

ANALYSIS OF MECHANICAL AND DESIGN PARAMETERS OF THE MTF-14 DRUM MILLING CUTTER FROM THE POINT OF VIEW OF THE USE OF A HYDRAULIC DRIVE DURING MAJOR REPAIRS

I.V. GORLOV, Dr. Sc., I.M.o. GULIJEV, Postgraduate

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

This article analyzes the mechanical and design parameters of the MTF-14 drum milling machine drive. It examines the design features of the milling machine drive gearbox and the potential for using a hydraulic drive during overhauls. A comparison of mechanical and hydraulic drives is provided in terms of the potential for using standard components during repairs. The key advantages of a hydraulic drive are described: increased reliability, increased service life of milling machine components, and improved controllability of milling modes. The key hydraulic system parameters required to ensure the operation of the milling machine are established. Recommendations for the practical use of standard components during overhauls are provided, taking into account the selection of modern hydraulic motors.

Keywords: hydraulic drive, drum milling machine, peat machine, hydraulic system, energy efficiency.

Поступила в редакцию/received: 31.03.2026; после рецензирования/revised: 06.04.2026;
принята/accepted: 17.04.2026

УДК 622.331:639.3

DOI: 10.46573/2658-5030-2026-3-48-57

МЕТОДИКА РАСЧЕТА ПАРАМЕТРОВ ПРОТОЧНОГО КАНАЛА ДЛЯ ИНКУБАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ, УСТАНОВЛИВАЕМОЙ НА ОТРАБОТАННЫХ ТОРФЯНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЯХ

А.Л. ЯБЛОНЕВ, д-р техн. наук, А.А. АНДРИАНОВА, ст. препод.

Тверской государственный технический университет,
170026, Тверь, наб. Аф. Никитина, 22, e-mail: lp62007@yandex.ru

© Яблонев А.Л., Андрианова А.А., 2026

Размещение в проточном канале отработанного торфяного месторождения инкубационной системы требует гидравлического расчета как самой системы, так и канала. Расчет элементов инкубационной системы (гнезда-инкубатора и подводящих гофрированных ПВХ-труб) был ранее уже представлен в ряде статей. В данной статье описана разработанная авторами методика расчета проточного канала и определены его основные параметры: гидравлический уклон дна, скорость течения потока и расход воды. Приведен пример расчета канала по предложенной методике. Отмечено, что рациональный внутренний диаметр гофрированной ПВХ-трубы составляет 25 мм, а требуемый уклон для инкубирования икры пеляди – 0,000 66...0,000 79. Рекомендована техника для рытья и ремонта проточного канала, приведена ее краткая характеристика.

Ключевые слова: оработанное торфяное месторождение, гофрированная ПВХ-труба, инкубационная система, гнездо-инкубатор, проточный канал, коэффициент Шези, расход, гидравлический уклон.

ВВЕДЕНИЕ

Основные технологии извлечения торфа из недр Земли предполагают проведение после отработки месторождения комплекса рекультивационных мероприятий [1, 2], наиболее перспективным и эффективным среди которых является организация прудов с последующим их зарыблением [3, 4]. Зарыбление может производиться путем искусственного инкубирования мальков рыб в естественных условиях. Для этого используются инкубационные системы с гнездом-инкубатором типа «шайба», устанавливаемые в проточный канал (рис. 1). В качестве ценной породы рыб нами предлагается пелядь.

Основные элементы системы – гнездо-инкубатор, подводящая гофрированная ПВХ-труба, водозаборное устройство. Движение воды и гидравлический расчет гнезда-инкубатора и подводящей трубы были рассмотрены в работах [5, 6], однако для обеспечения нормальной работы системы следует рассмотреть вопрос об уклоне дна и других параметрах проточного канала на месте оработанного торфяного месторождения. Этому и посвящена данная статья.



Рис. 1. Оборудование инкубационной системы перед установкой

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Схема наиболее эффективной инкубационной системы с выносным водозаборным устройством (см. рис. 1) представлена на рис. 2.

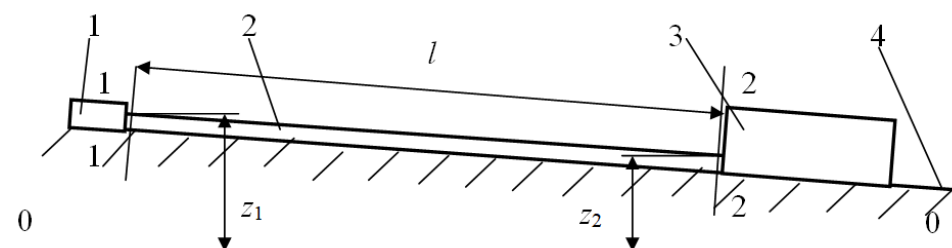


Рис. 2. Схема инкубационной системы: 1 – водозаборное устройство; 2 – подводящая гофрированная ПВХ-труба; 3 – гнездо-инкубатор; 4 – поверхность дна канала

Исходными данными для разработки методики расчета являются:

диаметр икринок $d_{и} = 1,6 \dots 2,5$ мм [6, 7];

диаметр лунки-ячейки гнезда инкубатора $D = 6$ мм;

количество лунок в гнезде-инкубаторе $N = 200$ шт.;

диаметр подводящей гофрированной ПВХ-трубы $d_{тр} = 16, 20, 25$ мм;

длина подводящей гофрированной ПВХ-трубы $l = 3$ м;

скорость витания икринок в гнезде-инкубаторе $v_{теор} = 1,096 \cdot 10^{-2} \dots 1,37 \cdot 10^{-2}$ м/с.

Площадь живого сечения обтекания икринки в гнезде-инкубаторе, m^2 :

$$S = \frac{\pi(D^2 - d_{и}^2)}{4}. \quad (1)$$

Расход воды, проходящей через гнездо-инкубатор, m^3/c :

$$Q = v_{теор}SN. \quad (2)$$

Площадь живого сечения подводящей гофрированной ПВХ-трубы, m^2 :

$$S_{т} = \frac{\pi d_{тр}^2}{4}. \quad (3)$$

Средняя скорость течения воды в подводящей гофрированной ПВХ-трубе, м/с:

$$v_{т} = \frac{Q}{S_{т}}. \quad (4)$$

Результаты промежуточных расчетов параметров потока воды в гофрированных ПВХ-трубах по формулам (1)–(4) представлены в табл. 1.

Таблица 1. Расчет параметров потока воды в гофрированных ПВХ-трубах

Пара- метр	$S \cdot 10^5$, m^2	$Q \cdot 10^5$, m^3/c	$S_{т} \cdot 10^4$, m^2			$v_{т} \cdot 10^2$ м/с		
			$d_{тр} =$ = 16 мм	$d_{тр} =$ = 20 мм	$d_{тр} =$ = 25 мм	$d_{тр} =$ = 16 мм	$d_{тр} =$ = 20 мм	$d_{тр} =$ = 25 мм
$d_{и} =$ = 1,6 мм	2,625	5,754	2,096	3,14	4,906	27,452	18,325	11,728
$d_{и} =$ = 2,5 мм	2,335	6,399				30,528	20,378	13,042

Составим уравнение Д. Бернулли для сечений 1-1 и 2-2 на рис. 2 [8]:

$$z_1 + \frac{P_1}{\rho g} + \frac{\alpha_1 v_1^2}{2g} = z_2 + \frac{P_2}{\rho g} + \frac{\alpha_2 v_2^2}{2g} + h_{w1-2}, \quad (5)$$

где z_1 и z_2 – геометрические высоты центров тяжести сечений 1-1 и 2-2; P_1 и P_2 – давление жидкости в сечениях; ρ – плотность жидкости; $g = 9,81$ м/с² – ускорение свободного падения; α_1 и α_2 – коэффициенты Кориолиса (коррективы кинетической энергии) для сечений; v_1 и v_2 – средние скорости жидкости в сечениях; h_{w1-2} – потери гидродинамического напора между сечениями 1-1 и 2-2.

Перенесем правую часть влево и приравняем к нулю:

$$z_1 + \frac{P_1}{\rho g} + \frac{\alpha_1 v_1^2}{2g} - z_2 - \frac{P_2}{\rho g} - \frac{\alpha_2 v_2^2}{2g} - h_{w_{1-2}} = 0. \quad (6)$$

Поскольку диаметры ПВХ-трубы в сечениях одинаковы, то одинаковы и давления и скорости, а также коэффициенты Кориолиса: $P_1 = P_2$, $v_1 = v_2$, $\alpha_1 = \alpha_2$. Следовательно,

$$z_1 - z_2 = h_{w_{1-2}}, \quad (7)$$

т.е. разница в геометрических напорах расходуется на преодоление гидравлических сопротивлений. Сопротивление между сечениями 1-1 и 2-2 всего одно – по длине. Найдено оно может быть по формуле Дарси – Вейсбаха [8]:

$$h_{w_{1-2}} = \lambda \frac{l}{d} \frac{v_T^2}{2g}, \quad (8)$$

где λ – коэффициент гидравлического трения; l – длина подводящей ПВХ-трубы; d – внутренний диаметр подводящей ПВХ-трубы; v_T – ранее рассчитанная теоретическая средняя скорость жидкости в трубе.

Разница геометрических напоров, отнесенная к длине ПВХ-трубы, есть гидравлический уклон дна проточного канала [8]:

$$\frac{z_1 - z_2}{l} = i. \quad (9)$$

Коэффициенты гидравлического трения для ПВХ-труб внутренним диаметром 16, 20 и 25 мм могут быть найдены по формулам [5]:

$$\lambda_{16} = 0,4013 v_T^{-0,235}, \quad (10)$$

$$\lambda_{20} = 0,0888 v_T^{-0,251}, \quad (11)$$

$$\lambda_{25} = 0,0792 v_T^{-0,487}, \quad (12)$$

причем скорость измеряется в данных эмпирических формулах в сантиметрах за секунду (см/с).

Все расчеты λ , $h_{w_{1-2}}$, i по формулам (8)–(12) сведены в табл. 2.

Таблица 2. Расчет гидравлического уклона дна проточного канала

Параметр	$\lambda \cdot 10^2$			$h_{w_{1-2}} \cdot 10^2, \text{ м}$			i		
	$d_{\text{тр}} = 16 \text{ мм}$	$d_{\text{тр}} = 20 \text{ мм}$	$d_{\text{тр}} = 25 \text{ мм}$	$d_{\text{тр}} = 16 \text{ мм}$	$d_{\text{тр}} = 20 \text{ мм}$	$d_{\text{тр}} = 25 \text{ мм}$	$d_{\text{тр}} = 16 \text{ мм}$	$d_{\text{тр}} = 20 \text{ мм}$	$d_{\text{тр}} = 25 \text{ мм}$
$d_{\text{н}} = 1,6 \text{ мм}$	18,425	4,279	2,388	13,270	1,099	0,201	0,044 2	0,003 6	0,000 66
$d_{\text{н}} = 2,5 \text{ мм}$	17,971	4,167	2,268	16,005	1,323	0,235	0,053 4	0,004 4	0,000 79

Как показывает анализ полученных данных, при использовании ПВХ-трубы диаметром 16 мм потери напора слишком велики, а разница геометрических напоров (перепад высот) на длине 3 м должна составлять 13...16 см, что невозможно реализовать на практике. Максимальный уклон, согласно нормам технологического проектирования для торфяных предприятий, назначается с учетом допускаемых неразрывающих скоростей течения воды. Так, разрешается без расчета принимать уклоны по магистральным и валовым каналам до 0,001 (перепад высот 1 см на 10 м длины канала). На небольших участках каналов длиной до 100 м допускаются уклоны до 0,002...0,003 [9]. Таким образом, полностью удовлетворяет последней рекомендации только ПВХ-труба диаметром 25 мм, которую и следует использовать в инкубационной системе. Все последующие расчеты учитывают именно ее применение.

Определим среднюю скорость движения воды и ее расход в проточном канале.

Коэффициент Шези определяется по формуле Н.Н. Павловского [10]:

$$c = \frac{1}{n} R^y, \quad (13)$$

где n – коэффициент шероховатости, зависящий от материала и состояния русла водотока, принимаемый по табл. 3; R – гидравлический радиус сечения канала, равный отношению площади живого сечения к смоченному периметру; y – показатель степени, который приближенно можно определить по формулам:

для $R < 1$ м

$$y = 1,5\sqrt{n}; \quad (14)$$

для $R > 1$ м

$$y = 1,3\sqrt{n}. \quad (15)$$

Таблица 3. Значения коэффициентов шероховатости стенок водотока [10]

Род стенок, или характеристика русла	n
Большие каналы в минеральном и торфяном грунте в средних условиях содержания и ремонта и малые каналы в хороших условиях; реки и ручьи в благоприятных условиях (со свободным течением, без засорения и значительного количества водорослей)	0,025
Каналы в минеральном и торфяном грунте: большие – в условиях ниже средних, малые – в средних условиях	0,027 5
Каналы в минеральном и торфяном грунте и реки в сравнительно плохих условиях (например, с водорослями и булыжником или заметно заросшие травой с местными обвалами откосов и т.п.)	0,03
Каналы и реки в минеральном и торфяном грунте, находящиеся в весьма плохих условиях, с неправильным профилем, значительно засоренные камнями и водорослями и пр.	0,035

Коэффициент шероховатости изменяется от 0,025 до 0,035 со средним значением 0,03 (см. табл. 3).

Для определения гидравлического радиуса проточного канала необходимо задаться его размерами, а последние вытекают из характеристики машины, которая его

формирует. Это, например, шнековый каналокопатель КШ-1,3К производства ООО «Гринмаш» [11] или его финский аналог Suokone OJ-1,3K (рис. 3).

Данный каналокопатель предназначен для рытья и прочистки каналов, имеет массу $m = 1\,750$ кг, является навесной машиной на колесный трактор мощностью $N = 110 \dots 150$ кВт, позволяет формировать канал глубиной $h = 1,3$ м; шириной поверху $a = 1,28$ м; шириной понизу $b = 0,34$ м.

Еще один способ рытья каналов осуществляется с помощью одноковшового экскаватора с профильным трапецидальным ковшом (рис. 4), однако качество таких каналов (в том числе ровность) невысоко и производительность работ крайне низкая. К этому следует добавить невозможность получения постоянного фиксированного уклона.



Рис. 3. Шнековый канавокопатель КШ-1,3К [11]

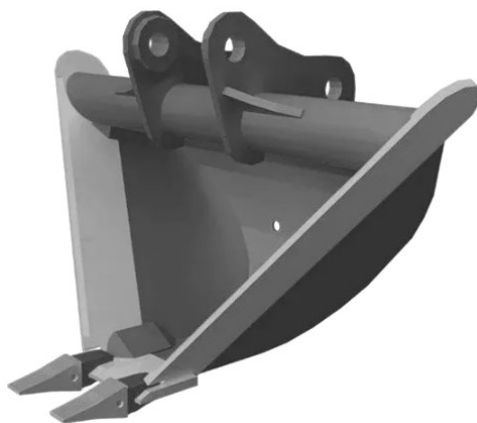


Рис. 4. Профильный трапецидальный ковш для одноковшового экскаватора [12]

Для определения смоченного периметра и гидравлического радиуса необходимо задаться глубиной наполнения канала. В исследованиях [13, 14] рекомендуемая глубина наполнения канала составляет $h_k = 0,5 \dots 0,8$ м со средним значением $0,65$ м (рис. 5). Данная величина обосновывается, с одной стороны, необходимостью беспрепятственного комфортного выхода мальков и мерами против браконьерства, а с другой – возможностью обслуживания системы.

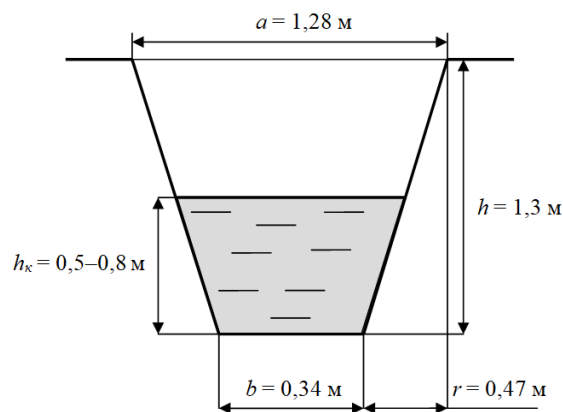


Рис. 5. Размеры и профиль проточного канала

Согласно рис. 5, технологический коэффициент заложения откосов

$$m = \frac{r}{h}. \quad (16)$$

Для данного канала $m = \frac{0,47}{1,3} = 0,362$.

Смоченный периметр [10]:

$$\chi = b + 2h_k\sqrt{1 + m^2}. \quad (17)$$

Площадь живого сечения канала [10]:

$$\omega = (b + mh_k)h_k. \quad (18)$$

Гидравлический радиус канала

$$R = \frac{\omega}{\chi}. \quad (19)$$

После расчета параметров канала по формулам (16)–(19) можно найти показатель степени y по зависимостям (14) или (15) и определить коэффициент Шези по формуле (13).

Средняя скорость течения воды в проточном канале

$$v_k = c\sqrt{Ri}, \quad (20)$$

расход воды в проточном канале

$$Q_k = \omega v_k. \quad (21)$$

Все расчетные параметры проточного канала сведены в табл. 4 (для удобства размерность расхода воды в канале переведена из кубических метров за секунду ($\text{м}^3/\text{с}$) в литры за минуту ($\text{л}/\text{мин}$)).

Таблица 4. Расчет параметров проточного канала

Параметр	χ , м	ω , м ²	R , м	y	c	v_k , м/с	Q_k , м ³ /с	Q_k , л/мин
$d_n = 1,6$ мм	1,723	0,374	0,217	0,260	22,408	0,270	0,101	6 061,602
$d_n = 2,5$ мм						0,293	0,109	6 568,690

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Результаты исследования позволили сформировать методику расчета параметров проточного канала для инкубационной системы, устанавливаемой на отработанном торфяном месторождении (рис. 6). В качестве примера приведен расчет параметров канала, представленного на рис. 4.

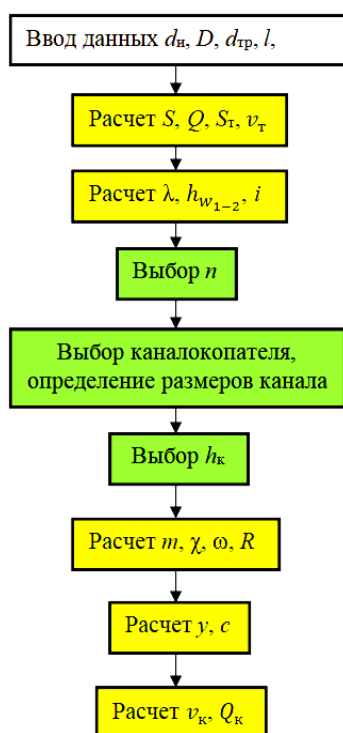


Рис. 6. Блок-схема методики расчета параметров проточного канала для инкубационной системы, устанавливаемой на отработанном торфяном месторождении

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Подводя итоги вышеизложенного, можно сделать следующие выводы.

1. В инкубационной системе обосновано применение гофрированной ПВХ-трубы внутренним диаметром 25 мм.
2. Предложен выбор техники, формирующей проточный канал.
3. Установлено, что для обеспечения функционирования инкубационной системы дно проточного канала должно иметь уклон $i = 0,000\ 66 \dots 0,000\ 79$.
4. Разработана методика расчета параметров проточного канала для инкубационной системы, устанавливаемой на отработанном торфяном месторождении.
5. Представлен пример расчета проточного канала на отработанном торфяном месторождении.

ЛИТЕРАТУРА

1. Misnikov O. Basic technologies and equipment used for peat deposits development in foreign countries // *E3S Web of Conferences. EDP Sciences*. 2018. V. 41. P. 01046.
2. Панов В.В., Мисников О.С., Купорова А.В. Проблемы и перспективы развития торфяного производства в Российской Федерации // *Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал)*. 2017. № 5. С. 105–117.
3. Андрианова А.А., Яблонев А.Л. Комплексное использование карьеров отработанных торфяных месторождений // *Современные технологии и инновации: Материалы IX Всероссийской научно-практической конференции*. Тверь: ТвГТУ, 2025. С. 61–65.
4. Андрианова А.А., Яблонев А.Л. Обзор методов комплексного использования выработанных месторождений торфа в сравнении с другими горными породами, добываемыми открытым способом // *Вестник Тверского государственного технического университета. Серия «Технические науки»*. 2025. № 2 (26). С. 26–40.
5. Андрианова А.А., Яблонев А.Л. Гидравлическое обоснование параметров инкубационной системы, устанавливаемой на отработанных торфяных месторождениях // *Вестник Тверского государственного технического университета. Серия «Технические науки»*. 2026 № 1 (29). С. 67–77.
6. Яблонев А.Л., Андрианова А.А. Обоснование скорости витания икринок в инкубационной системе, устанавливаемой на отработанных торфяных месторождениях // *Вестник Тверского государственного технического университета. Серия «Технические науки»*. 2026. № 2 (30). С. 86–93.
7. Львов Ю.Б. Совершенствование технологии воспроизводства пеляди: дис. ... канд. с/х наук. Москва, 2020. 113 с.
8. Вильнер Я.М., Ковалев Я.Т., Некрасов Б.Б. Справочное пособие по гидравлике, гидромашинам и гидроприводам. Минск: Вышэйшая школа, 1976. 416 с.
9. Смирнов В.И., Васильев А.Н., Афанасьев А.Е., Болтушкин А.Н. Практическое руководство по организации добычи фрезерного торфа. Тверь: ТГТУ, 2007. 392 с.
10. Справочник по торфу / под ред. А.В. Лазарева и С.С. Корчунова. М.: Недра, 1982. 760 с.
11. Шнековый канавокопатель КШ-1,3К. URL: <http://greenmash.ru/equipment-for-peat-extraction/shnekovyy-kanavokopatel-oj-1-3-k-sovmestno/> (дата обращения: 25.01.2026).
12. Ковш профильный на экскаватор-погрузчик. URL: [https://yandex.ru/images/search?img_url=https%3A%2F%2Fnaftatech.com%2Fassets%2Ftemplates%2Fnafta%2Fasset_s%2Fimg%2FFoto\(new\)%2FKovshi%2Fkovsh_profil_nyj_01.jpg&lr=14&pos=0&rpt=simage&source=serp&text=ковши%20для%20экскаватора](https://yandex.ru/images/search?img_url=https%3A%2F%2Fnaftatech.com%2Fassets%2Ftemplates%2Fnafta%2Fasset_s%2Fimg%2FFoto(new)%2FKovshi%2Fkovsh_profil_nyj_01.jpg&lr=14&pos=0&rpt=simage&source=serp&text=ковши%20для%20экскаватора) (дата обращения: 28.01.2026).
13. Скоробогатов М.А., Андрианова А.А., Павлов Д.С., Веселов А.Е., Ефремов Д.А., Ручьев М.А. Гидравлические расчеты гнезд-инкубаторов для икры лососевых рыб с выносным водозаборным устройством // *Природообустройство*. 2020. № 1. С. 104–110.
14. Скоробогатов М.А., Павлов Д.С., Веселов А.Е., Ефремов Д.А., Ручьев М.А., Фомина А.А. Гидравлические исследования гнезд-инкубаторов икры лососевых рыб, устанавливаемых в речных условиях // *Рыбное хозяйство*. 2016. № 4. С. 67–70.

Для цитирования: Яблонев А.Л., Андрианова А.А. Методика расчета параметров проточного канала для инкубационной системы, устанавливаемой на отработанных торфяных месторождениях // *Вестник Тверского государственного технического университета. Серия «Технические науки»*. 2026. № 3 (31). С. 48–57.

A METHOD FOR CALCULATING FLOW-CHANNEL PARAMETERS FOR AN INCUBATOR SYSTEM INSTALLED AT DEPLETED PEAT DEPOSITS

A.L. YABLONEV, Dr. Sc., A.A. ANDRIANOVA, Senior Lecturer

Tver State Technical University,
22, Af. Nikitin emb., Tver, 170026, e-mail: lp62007@yandex.ru

Placing an incubation system in a flow channel of a depleted peat deposit requires hydraulic calculations for both the system itself and the channel. Calculations for the incubation system components (the incubator nest and the supply corrugated PVC pipes) have been previously presented in several articles. This paper describes the authors' developed method for calculating a flow channel and identifying its key parameters – the hydraulic slope of the bottom, the water flow velocity, and the flow rate. An example of a channel calculation using the proposed method is provided. It is noted that a reasonable internal diameter of a corrugated PVC pipe is 25 mm, and the required slope for incubating peled eggs is 0.000 66...0.000 79. Equipment for digging and repairing the flow channel is recommended, and its brief technical specifications are provided.

Keywords: depleted peat deposit, corrugated PVC pipe, incubation system, incubator nest, flow channel, Chezy coefficient, flow rate, hydraulic slope.

Поступила в редакцию/received: 31.03.2026; после рецензирования/revised: 06.04.2026;
принята/accepted: 17.04.2026

УДК 622.331:622.271

DOI: 10.46573/2658-5030-2026-3-57-65

ОЦЕНКА ВОДНО-ФИЗИЧЕСКИХ СВОЙСТВ КУСКОВОГО ТОРФА С ПРИМЕНЕНИЕМ ГИДРОФОБИЗАЦИИ ТОРФОМАССЫ ПЕРЕД ФОРМОВАНИЕМ

A.B. КУПОРОВА, канд. техн. наук

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

© Купорова А.В., 2026

В статье рассмотрены вопросы о положительном влиянии гидрофобизации торфяной массы перед формованием на водно-технические свойства кускового торфа. Приведены результаты исследований по определению водопоглотительной и водоотталкивающей способностей образцов кускового торфа. Установлено, что применение гидрофобных добавок при производстве кускового торфа улучшает качественные характеристики исходного торфяного сырья, положительно влияет на водно-физические характеристики готовой продукции, позволяет сократить зависимость технологии производства от метеорологических условий региона добычи, а также свести к нулевым значениям удлинение сушки за счет влагообмена с залежью. Использование гидрофобных добавок обеспечивает снижение начальной влажности кусков торфа при формовании, а следовательно, сокращение энергетических затрат на производство.