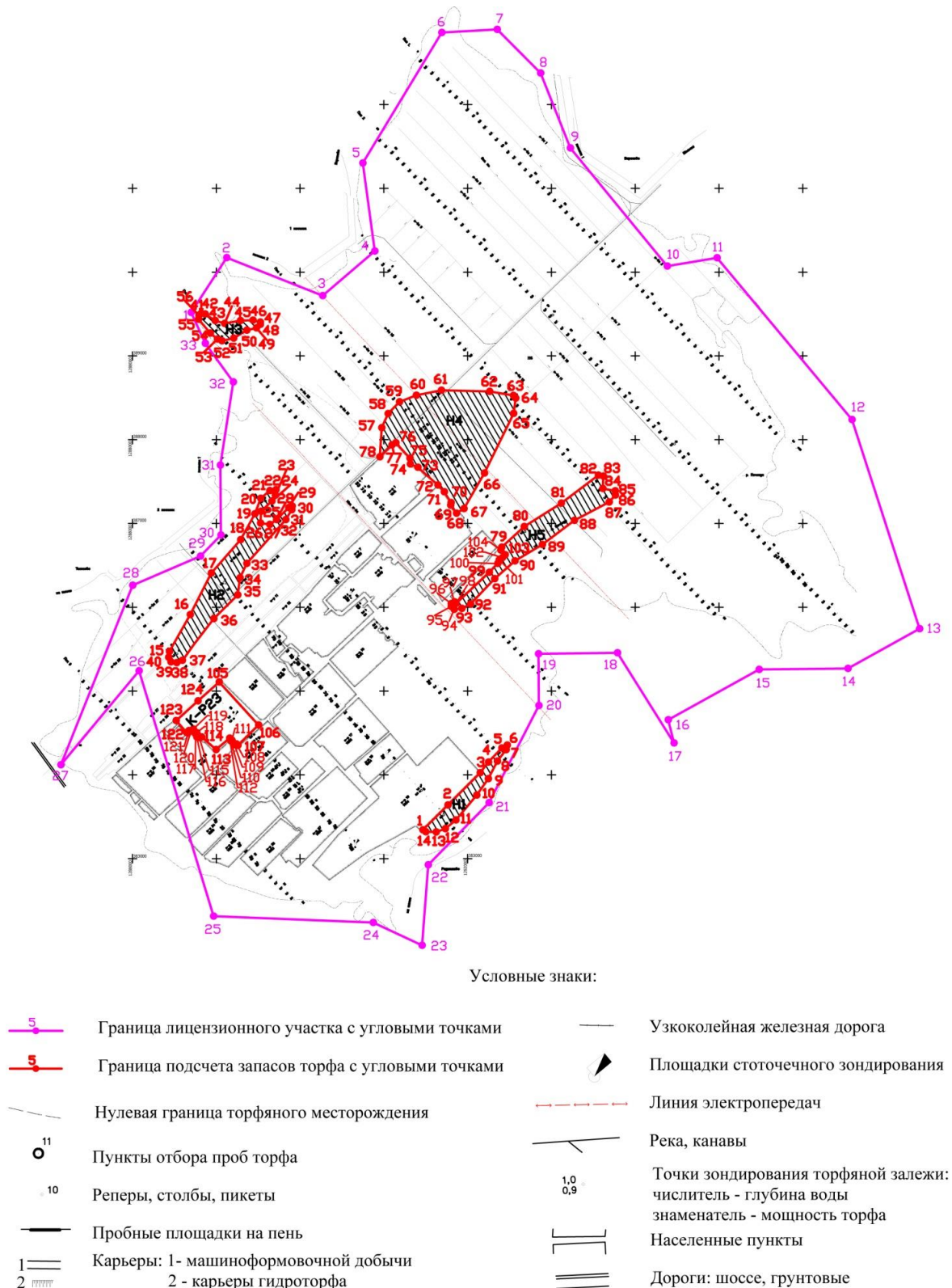


Рис. 9. Схема расположения пяти обособленных участков с промышленными запасами на ранее разрабатываемом месторождении «Варегово» Ярославской области (заштрихованы участки в границах промышленной залежи торфа с угловыми точками)

Fig. 9. Map showing the location of five separate sites with commercial reserves at the previously developed "Varegovo" deposit in the Yaroslavl Region (the sites within the boundaries of the commercial peat deposit, marked by corner points, are shaded)



Оставшиеся участки имеют небольшие глубины торфа, представленного низинным типом, с пониженной влажностью и комковатой структурой. Это обуславливает эффективную досушку торфа, извлекаемого экскаваторным способом.

Таблица 5. Площади и средние глубины торфяной залежи обособленных участков на торфяном месторождении Варегово

Table 5. Areas and average depths of the peat deposit in separate areas at the Varegovo peat deposit

Обособленный участок (в соответствии с рис. 9)	Площадь в границе промышленной глубины торфяной залежи, га	Средняя глубина торфяной залежи, м	Оставшиеся балансовые запасы при влажности 40 %, тыс. т
Н1	18,9	1,67	73,0
Н2	60,2	1,04	151,0
Н3	11,4	1,60	48,0
Н4	140,2	1,24	392,0
Н5	51,0	1,05	123,0
ИТОГО	281,7	1,32	787

Таким образом, следует сделать вывод о том, что в РФ имеется значительное количество торфяных месторождений, на которых возможно и целесообразно использование малотоннажной всесезонной технологии добычи торфа с его извлечением глубинным экскаваторным способом и досушкой на технологической площадке.

Всесезонная малотоннажная технология добычи торфа с досушкой на технологической площадке

При анализе отмеченных выше факторов, рядом исследователей [25-28] была обоснована целесообразность применения экскаваторного способа добычи с извлечением полезного ископаемого на всю глубину его залегания. Предлагаемая в настоящей работе технология является логическим продолжением этих исследований. Кроме своей основной функции, экскаваторный способ позволяет обеспечить перемешивание различных слоев торфа и усреднение его по физико-химическим характеристикам (получение однородной массы). Производство готовой продукции – торфяной крошки – осуществляется на технологической площадке с поверхности формируемого отвала. Размещение технологической площадки рекомендуется на суходолах или в зонах окраек торфяного месторождения, а также на выработанных площадях добычи.

Технологический процесс разделен на два независимых этапа. Первый этап – добыча торфяного сырья эксплуатационной влажности ($w_s \approx 84...88\%$)⁴ – включает в себя следующие технологические операции.

- 1) Экскавация торфомассы на всю глубину залежи механической лопатой с одновременной ее погрузкой в саморазгружающийся тракторный прицеп.
- 2) Транспортировка торфяной массы на специально подготовленную технологическую площадку для гравитационного обезвоживания, зимнего промораживания и сушки.
- 3) Сепарация торфомассы с отделением древесных включений (пней).
- 4) Придание навалу торфа правильной трапециевидной формы (формирование отвала).
- 5) Гравитационное обезвоживание торфомассы в летне-осенний период и промораживание зимой, позволяющие в комплексе добиться снижения влажности до 75...80 %⁵.

На следующий сезон наступает второй этап – получение торфяной крошки с влажностью 50...60 % послойно-поверхностным способом с верхней части и откосов трапециевидного отвала. На этом этапе реализуется метод цикличности технологических операций

⁴ При таких значениях влажности содержание воды составляет 5,25...7,3 кг на один килограмм сухого вещества торфа.

⁵ 3...4 кг воды на один килограмм сухого вещества торфа.



принципиально напоминающий фрезерный способ, но реализуемых на ограниченных площадях широко применяемой в сельском хозяйстве техникой.

1) Рыхление поверхностного слоя дисковыми боронами, культиваторами или их аналогами на глубину 20...40 мм.

2) Ворошение разрыхлённого слоя (при необходимости) с использованием тех же механизмов.

3) Уборка высохшего слоя торфа скрепер-бульдозером или ковшовым фронтальным погрузчиком, с формированием двух штабелей треугольного (или, при необходимости, трапециевидного) сечения. Они располагаются параллельно отвалу с двух его длинных сторон.

Отгрузка готовой продукции из штабелей в транспортное средство осуществляется также фронтальным погрузчиком или экскаватором.

Извлечение торфа из залежи осуществляется одноковшовым экскаватором болотной модификации (МТП-71А или его аналогом). Лучшие сроки работы экскаватора наступают после освобождения площадки формирования отвала торфа (сентябрь) и заканчиваются при промерзании торфяной залежи на глубину более 10 см [25]. Длительность оптимальных сроков работы экскаватора составляет 110...140 дней.

Если рассматривать реализацию способа на ранее эксплуатируемых производственных площадях фрезерного торфа, то экскаватор начинает работу от подштабельной полосы, перемещаясь параллельно картовому каналу (рис. 10). При этом он извлекает торфяную массу на всю глубину залежи с формированием карьера шириной 7 м⁶. Принятая ширина карьера, разрабатываемого экскаватором за один проход, кроме технической характеристики, обусловлена еще тем, что радиус выгрузки экскаватора должен быть больше расстояния от оси забоя до середины кузова тракторной тележки. Необходимо также учитывать двухметровую полосу безопасности и возможность работы, в том случае, когда экскаватор находится с одной стороны картового канала, а средство для транспортировки – с другой (например, при осуществлении третьего прохода по карте на месторождении верхового типа или шестого прохода – на низинном месторождении) [25].

Извлекаемая из карьера торфомасса грузится в тракторные саморазгружающиеся прицепы (типа МТП-24Б или аналоги) и транспортируется на технологическую суходольную (или специально подготовленную на торфяной залежи) площадку (рис. 10). По мере сработки слоя торфа на расстоянии между валовыми каналами экскаватор перемещается в новый забой и формирует карьер параллельно существующему.

Перед формированием отвала торфяной массы трапециевидного сечения необходимо отделить древесину погребенных в залежи пней. Эта технологическая операция является обязательной, поскольку засоренность торфяной крошки древесными включениями регламентируется. Кроме того, наличие пней значительно усложняет выполнение ряда последующих технологических операций. Отделение древесины от торфомассы осуществляется колесным погрузчиком (рис. 11), или экскаватором, оборудованными ковшовой просеивающей дробилкой. Сепарация торфяной массы производится с отделением пней, одновременной его погрузкой в тракторный прицеп и последующей вывозкой на склад (рис. 12).

Полная схема работы машин при формировании навала торфа на технологической площадке представлена на рисунке 12. По данной технологии постепенно заполняется вся площадка, и добытый годовой объём торфяной массы укладывается в виде неокончательно сформированного отвала высотой 2...2,5 м (окончательное формирование отвала с приданием правильной трапециевидной формы осуществляется на втором этапе реализации технологии). Эта технологическая операция осуществляется бульдозером на базе трактора болотной модификации (с уширенными гусеницами) [25]. Размеры отвала торфа должны обеспечивать нормальную работу технологического оборудования при добыче торфяной крошки кондиционной влаги, а площадь его поверхности – достаточной для выполнения годовой программы производства.

⁶ Такая ширина карьера принята исходя из технической характеристики экскаватора МТП-71А. При использовании его аналогов ширина будет изменяться, не влияя на принципиальную схему работы добычного оборудования.



Годовой объём торфяного сырья в отвале $V_{\text{отв}}$ определяется по формуле: $V_{\text{отв}} = V_{\text{доб}} - V_{\text{пн}}$, где: $V_{\text{доб}}, V_{\text{пн}}$ – объёмы добытого сырья и извлекаемых пней, м^3 .

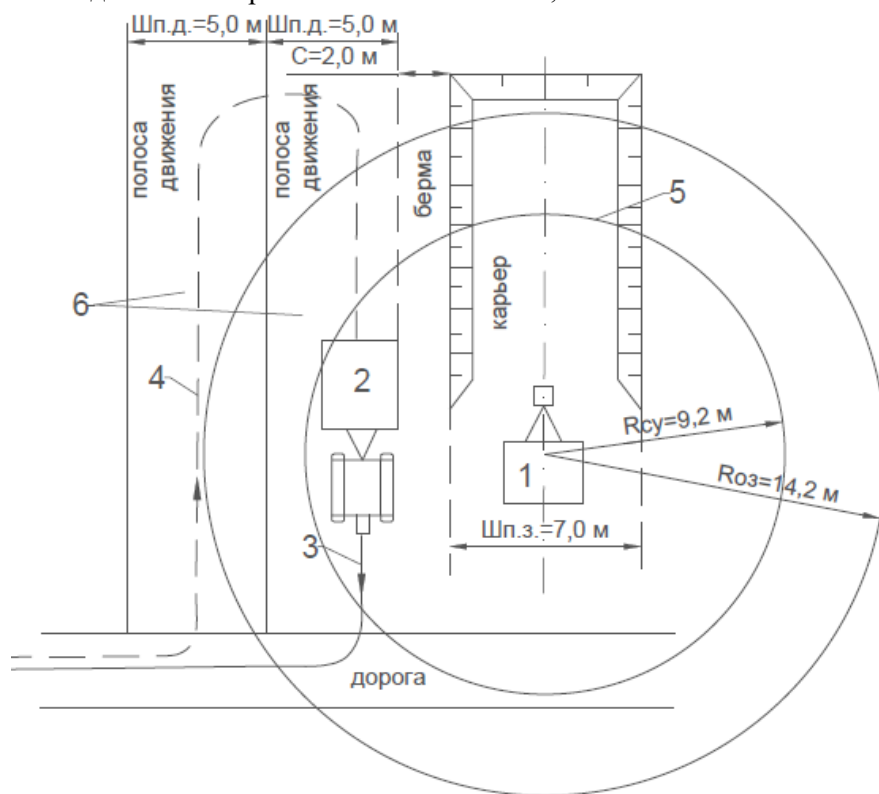


Рис. 10. Схема добычи и транспортировки сырья в карьере: 1 – экскаватор; 2 – тракторная тележка типа МПТ-24Б; 3 – ход грузовой тракторной тележки; 4 – ход порожней тракторной тележки; 5 – карьер после выемки сырья; 6 – полосы движения оборудования; С – ширина бермы; Ш_{п.д.} – ширина полосы движения; Ш_{п.з.} – ширина полосы забоя; R_{сy} – наибольший радиус копания (выемки) экскаватора; R_{оз} – величина защитной зоны вокруг работы экскаватора

Fig. 10. Diagram of raw material extraction and transportation in a quarry: 1 – excavator; 2 – MPT-24B-type tractor trailer; 3 – route of a loaded tractor trailer; 4 – route of an empty tractor trailer; 5 – quarry after raw material extraction; 6 – equipment travel lanes; C – berm width; W_{tr} – travel lane width; W_{face} – face lane width; R_{max} – maximum digging (excavation) radius of the excavator; R_{sz} – size of the safety zone around the excavator's working area



Рис. 11. Колесный погрузчик, оборудованный одним из вариантов ковшовой просеивающей дробилки

Fig. 11. Wheel loader equipped with one of the bucket-type screening crusher models

Исходные данные для расчета площади трапецидального поперечного сечения $S_{\text{ср}}$ отвала при его формировании (рис. 13), обеспечивающие полную сработку отвала и работу оборудования по рыхлению, ворошению и уборке торфяной крошки: ширина по верху отвала $a = 40$ м; коэффициент заложения откосов $m = 5$; глубина рыхления за один цикл $h_p = 0,035$ м; число циклов за сезон $n_{\text{ц}} = 30$; коэффициент уплотнения вследствие промораживания, работы оборудования и усадки $K_y = 2$.

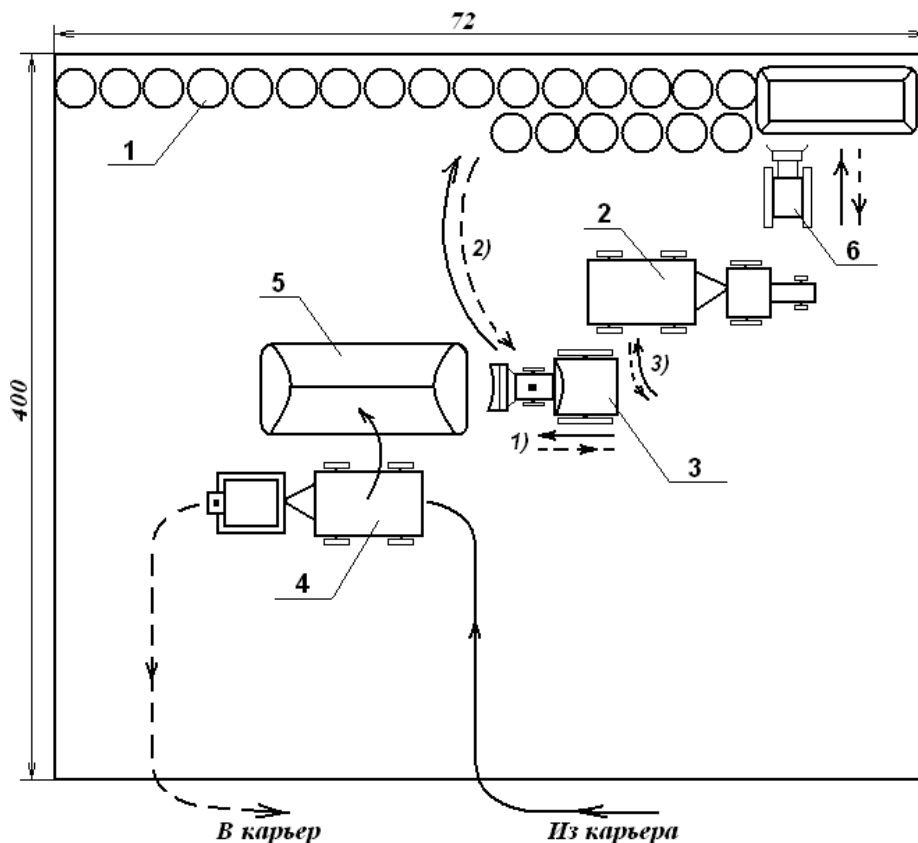


Рис. 12. Схема работы машин при формировании отвала торфа-сырца на суходольной площадке: 1 – навал отсепарированного торфа; 2 – саморазгружающийся прицеп с пнем; 3 – тракторный погрузчик с ковшевой дробилкой-просеивателем; 4 – саморазгружающийся прицеп с торфяной массой; 5 – исходный навал торфяной массы; 6 – бульдозер (стрелками показано направление перемещения технологического оборудования)

Fig. 12. Diagram of machine operations during the formation of a raw peat pile on a dry-land site: 1 – pile of separated peat; 2 – self-unloading trailer with a stump; 3 – tractor loader with a bucket crusher-screener; 4 – self-unloading trailer with peat mass; 5 – initial pile of peat mass; 6 – bulldozer (arrows indicate the direction of movement of the equipment)

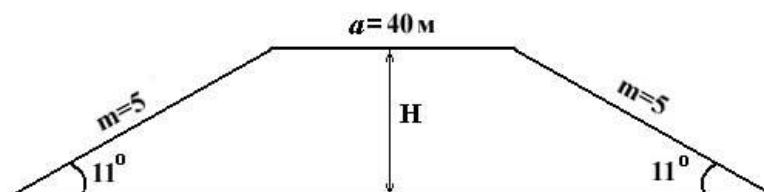


Рис. 13. Поперечное сечение отвала
Fig. 13. Cross-section of the dump body



Допустимая высота отвала H , должна обеспечить полную его сработку в течение сезона: $H = h_p \cdot n_{\text{ц}} K_y = 0,035 \cdot 30 \cdot 2 = 2,1$ м. При такой высоте ширина основания отвала b составит: $b = a + 2 \cdot m \cdot H = 40 + 2 \cdot 5 \cdot 2,1 = 61$ м.

Площадь трапециевидного поперечного сечения $S_{\text{ср}}$ отвала при его формировании: $S_{\text{ср}} = (a + b) \cdot H / 2 = (40 + 61) \cdot 2,1 / 2 = 106,1$ м², а его длина в среднем сечении будет зависеть от объема торфяного сырья в отвале и определится как $L_{\text{ср}} = V_{\text{отв}} / S_{\text{ср}}$.

В зависимости от размеров земельного отвода для размещения технологической площадки и годовой программы производства торфа возможно формирование не одного длинного штабеля, а двух более коротких. Угол откоса 11° позволяет обеспечивать нормальную работу торфодобывающей техники. Режим ее работы принимается согласно нормам технологического проектирования [29]. В Тверской области производство торфяной крошки на отвале проводится с 11 мая по 09 сентября.

После формирования производится обезвоживание отвала торфомассы методами гравитации (естественная фильтрация), испарения и зимнего промораживания. Теоретическое и экспериментальное обоснование влияния промерзания торфомассы на состав воды и ее миграцию рассмотрены в работах И.И. Лиштвана, Н.И. Гамаюнова, Н.М. Пузырева и других ученых [30-35]. При проведении опытно-промышленных исследований в производственных условиях (торфяное месторождение низинного типа «Карабановское», Тверская область) было установлено, что выполнение этих операций позволяет снизить среднее содержание влаги по отвалу с 87,8 % до 80 % (таблица 6). Причем на более осушенных участках средняя влага торфа после промораживания может снижаться в отвале до 75 %, а верхнего разрыхляемого слоя обезвоженного отвала до 70 % и менее.

Таблица 6. Значения общетехнических свойств торфяной залежи и торфа в отвале на технологической площадке после проведения операций по обезвоживанию

Table 6. Values of general technical properties of the peat deposit and the peat in the stockpile at the processing site following dewatering operations

Глубина отбора проб, м	Исходные качественные характеристики торфа в залежи				Конечная влажность торфомассы после проведения операций по обезвоживанию в отвале (высотой 1,25 м) w , %
	степень разложения (R_T), %	зольность, (A^c), %	относительная влажность (w), %	кислотность, pH_{KCl}	
0,25	40	14,5	88,1	5,8	78,2
0,50	40	13,6	86,7	5,9	80,1
0,75	40	11,6	88,0	5,9	80,3
1,00	45	10,6	87,5	6,0	80,5
1,25	45	10,6	88,7	6,1	81,0
1,50	40	12,4	86,2	6,2	-
1,75	40	10,6	87,6	6,1	-
2,00	30	7,0	89,6	6,0	-
Средние	40	1,4	87,8	6,0	80,0

Весной после оттаивания реализуется второй этап, в начале которого отвалу придается близкая к правильной, трапециевидная форма с помощью бульдозера. Технологическую площадку целесообразно размещать на суходольной территории. Но, чаще всего⁷, она размещается между нулевой и промышленной границами торфяного месторождения или на выработанных производственных площадях.

⁷Ранее разрабатываемые торфяные месторождения, как правило, располагаются преимущественно на землях лесного фонда. Поэтому необходимо заключать договор аренды лесного участка для разведки и добычи полезных ископаемых за границами лицензионного участка, предоставленного недропользователю, а в реальных условиях это проблематично.

На технологической площадке размещаются (рис. 14):

- отвал торфяного сырья трапецевидного сечения, с поверхности которого осуществляется добыча торфа кондиционной влаги;
- два штабеля готовой продукции;
- склад древесины пней;
- полевая производственная база;
- грунтовые дороги шириной проезжей части 10 м вдоль склада пней и полевой базы, шириной 6 м между отвалом торфа и штабелями готовой продукции и вдоль штабеля торфа.

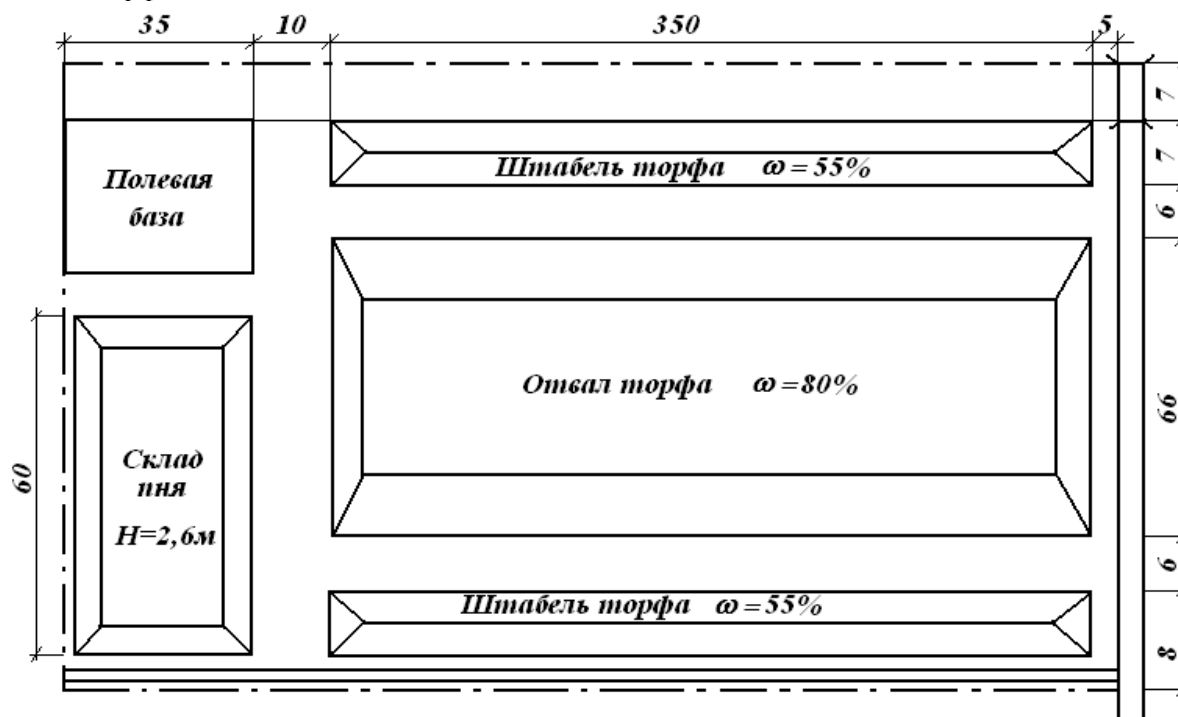


Рис. 14. Технологическая площадка площадью 4 га (т/м «Мотиловское», Тверская обл.)

Fig. 14. A 4-hectare industrial site (Motilovskoye peat deposit, Tver Region)

Рыхление (фрезерование) поверхности отвала торфа выполняется (кроме традиционных фрезерабанов) тяжелыми дисковыми боронами (например, БТД-2,2; БТД-2,5А), дисковыми луцильниками (ЛДГ-5; ЛДГ-10), зубовыми боронами, а также различными видами культиваторов. Из перечисленных механизмов на рыхлении и последующем ворошении наиболее приемлемым является дисковый луцильник типа ЛДГ-5. Рабочие органы – диски с вогнутой поверхностью в процессе поступательного движения тракторного агрегата подрезают тонкий торфяной пласт, поднимают его в вертикальной плоскости диска до верхней кромки, немного перемещают вперед и отбрасывают образующуюся крошку в сторону. Оптимальная скорость передвижения трактора должна находиться в пределах 2,22...2,78 м/с. Угол атаки (угол между направлением движения и осью батареи дисков) устанавливается в диапазоне от 25 до 35°. В этих условиях глубина рыхления торфа находится в пределах 3...4 см при коэффициенте разрыхления 1,57-1,65 [36]. Направление движения оборудования на рыхлении и ворошении осуществляется поперек отвала торфа.

Сбор торфяной крошки в штабель выполняется скрепер-бульдозером. При сборе слоя торфяной крошки толщиной 3...4 см отвал стандартных бульдозеров заполняется при длине прямого хода 15...20 м. В данной технологии рекомендуется использование скрепер-бульдозера типа СБТ-3 (или аналога, например БШР-1), который представляет собой навесное оборудование на гусеничный трактор с уширенными гусеницами (болотная модификация). То есть он состоит из стандартного бульдозера и двух дополнительных неподвижной и подвижной секций к его



отвалу, образующих ковш объемом $4,6 \text{ м}^3$ (рис. 15). В этом случае длина прямого хода увеличивается до 35 м.

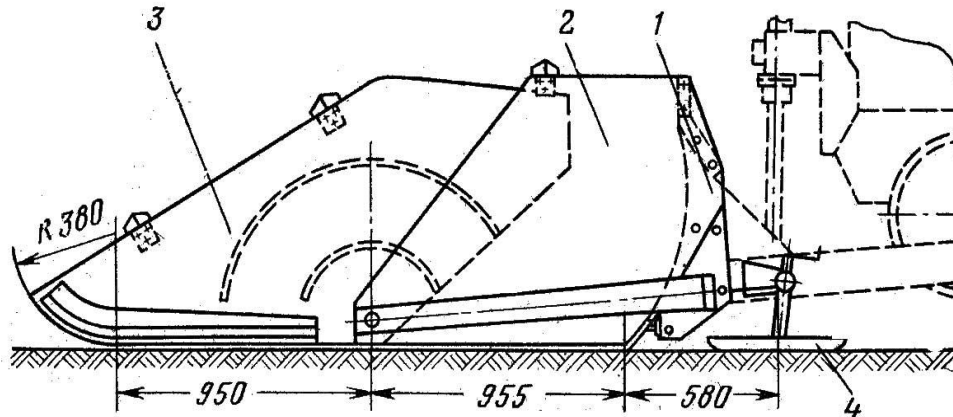


Рис. 15. Схема скрепер-бульдозера СБТ-3: 1 – отвал бульдозера; 2 – неподвижная секция; 3 – подвижная секция; 4 – опорная лыжа

Fig. 15. Schematic diagram of the SBT-3 scraper-bulldozer: 1 – bulldozer blade; 2 – fixed section; 3 – movable section; 4 – support foot

Торф с поверхности отвала убирается бульдозером на две стороны в штабеля, располагаемые параллельно отвалу. Масса торфа при влаге 55 % в каждом из штабелей ($P_{1,2}$) составляет $P_1 = P_2 = \frac{P_c}{2}$, где P_c – сезонная программа производства. Объем торфа в каждом штабеле соответственно ($V_{1,2}$) определится как $V_1 = V_2 = \frac{P_{1,2}}{\gamma_{шт}}$, где $\gamma_{шт}$ – плотность торфа в штабеле, принимаемая по справочным данным [8-11] с учетом коэффициента уплотнения.

Площадь поперечного сечения штабеля $S_{шт} = \frac{V_{1,2}}{K_{выв} \cdot L_{шт}}$, где: $L_{шт}$ – длина штабеля, принимаемая равной длине отвала $L_{ср}$; $K_{выв}$ – коэффициент, учитывающий вывозку торфа в летний период.

Штабель имеет треугольное сечение, но в отличие от традиционных штабелей складирования торфа на подштабельных полосах технологической площадки – это неправильный треугольник (рис. 16).



Рис. 16. Схема поперечного сечения штабеля торфа

Fig. 16. Cross-sectional diagram of a peat stack

Угол естественного откоса для фрезерного торфа 40° ($38...42^\circ$) или коэффициент заложения откоса $m_1 = 1,2$. Угол со стороны въезда скрепер-бульдозера при штабелировании принимается равным 22° или $m_2 = 2,5$. Тогда площадь поперечного сечения штабеля (неправильный треугольник) будет равна

$$S_{шт} = \frac{1}{2} h \cdot (m_1 \cdot h + m_2 \cdot h).$$

$$\text{Высота штабеля: } h = \sqrt{\frac{S_{шт}}{0,5(m_1 + m_2)}}.$$

$$\text{Ширина штабеля по основанию } b = m_1 \cdot h + m_2 \cdot h.$$

Работа скрепер-бульдозера включает сбор торфяной крошки с половины поверхности отвала, перемещение её до штабеля, распределение собранного торфа по поверхности штабеля и

возвращение в исходное положение задним ходом для сбора торфа со следующей полосы (рис. 17).

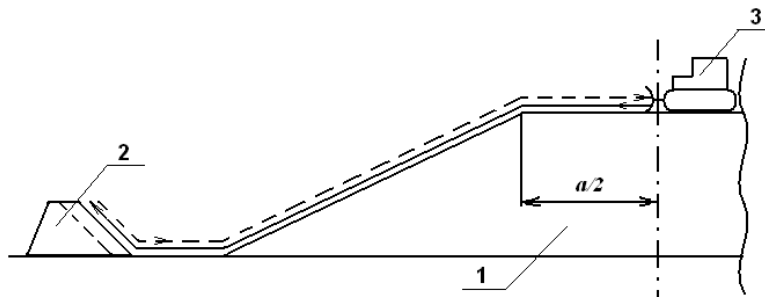


Рис. 17. Схема работы скрепер-бульдозера: 1 – отвал торфяной массы; 2 – формируемый штабель торфа; 3 – бульдозер; $a/2$ – половина ширины отвала поверху

Fig. 17. Diagram of a scraper-bulldozer in operation: 1 – peat mass pile; 2 – peat stack being formed; 3 – bulldozer; $a/2$ – half the width of the pile at the top

Особенностью добычи торфа с гребня и откосов отвала является то, что в процессе его формирования торф уплотняется за счёт многократного прохода бульдозера, а также усадки за осенне-зимний период хранения и обезвоживания. Это положительным образом сказывается на величине цикловых и сезонных сборов торфа.

Цикловой сбор торфа (т/га) при бульдозерном способе добычи торфа определяется по формуле

$$q_{\text{ц}} = \frac{10 \cdot h_p \cdot \rho \cdot (100 - \omega_n) \cdot \alpha}{100 - \omega_y},$$

где h_p – глубина рыхления торфа при бульдозерном способе добычи 0,03...0,035 м [36]; ρ – плотность разрыхляемого слоя, кг/м³; ω_n – начальная (эксплуатационная) влага (относительная влажность) разрыхляемого слоя (68...70 %); ω_y – условная влага готовой продукции для торфа сельскохозяйственного назначения равная 55 % [8-11]; α – коэффициент циклового сбора торфа, учитывающий потери крошки при уборке (принимается равным 0,8).

Величина эксплуатационной влажности ω_n рассчитывается по эксплуатационному влагосодержанию W_n

$$\omega_n = \frac{W_n}{W_n + 1} \cdot 100\%,$$

которое определяется с учётом результатов исследований потенциала влаги, выполняемых во ВНИИТП [37] по формуле $W_n = 2,3 \cdot \alpha_3 \cdot \lg \frac{\theta_0}{H_{\text{гп}}}$, где α_3 – коэффициент, зависящий от полной влагоёмкости торфа ($\alpha_3 = 0,14 W_n$); θ_0 – характеризует собой высоту смачивания слоя торфа (характеристика гидрофильности сухого вещества торфа [38]), м; $H_{\text{гп}}$ – расстояние от поверхности до уровня грунтовых вод (принимается 2 м с учётом высоты отвала и размещения его на хорошо дренируемой поверхности).

Полная влагоёмкость в лабораторных условиях определяется по стандартной методике [39, 40]. С достаточной для технологических расчетов точностью полную влагоёмкость торфа можно рассчитать по формуле:

$$W_n = \frac{\rho_c - \gamma_c}{\rho_c \cdot \gamma_c} \cdot 100,$$

где ρ_c – плотность сухого вещества торфа, принимается равным 1500 кг/м³ [40]; γ_c – плотность сухого вещества торфа в объеме влажного материала («плотность скелета» торфа [39, 41])

$$\gamma_c = \frac{\gamma_i \cdot (100 - \omega_i)}{100},$$



где ω_i – средняя влага торфа в уплотненном отвале; γ_i – плотность торфа при текущих значениях влажности (определяется по справочным данным [8] или экспериментально).

Значения эксплуатационной влажности разрыхляемого слоя для рассматриваемых в статье условий составляют 68...70 %.

Сезонный сбор воздушно-сухого торфа (т/га) определяется по формуле:

$$q_c = q_n \cdot n_n \cdot K,$$

где n_n – нормативное количество циклов за сезон; K – коэффициент увеличения сезонного сбора на профилированной поверхности при механической уборке ($K = 1,1$) [29].

Сроки проведения технологических операций приведены в таблице 7.

Таблица 7. Сроки проведения операций и механизация малотоннажной всесезонной технологии производства торфяной крошки

Table 7. Timing of operations and mechanization of the small-scale, all-season peat crumb production technology

Технологические операции	Период работы	Механизмы и оборудование
1. Операции в карьере		
1.1. экскавация торфа-сырца с погрузкой в прицепы	сентябрь – декабрь	одноковшовые экскаваторы типа МТП-71А
1.2. транспортирование торфа-сырца на технологическую площадку	сентябрь – декабрь	гусеничные трактора в болотной модификации с саморазгружающимися прицепами ЗПТС-9 или МТП-24Б.
2. Технологическая площадка, внесезонные операции		
2.1. сепарация пней на технологической площадке	сентябрь – декабрь	колесный погрузчик, оборудованный ковшовой просеивающей дробилкой
2.2. погрузка и вывоз пней на склад	сентябрь – декабрь	погрузчик и трактор с прицепом
2.3. формирование отвала отсепарированного торфа на технологической площадке	сентябрь – декабрь	бульдозер
2.4. обезвоживание торфа в отвале за счет промораживания, естественной фильтрации	январь – апрель	
3. Производство торфяной крошки на технологической площадке с поверхности отвала обезвоженного торфа – сезонные операции		
3.1. рыхление поверхностного слоя с использованием сельскохозяйственной техники	май – сентябрь	луцильники, дисковые бороны, культиваторы
3.2. ворошение разрыхлённого слоя с использованием этих же механизмов	май – сентябрь	луцильники, дисковые бороны, культиваторы
3.3. уборка высохшего слоя торфа бульдозером с формированием штабелей готовой продукции треугольного (трапециoidalного) сечения, располагаемых с двух сторон отвала торфяного сырья параллельно его длинной стороне	май – сентябрь	скрепер-бульдозер
3.4. отгрузка торфяной продукции потребителю осуществляется из штабелей готовой продукции с использованием фронтальных тракторных погрузчиков	май – сентябрь	фронтальный тракторный погрузчик

Сравнительный анализ существующей технологии производства фрезерного торфа и технологии, рассматриваемой в статье, приведен в таблице 8. Здесь отражены не только особенности технологического процесса, но и операции по подготовке торфяного месторождения к эксплуатации и ремонту производственных площадей. Расчеты по



обоснованию глубины рыхления торфа при полевой сушке на поверхности отвала торфа приведены в таблице 9.

Таблица 8. Сравнение существующей и разрабатываемой технологий производства фрезерного торфа

Table 8. Comparison of existing and proposed technologies for the production of milled peat

Технологические операции, показатели	Фрезерный поверхностно-послойный способ	Технология всесезонной малотоннажной добычи торфа
Болотно-подготовительные работы		
осушение торфяной залежи	строительство осушительной сети на неосушенной торфяной залежи	углубление и прочистка осушительной сети на ранее разрабатываемых площадях
сводка древесной растительности	в полном объеме	частично на заросших площадях
удаление открытых пней после сводки древесной растительности	требуется	не требуется
удаление очеса	требуется	требуется при наличии очеса
глубокое фрезерование или сплошное корчевание торфяной залежи	требуется	не требуется
профилирование поверхности	требуется	не требуется
Добычные работы, производство торфяной крошки		
фрезерование залежи	требуется	не требуется на торфяных полях, рыхление поверхности отвала на технологической площадке
ворошение	требуется	рыхление на технологической площадке
валкование	требуется при механическом способе сбора торфа	не требуется
уборка торфяной крошки	требуется на торфяных полях специальными машинами	с поверхности отвала на технологической площадке бульдозером
штабелирование торфяной крошки	требуется специальной штабелирующей машиной в штабели до 8 м высотой	требуется бульдозером
Технологические показатели		
режим работы	с 15 мая по 9 сентября для областей центра России	круглогодично
глубина фрезерования	до 20 мм при производстве торфа при влаге 55 %	30...40 мм при уборке бульдозером с поверхности отвала на технологической площадке
влажность эксплуатационного слоя	79 % на третий год осушения на верховой залежи, 75 % на низинной	Влага отвала торфа 75-80% на технологической площадке после промораживания, оттаивания, уплотнения торфа тяжелой техникой при формировании отвала Эксплуатационная влажность после промораживания, уплотнения и усадки по расчету (65...70 %).
число циклов за сезон (Тверская область)	26 при производстве торфяной крошки при влаге 55 %	30 при производстве торфяной крошки при 55 % влажности



коэффициент циклового сбора	0,45...0,7 на 3 год эксплуатации месторождения в зависимости от пнистости	0,8
Сезонный сбор	600...1000 т/га в зависимости от свойств торфяной залежи	до 5000 т/га

Таблица 9. Обоснование глубины рыхления торфа при полевой сушке на поверхности отвала
Table 9. Justification for the depth of peat loosening during field drying on the surface of the pile

Фрезерный поверхностно-послойный способ	Технология всесезонной малотоннажной добычи торфа
1. глубина фрезерования $h_{\phi} = 0,016$ м [29, табл. 10]	1. глубина фрезерования $h_{\phi} = 0,03$ м
2. условная влага $\omega_y = 55$ % [29, табл. 10]	2. условная влага $\omega_y = 55$ %
3. естественная влага – $\omega_e = 79$ %, залежь верхового типа, 3 год эксплуатации [29, табл. 11]	3. естественная влага – $\omega_e = 65$ %;
4. плотность верховой торфяной залежи при $\omega_e = 79$ % и степени разложения 30 % $\gamma_e = 734$ кг/м [8-10, табл. С.А. Сидякина]	4. плотность уплотненного слоя на отвале $\gamma_y = 900$ кг/м ³
расчеты	
5. объем фрезеруемого слоя торфа на поверхности сушки $F = 1$ м ² – $V = h_{\phi} \times F = 0,016 \times 1 = 0,016$ м ³	5. объем фрезеруемого слоя торфа на поверхности сушки $F = 1$ м ² – $V = h_{\phi} \times F = 0,03 \times 1 = 0,03$ м ³
6. масса торфа в слое фрезерования до сушки $m_1 = V \times \gamma_e = 0,016 \times 734 = 11,7$ кг	6. масса торфа в слое фрезерования $m_1 = V \times \gamma_e = 0,03 \times 900 = 27$ кг
7. масса торфа в слое фрезерования после сушки до $\omega_y = 55$ % $m_2 = \frac{m_1 \cdot (100 - \omega_e)}{100 - \omega_y} = \frac{11,7 \cdot (100 - 79)}{100 - 55} = 5,5$ кг	7. масса торфа в слое фрезерования после сушки до $\omega_y = 55$ % $m_2 = \frac{m_1 \cdot (100 - \omega_e)}{100 - \omega_y} = \frac{27 \cdot (100 - 65)}{100 - 55} = 21$ кг
8. масса удаляемой влаги с 1 м ² площади сушки при глубине фрезерования 0,016 м составит: $m_v = 11,7 - 5,5 = 6,2$ кг	8. масса удаляемой влаги с 1 м ² площади сушки при глубине фрезерования 0,03 м составит: $m_v = 27,0 - 21,0 = 6,0$ кг

Таким образом, расчетом подтверждается, что при глубине рыхления 30 мм по технологии всесезонной малотоннажной добычи торфа (в результате снижения эксплуатационной влаги), массы удаляемой воды с одного квадратного метра площади при полевой сушке в стандартном фрезерном и разрабатываемом способах сопоставимы – около 6 килограммов.

Нормативное количество циклов в сезоне для климатических условий Тверской области изменяется от 26 при двухдневном цикле с механической уборкой (эксплуатационная влага – $w_s = 79$ %) до 46 при однодневном цикле с пневматическим способом уборки [8, 11, 29], а в связи с тем, что эксплуатационная влага при добыче торфа с поверхности отвала составляет 65...70 %, количество циклов в сезоне увеличивается до 30 и более. В результате этого сезонные сборы с поверхности отвалов могут достигать 5 тыс. тонн (таблица 8) с гектара, что примерно в 5 раз больше, чем при использовании традиционной технологии при прочих равных условиях.

Выводы

Сырьевой базой предлагаемой всесезонной технологии добычи торфа экскаваторным способом с досушкой на технологической площадке являются ранее разрабатываемые торфяные месторождения, как правило, с небольшими площадями сложной конфигурации.

Разрабатываемая технология имеет ряд преимуществ перед традиционным фрезерным способом: всесезонность; уменьшение площадей, используемых для добычи; улучшение качества продукции за счет перемешивания слоев торфа, экскавируемых из залежи. Зимнее промораживание и оттаивание в отвале на технологической площадке повышают естественную



фильтрацию влаги, позволяя к началу летнего сезона достигать влажности в отвале 75...80 %, а эксплуатационной влажности верхнего разрыхляемого слоя 70 % и ниже. При этом повышаются цикловые и сезонные сборы с поверхности отвала торфа при меньшей зависимости от погодных условий.

Разработан состав технологических операций, схемы работы машин в карьере и на технологической площадке, алгоритм расчета технологических показателей добычи торфа в карьере и производства торфяной крошки. Разрабатываемая технология предусматривает применение относительно простых средства механизации. Добыча торфа-сырца в карьере производится одноковшовыми экскаваторами, вывозка торфа на технологическую площадку – саморазгружающимися прицепами, сепарация древесины пней – ковшевыми просеивающими дробилками. Производство торфяной крошки на технологической площадке осуществляется с использованием сельскохозяйственной техники: луцильников, дисковых борон, культиваторов и скрепер-бульдозеров.

В настоящее время выполняются работы по использованию предлагаемой технологии на торфодобывающих предприятиях Российской Федерации.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

© 2026 Авторы. Издательство Кузбасского государственного технического университета имени Т.Ф. Горбачева. Эта статья доступна по лицензии CreativeCommons «Attribution» («Атрибуция») 4.0 Всемирная (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>)

Информация об авторах

Мисников Олег Степанович, д.т.н., профессор, декан факультета природопользования и инженерной экологии, заведующий кафедрой горного дела, природообустройства и промышленной экологии
e-mail: oleg.misnikov@gmail.com

Женихов Кирилл Юрьевич, старший преподаватель кафедры горного дела, природообустройства и промышленной экологии
e-mail: jenixov3@mail.ru

Тверской государственный технический университет, 170026, Тверь, наб. Аф. Никитина, 22

Список литературы

1. Панов В.В., Мисников О.С. Тенденции развития торфяной отрасли России // Горный журнал. – 2015. № 7. – С. 108-112.
2. Мисников О.С., Тимофеев А.Е. Оценка состояния торфяного производства в Российской Федерации с применением интеллектуальной обработки текстовой информации и аналитики данных // Горный журнал. – 2024. – № 11. С. 46-56.
3. Шахматов К.Л., Панов В.В. Анализ экономических факторов получения биомассы влаголюбивых культур на поврежденных торфяных месторождениях Тверской области // Труды Инсторфа. – 2019. – № 20(73). – С. 11-15.
4. Шахматов К.Л., Орлов Т.В., Суворов Г.Г., Чередниченко О.В., Фурса Ю.В., Моченов С.Ю., Архипова М.В., Бондарь В.В., Бахтина И.С., Климов Е.В., Гордеева Е.М. Аprobация методов площадной оценки эмиссии парниковых газов на осушенных торфяниках Северо-запада России с помощью GEST подхода на примере торфяника Дедово поле // Труды Инсторфа. – 2023. – № 28(81). – С. 10-20.
5. Gordeeva Y.M., Fursa Yu.V., Shahmatov K.L. Drained Peatlands Rewetting as a Promising Trend for Carbon Offsets in Russia: Legal and Economic Aspects // Theoretical and Applied Ecology. – 2024. – №3. – P. 234-239.
6. Панов В.В., Женихов Ю.Н. Структура и учет пожароопасных торфяников Тверской области // Труды Инсторфа. – 2021. – № 24(77). – С. 26-33.
7. Орлов Т.В., Архипова М.В., Бондарь В.В., Разумовский Р.О., Смагин В.А., Шахматов К.Л. Геоботаническая индикация состояния нарушенных торфяников для оценки пожароопасности // Геоэкология, инженерная геология, гидрогеология, геоэкология. – 2024. – № 3. – С. 30-43.
8. Справочник по торфу / Под ред. А.В. Лазарева и С.С. Корчунова. М.: Недра. – 1982. – 760 с.



9. Антонов В.Я., Копенкин В.Д. Технология и комплексная механизация разработки торфяных месторождений // М.: Недра. – 1983. – 284 с.
10. Смирнов В.И., Васильев А.Н., Афанасьев А.Е., Болтушкин А.Н. Практическое руководство по организации добычи фрезерного торфа // Тверь: ТвГТУ. – 2007. – 392 с.
11. Столбикова Г.Е., Мисников О.С., Иванов В.А. Процессы открытых горных работ. Фрезерный торф // Тверь: ТвГТУ. – 2017. – 160 с.
12. Панин А.Н. Анализ особенностей и тенденций создания технологического оборудования для добычи кускового и фрезерного торфа // М.: ЦБНТИ. – 1983. – 63 с.
13. Мисников О.С., Копенкина Л.В. Миссия «Горного журнала» в организации, становлении и перспективном развитии торфяного дела в России // Горный журнал. – 2025. – № 7. – С. 9-18.
14. Мисников О.С., Копенкина Л.В. Возникновение торфяного дела в России // Горный журнал. – 2020 – № 2. – С. 95-99. DOI: 10.17580/gzh.2020.02.15
15. Копенкина Л.В. История торфяного дела в России // Тверь: ТвГТУ. – 2015. – 228 с.
16. Интернет-ресурс <https://boatswain.org/> (дата обращения 17.03.2026 г.).
17. Дубинин С.В., Михайлова Т.В. Применение мягких оболочечных конструкций для очистки сточных вод с точки зрения геоэкологической безопасности // Вестник Кузбасского государственного технического университета. – 2017. – № 6 (124). – С. 149-154.
18. Дубинин С.В. Оценка снижения геоэкологического риска при очистке сточных вод с применением геотуб // Вестник Кузбасского государственного технического университета. – 2018. – №3(127). – С. 38-44.
19. Murko, E. Sludge water stabilization treatment / E. Murko, V. Murko, Ju. Kretchmann // E3S Web of Conferences. – 2021. – Vol. 303. – P. 01048. – DOI 10.1051/e3sconf/202130301048. – EDN GKNNNA.
20. Мурко Е.В., Марков С.О., Тюленев М.А. Исследование обезвоживания угольного шлама обогатительных фабрик // Техника и технология горного дела. – 2024. – №1(24). – С. 58-76.
21. Гамаюнов С.Н., Гамаюнова А.Н. Совершенствование средств механизации малотоннажной добычи торфа // Известия высших учебных заведений. Горный журнал. – 2014. – № 1. – С. 4-12.
22. Женихов Ю.Н., Панов В.В., Суворов В.И. Пожароопасные торфяные месторождения Тверской области. Тверь: ТвГТУ. – 2011. – 80 с.
23. Панов В.В., Женихов Ю.Н. Структура и учет пожароопасных торфяников Тверской области // Труды Инсторфа. – 2021. – № 24(77). – С. 24-31.
24. Женихов Ю.Н., Панов В.В., Женихов Ю.Н. Разработка торфяных месторождений и охрана окружающей среды // Труды Инсторфа. – 2023. – №28(81). – С. 4-8.
25. Шахматов К.Л. Обоснование круглогодичной добычи торфяного сырья и технология производства композиционных теплоизоляционных материалов: дис. ... к.т.н. Тверь: ТвГТУ. – 2011. – 121 с.
26. Утенкова Т.Г., Кремчев Э.А., Нагорнов Д.О., Иванов С.Л. Механическое обезвоживание сапропеля в технологии его маломасштабной добычи // Устойчивое развитие горных территорий – 2023. – Т. 15. № 2 (56). – С. 308-316.
27. Krmcheev E.A., Nagornov D.O., Krmcheeva D.A. Changing Hydraulic Conductivity after Rupturing Native Structure of Peat under Limited Evaporation Conditions // Processes and Phenomena on the Boundary between Biogenic and Abiogenic Nature / Conference proceedings. – 2020. – P. 233-256.
28. Утенкова Т.Г., Кремчев Э.А., Громыка Д.С., Короткова О.Ю. Способы обезвоживания сапропеля // Горное оборудование и электромеханика. – 2020. – № 4 (150). – С. 45-52.
29. ВНТП-19-86 Нормы технологического проектирования предприятий по добыче торфа. М.: Минтоппром РСФСР. – 1986.
30. Лиштван И.И., Бровка Г.Н., Давидовский П.Н. Исследования фазового состава воды в торфе при низких температурах // Коллоидный журнал. – 1979. – Т. 41. – № 6. – С. 1095-1099.
31. Пузырев Н.М. Влагоперенос в промерзающих торфяных залежах: дис. ... к.т.н., Калинин. 1981. 199 с.
32. Гамаюнов Н.И. [и др.] Определение фазового состава влаги в мерзлом торфе. ТвГТУ. – 1995. – 86 с.
33. Гамаюнов Н.И., Миронов В.А., Гамаюнов С.Н. Тепломассоперенос в органогенных материалах. Криогенные процессы. Тверь: ТвГТУ. – 1998. – 147 с.
34. Gamayunov N.I., Gamayunov S.N. Sublimation drying of Peat // Journal of Engineering Physics and Thermophysics. – 2004. – Vol. 77. – № 5. – P. 947-952.
35. Gamayunov N.I., Gamayunov S.N. Transfer of heat and Moisture in Freezing of Grounds // Journal of Engineering Physics and Thermophysics. – 2004. – Vol. 77. – № 5. – P. 953-964.
36. Гамаюнов Н.И., Гамаюнов С.Н., Шехаб Х.Ю. Сублимационное обезвоживание торфа // Труды Инсторфа. – 2012. – № 5(28). – С. 22-28.
37. Крупнов Р.А., Базин Е.Т., Попов М.В. Использование торфа и торфяных месторождений в народном хозяйстве. М.: Недра. – 1992. – 233 с.
38. Антонов В.Я. Основы технологии полевой сушки торфа. М.: Недра. – 1966. – 200 с.



39. Антонов В.Я., Малков Л.М., Гамаюнов Н.И. Технология полевой сушки торфа. М.: Недра. 1981. 239с.
40. Лиштван И.И., Король Н.Т. Основные свойства торфа и методы их определения. Минск: Наука и техника, 1975. – 320 с.
41. Физико-химические основы технологии торфяного производства / И.И. Лиштван, А.А. Терентьев, Е.Т. Базин, А.А. Головач. Мн.: Наука и техника, 1983. – 232 с.

UDC 622.331

BASICS OF ALL-SEASON, SMALL-SCALE PEAT HARVESTING TECHNOLOGY WITH POST-DRYING AT THE PROCESSING SITE

Oleg S. Misnikov, Kirill Y. Zhenikhov

Tver State Technical University



Article info

Received:
01 March 2026

Revised:
26 May 2026

Accepted:
15 June 2026

Keywords: milled peat,
extraction, all-season
technology, gravity dewatering,
freezing, loosening, post-drying,
harvesting, stacking

Abstract.

The paper justifies the need to develop all-season peat extraction technologies for the exploitation of its reserves in previously developed peat deposits. A brief analysis of technologies used in the peat industry is presented, noting the shortcomings of the milling method of extraction at previously developed deposits. The essence of an all-season, small-scale peat extraction technology is described, which involves drying the raw material to the target moisture content at the processing site. The technological process is divided into two independent stages. The first stage involves the extraction of peat raw material at operating moisture content ($w_e \approx 84...88\%$) followed by its dewatering using gravity, evaporation, and winter freezing methods. In the second stage, carried out in the spring, the peat pile is shaped into a trapezoidal form; loosening it primarily with agricultural equipment; and stacking the peat crumbs into piles. An increase in the volume of per-cycle harvests and the number of cycles compared to traditional extraction technologies is justified. Recommendations are provided for the use of mechanization, operational schemes for extraction equipment have been developed, and timelines for technological operations have been established. When the recommended technological parameters are followed, seasonal yields of milled peat for agricultural use can reach 5,000 metric tons per hectare, which is approximately 2.5 times higher than when using traditional technology under otherwise equal conditions.

For citation Misnikov O.S., Zhenikhov K.Y. Basics of all-season, small-scale peat harvesting technology with post-drying at the processing site. *Journal of mining and geotechnical engineering*. 2026;2(33):4-30. DOI: 10.26730/2618-7434-2026-2-4-30, EDN: LUDKHW

References

1. Panov, V.V. and Misnikov, O.S. Trends in the Development of Russia's Peat Industry. *Mining Journal*. 2015;7:108-112. [In Russ.].
2. Misnikov, O.S., and Timofeev, A.E. Assessment of the State of Peat Production in the Russian Federation Using Intelligent Text Processing and Data Analytics. *Mining Journal*. 2024;11:46-56. [In Russ.].
3. Shakhmatov K.L., Panov V.V. Analysis of Economic Factors in the Production of Biomass from Moisture-Loving Crops on Damaged Peat Deposits in the Tver Region. *Trudy Instorfa*. 2019;20(73):11-15. [In Russ.].
4. Shakhmatov K.L., Orlov T.V., Suvorov G.G., Cherednichenko O.V., Fursa Yu.V., Mochonov S.Yu., Arkhipova M.V., Bondar V.V., Bakhtina I.S., Klimov E.V., Gordeeva E.M. Validation of Methods for Area-Wide Assessment of Greenhouse Gas Emissions from Drained Peatlands in Northwestern Russia Using the GEST Approach: The Case of the Dedovo Pole Peatland. *Trudy Instorfa*. 2023;28(81):10-20. [In Russ.].
5. Gordeeva Y.M., Fursa Yu.V., and Shahmatov K.L. Rewetting of Drained Peatlands as a Promising Trend for Carbon Offsets in Russia: Legal and Economic Aspects. *Theoretical and Applied Ecology*. 2024;3:234-239.



6. Panov V.V., Zhenikhov Yu.N. Structure and Inventory of Fire-Prone Peatlands in the Tver Region. *Trudy Instorfa*. 2021;24(77):26-33. [In Russ.].
7. Orlov T.V., Arkhipova M.V., Bondar V.V., Razumovsky, R.O., Smagin, V.A., and Shakhmatov, K.L. Geobotanical Indicators of the Condition of Disturbed Peatlands for Assessing Fire Hazard. *Geoecology, Engineering Geology, Hydrogeology, Geocryology*. 2024;3:30-43. [In Russ.].
8. Handbook on Peat / Edited by A.V. Lazarev and S.S. Korchunov. Moscow: Nedra Publishing House, 1982. 760 pp. [In Russ.].
9. Antonov V.Y., Kopenkin V.D. Technology and Comprehensive Mechanization of Peat Deposit Development. Moscow: Nedra Publishing House, 1983. 284 pp. [In Russ.].
10. Smirnov, V.I., Vasilyev, A.N., Afanasyev, A.E., and Boltushkin, A.N. Practical Guide to Organizing the Extraction of Milled Peat. Tver State Technical University Publishing House, 2007. 392 pp. [In Russ.].
11. Stolbikova, G.E., Misnikov, O.S., and Ivanov, V.A. Open-Pit Mining Processes. Milled Peat. Tver State Technical University Publishing House, 2017. 160 pp. [In Russ.].
12. Panin, A.N. Analysis of Features and Trends in the Development of Technological Equipment for the Extraction of Lump and Milled Peat. Moscow: TsBNTI Publishing House, 1983. 63 pp. [In Russ.].
13. Misnikov O.S., Kopenkina L.V. The Mission of Gornyi Zhurnal in the Organization, Establishment, and Future Development of the Peat Industry in Russia. *Gornyi Zhurnal*. 2025;7:9-18. [In Russ.].
14. Misnikov O.S., Kopenkina L.V. The Emergence of the Peat Industry in Russia. *Mining Journal*. 2020;2:95-99. DOI: 10.17580/gzh.2020.02.15. [In Russ.].
15. Kopenkina L.V. History of the Peat Industry in Russia. Tver State Technical University Publishing House, 2015. – 228 pp. [In Russ.].
16. Website <https://boatwain.org/> (accessed March 17, 2026).
17. Dubinin S.V., Mikhailova T.V. The Application of Flexible Liner Structures for Wastewater Treatment from the Perspective of Geo-Ecological Safety. *Bulletin of Kuzbass State Technical University*. 2017;6(124):149-154. [In Russ.].
18. Dubinin S.V. Assessment of the Reduction in Geo-Ecological Risk in Wastewater Treatment Using Geotubes. *Bulletin of Kuzbass State Technical University*. 2018;3(127):38-44. [In Russ.].
19. Murko E., Murko V., Kretschmann Yu. Sludge water stabilization treatment. *E3S Web of Conferences*. 2021;303:01048. DOI 10.1051/e3sconf/202130301048.
20. Murko, E.V., Markov, S.O., and Tyulenev, M.A. Study of the dewatering of coal slurry from coal preparation plants. *Journal of Mining and Geotechnical Engineering*. 2024;1(24):58-76. [In Russ.].
21. Gamayunov S.N., and Gamayunova A.N. Improvement of Mechanization Methods for Small-Scale Peat Extraction. *Proceedings of Higher Educational Institutions. Mining Journal*. 2014;1:4-12. [In Russ.].
22. Zhenikhov, Yu.N., Panov, V.V., Suvorov, V.I. Fire-Hazardous Peat Deposits in the Tver Region. Tver State Technical University Publishing House. 2011. 80 pp. [In Russ.].
23. Panov, V.V., Zhenikhov, Yu.N. Structure and Inventory of Fire-Hazardous Peatlands in the Tver Region // *Trudy Instorfa*. No. 24 (77). 2021. pp. 24-31. [In Russ.].
24. Zhenikhov, Yu.N., Panov, V.V., Zhenikhov, Yu.N. Peat Deposit Development and Environmental Protection. *Trudy Instorfa*. No. 28 (81). 2023. pp. 4-8. [In Russ.].
25. Shakhmatov, K.L. Justification for Year-Round Extraction of Peat Raw Materials and Technology for the Production of Composite Thermal Insulation Materials: Ph.D. thesis. Tver State Technical University. 2011. 121 pp. [In Russ.].
26. Utenkova, T.G., Kremcheev, E.A., Nagornov, D.O., Ivanov, S.L. Mechanical Dehydration of Sapropel in Small-Scale Extraction Technology. *Sustainable Development of Mountain Territories*. 2023;2(56):308-316. [In Russ.].
27. Kremcheev E.A., Nagornov D.O., Kremcheeva D.A. Changes in Hydraulic Conductivity Following the Disruption of the Native Structure of Peat under Limited Evaporation Conditions. *Processes and Phenomena at the Boundary between Biogenic and Abiogenic Nature / Conference Proceedings*. 2020. pp. 233–256.
28. Utenkova T.G., Kremcheev E.A., Gromyka D.S., Korotkova O.Yu. Methods for Dehydrating Sapropel. *Mining Equipment and Electromechanics*. 2020;4(150):45-52. [In Russ.].
29. VNTP-19-86 Standards for the Technological Design of Peat Extraction Enterprises. Moscow: Ministry of Fuel and Energy Industry of the RSFSR. 1986. [In Russ.].
30. Lishchvan, I.I., Brovka, G.N., and Davidovsky, P.N. Studies of the phase composition of water in peat at low temperatures. *Colloid Journal*. 1979;41(6):1095-1099. [In Russ.].
31. Puzirev, N.M. Moisture Transport in Freezing Peat Deposits: Ph.D. thesis in Technical Sciences, Kalinin. 1981. 199 pp. [In Russ.].
32. Gamayunov, N.I. [et al.]. Determination of the Phase Composition of Moisture in Frozen Peat. Tver State Technical University Publishing House. 1995. 86 pp. [In Russ.].



33. Gamayunov N.I., Mironov V.A., Gamayunov S.N. Heat and Mass Transfer in Organogenic Materials. Cryogenic Processes. Tver State Technical University Publishing House. 1998. 147 pp. [In Russ.].
34. Gamayunov N.I., Gamayunov S.N. Sublimation Drying of Peat. *Journal of Engineering Physics and Thermophysics*. 2004;77(5):947-952.
35. Gamayunov N.I., Gamayunov S.N. Heat and Moisture Transfer During Ground Freezing. *Journal of Engineering Physics and Thermophysics*. 2004;77(5):953-964.
36. Gamayunov N.I., Gamayunov S.N., Shekhab H.Yu. Sublimation Dehydration of Peat. *Trudy Instorfa*. 2012;5(28):22-28. [In Russ.].
37. Krupnov, R.A., Bazin, E.T., Popov, M.V. The Use of Peat and Peat Deposits in the National Economy. Moscow: Nedra Publishing House. 1992. 233 pp. [In Russ.].
38. Antonov, V.Ya. Fundamentals of Field Peat Drying Technology. Moscow: Nedra Publishing House. 1966. 200 pp. [In Russ.].
39. Antonov, V.Y., Malkov, L.M., and Gamayunov, N.I. Technology of Field Peat Drying. Moscow: Nedra Publishing House. 1981. 239 pp. [In Russ.].
40. Lishchvan, I.I., and Korol, N.T. Basic Properties of Peat and Methods for Their Determination. Minsk: Nauka i Tekhnika Publishing House, 1975. – 320 pp. [In Russ.].
41. Physicochemical Foundations of Peat Production Technology / I.I. Lishtvan, A.A. Terentyev, E.T. Bazin, A.A. Golovach. Minsk: Nauka i Tekhnika Publishing House, 1983. – 232 pp. [In Russ.].

Conflicts of Interest

The authors declare no conflict of interest.

© 2026 The Authors. Published by T. F. Gorbachev Kuzbass State Technical University. This is an open access article under the CC BY license (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

Information about the authors

Oleg S. Misnikov, Dr.Sc. (Tech.), Professor; Dean of the Faculty of Nature Management and Engineering Ecology, Head of the Department of Mining, Environmental Engineering and Industrial Ecology
e-mail: oleg.misnikov@gmail.com

Kirill Y. Zhenikhov, Senior Lecturer of the Department of Mining, Environmental Engineering and Industrial Ecology
e-mail: jenixov3@mail.ru

Tver State Technical University
22 Af. Nikitin embankment, 170026, Tver, Russian Federation

