



# Научный журнал

Восточно-Европейского института торфяного дела  
Тверского государственного технического университета



№20 (73) 2019

# ТРУДЫ ИНСТОРОФА



Министерство образования и науки РФ

**Восточно-Европейский институт торфяного дела**  
Тверского государственного технического университета

# **ТРУДЫ ИНСТОРФА**

**Научный журнал**

Издается с апреля 1922 года  
**Выходит два раза в год**

**№ 20 (73)**  
июль–декабрь 2019 г.

Тверь 2019

УДК 622.331(05)

ББК 26.343.4я5

Труды Инсторфа: научный журнал. № 20 (73)  
(июль–декабрь 2019 г.). Тверь: ТвГТУ, 2019. 52 с.

*Учредитель и издатель:* ФГБОУ ВО «Тверской  
государственный технический университет»

*Главный редактор*

проф., д. ф.-м. н.

Андрей Викторович Твардовский

*Научный редактор*

акад. НАНБ, д. т. н. И.И. Лиштван

*Редакционный совет:*

проф., д. э. н. Г.А. Александров;

проф., д. т. н. А.Н. Васильев;

проф., д. т. н. В.И. Горячев; проф., д. т. н. Н.В. Гревцев;

чл.-корр. РАН, д. с-х. н. Л.И. Инишева;

проф., д. т. н. Б.Ф. Зюзин (*зам. научного редактора*);

проф., д. т. н. А.В. Кондратьев;

проф., д. х. н. Ю.Ю. Косивцов;

проф., д. т. н. В.И. Косов; проф., д. б. н. О.Л. Кузнецов;

проф., д. г. н. Б.В. Курзо;

проф., д. б. н. Е.Д. Лапшина;

проф., д. т. н. Б.И. Масленников;

проф., д. т. н. А.В. Михайлов;

проф., д. т. н. В.А. Миронов;

проф., д. т. н. Б.В. Палюх; проф., д. т. н. В.Г. Селеннов;

проф., д. т. н. В.Ф. Синицин; д. б. н. А.А. Сиринов;

проф., д. х. н. Э.М. Сульман; д. б. н. Т.К. Юрковская;

доц., д. т. н. А.Л. Яблонев

*Редакционная коллегия:*

проф., д. т. н. С.Н. Гамаюнов;

проф., д. т. н. Ю.Н. Женихов;

доц., д. т. н. О.С. Мисников;

доц., д. г. н. В.В. Панов (*зам. главного редактора*);

доц., д. т. н. К.В. Фомин

*Секретарь редакционной коллегии*

к. т. н. А.Е. Тимофеев

*Технический редактор* к. т. н. В.В. Кузовлев

Свидетельство о регистрации

Эл № ФС 77-41964 выдано 9.09.2010 г.

Роскомнадзор

*Редактор* Л.Ю. Казаченко

*Корректор* А.К. Печенина

*Верстка* Я.Н. Дягилев

E-mail: instorf@gmail.com

Тел. редакции: 8(422) 78-93-91

Подписано в печать 15.12.19 г.

Формат 60×84 1/8. Усл. печ. л. 6,045.

ИП Казаченко Л.Ю.

456789, г. Озёрск, ул. Октябрьская, 8 к.39

ISSN 2224-1523

© Тверской государственный  
технический университет, 2019

## Содержание

**Ахметьева Н.П., Михайлова А.В.,  
Кричевец Г.Н., Беляев А.Ю.**

Трансформация антропогенно нарушенных  
торфяных болот в новый тип ландшафта  
в центральных районах  
Европейской части России .....3

**Шахматов К.Л., Панов В.В.**

Анализ экономических факторов получения  
биомассы влаголюбивых культур  
на поврежденных торфяных  
месторождениях Тверской области .....11

**Зюзин Б.Ф., Миронов В.А., Юдин С.А.**

Критерии теории дистортности для оценки  
предельных напряженно-деформированных  
состояний в механике органико-  
минеральных грунтов .....16

**Горячёв В.И., Михеев И.И., Щербакова Д.М.**

Технологический круглогодичный комплекс  
гидромеханического фракционирования  
торфяного сырья .....25

**Васильев А.Н.**

Использование машины глубокого  
ренирования МГД-6Н на резке льда .....29

**Фомин К.В., Крылов К.С., Харламов В.Е.,  
Морозихина И.К.,**

Оценка плотности распределения  
воздействий со стороны поверхности карты  
на элементы ходовых конструкций  
торфяной машины .....32

**Епифанцев К.В., Мишура Т.П.**

Перспективное использование RDF-сырья  
в строительстве и сельском хозяйстве .....37

**Селеннов В.Г., Михайлов А.В.**

Исследования лаборатории физики торфа  
Всесоюзного (Всероссийского) научно-  
исследовательского института торфяной  
промышленности .....43

**Мисников О.С., Зюзин Б.Ф., Копенкина Л.В.**

Профессор В.А. Миронов – ученый, педагог,  
общественный деятель  
(к 80-летию со дня рождения) .....48

УДК 556.5.04

**Ахметьева Н.П.**

Ахметьева Нина Петровна, с. н. с., к. г.-м. н., лаборатория гидрогеологических проблем охраны окружающей среды ИВП РАН, 119333, г. Москва, ул. Губкина, 3. nakhmeteva@rambler.ru.

**Михайлова А.В.**

Михайлова Алла Владимировна, с. н. с., к. х. н., лаборатория инструментальных методов и органических реагентов. ФГБОУН «Ордена Ленина и Ордена Октябрьской Революции Институт геохимии и аналитической химии им. В.И. Вернадского» Российской академии наук (ГЕОХИ РАН). 119991, ГС. П-1, Москва, ул. Косыгина, 19. xemafiltr@yandex.ru.

**Кричевец Г.Н.**

Кричевец Геннадий Николаевич, с. н. с., к. г.-м. н., лаборатория гидрогеологических проблем охраны окружающей среды ИВП РАН, 119333, г. Москва, ул. Губкина, 3. gkrich@yandex.ru.

**Беляев А.Ю.**

Беляев Алексей Юрьевич, старший научный сотрудник, к. ф.-м. н. Лаборатория гидрогеологических проблем охраны окружающей среды ИВП РАН, 119333, г. Москва, ул. Губкина, д. 3. believ@aqualazer.ru.

## **ТРАНСФОРМАЦИЯ АНТРОПОГЕННО НАРУШЕННЫХ ТОРФЯНЫХ БОЛОТ В НОВЫЙ ТИП ЛАНДШАФТА В ЦЕНТРАЛЬНЫХ РАЙОНАХ ЕВРОПЕЙСКОЙ ЧАСТИ РОССИИ**

*Аннотация.* Представлен фактический материал по данным 2015–2018 гг. – результатам полевых экспедиций, натуральных наблюдений и лабораторных экспериментов на антропогенно нарушенных торфяниках. Их осушение было проведено с различными целями: для торфодобычи или сельскохозяйственных работ, большое влияние на торфяники оказали пожары. Исследование посвящено вопросу изменения болотных ландшафтов после добычи торфа (Озерецко-Неплюевское), от пожаров (Галицкий мох) и от сельскохозяйственного использования (Журавлиная Родина). На изменение болотного ландшафта, независимо от использования, указывают такие факторы как увеличение аэробной зоны в профиле почвы, изменение гидрологического режима и появление небольшой растительности.

*Ключевые слова:* выработанные торфяники, антропогенное влияние, торфяные пожары, новый ландшафт, центр Европейской части РФ.

**Akhmet'eva N.P.**

Akhmet'eva Nina Petrovna, Ph.D., Senior Research of Environmental Hydrogeology Laboratory, Water Problems Institute of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Gubkina, 3. nakhmeteva@rambler.ru.

**Mikhailova A.V.**

Mikhailova Alla Vladimirovna, Ph.D. (analytical chemistry), Senior Research, Vernadsky Institute of Geochemistry and Analytical Chemistry of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Kosyigina, 19. xemafiltr@yandex.ru.

**Krichevets G.N.**

Krichevets Gennadiy Nikolaevich, Ph.D. (Candidate of geological-mineralogical sciences), Senior Research of Environmental Hydrogeology Laboratory of Water Problems Institute of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Gubkina, 3. gkrich@yandex.ru.

**Belyaev A.Yu.**

Belyaev Alexey Yuryevich, Ph.D. (Physics and Mathematics), Senior Research of Environmental Hydrogeology Laboratory, Water Problems Institute of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Gubkina, 3. believ@aqualazer.ru.

## **TRANSFORMATION OF ANTHROPOGENIC DISTURBED PEAT BOGS INTO A NEW TYPE OF LANDSCAPE IN THE CENTRAL REGIONS OF THE EUROPEAN PART OF RUSSIA**

*Abstract.* Data on anthropogenically affected peatlands are presented, which have been collected in 2015–2018 in field expeditions and observations, as well as laboratory analyses. These peatlands have been drained for different purposes, including peat production or agricultural operations; some areas show a strong effect of fires. The study is focused on changes in landscapes in abandoned peatlands (Ozeretsko-Neplyuevskoe), as well as peatlands affected by fires (Galitskii Mokh) and agricultural fertilizers (Zhuravlinaya Rodina). The changes in the bog landscape, whatever the previous use, can be seen in the following factors: a change in the conditions to aerobic, the impossibility of restoration of the hydrological regime that is typical of bogs, and the appearance of new vegetation, often weed or not typical of bogs.

*Keywords:* developed peatlands, anthropogenic influence, peat fires, new landscape, center of the European part of the Russian Federation.

## Введение

В центральной части европейской России площади болот составляют ~8 млн. га, из них на 1 млн га велись торфоразработки [1]. Первые торфоразработки появились под Санкт-Петербургом в начале XVIII века. В XIX веке они действовали в Псковской, Смоленской и Московской областях. Наиболее крупные из них появились в середине XX века для снабжения топливом крупнейших тепловых электростанций областных городов. С 1970-х гг. станции стали переходить на использование газа и мазута. В связи с прекращением закупок торфяного сырья для нужд сельского хозяйства в 1990-е гг., поставки торфа и его добыча стали сокращаться, все большие площади торфоразработок оставляли.

В 1960–80-е гг. XX века активно проводились работы по осушению торфяных болот под лесоводство.

Большое влияние на трансформацию торфяных болот оказали торфяные пожары, охватившие центральные области страны в 1972 г., затем в 2002, 2007, 2010 и 2014 гг. [2, 3, 4, 5].

В результате антропогенной деятельности на болотах происходит снижение их поверхности, перераспределение влаги в профиле торфяной залежи, минерализация верхних слоев торфа, изменение растительности и формирование нового типа ландшафта. Определение оставленных торфоразработок как типов промышленных ландшафтов – торфяно-болотные пустоши [6], авторы считают не полным.

В настоящее время большинство бывших торфоразработок, осушенных площадей под сельское хозяйство и горевших торфяников являются брошенными землями, на которых регулярно возникают пожары. На некоторых площадях происходит естественное восстановление болот (в основном это верховые болота), небольшая часть бывших болот восстанавливается человеком, а на некоторых площадях происходит их трансформация в новый тип ландшафта – заболоченный луг или культурный ландшафт (садово-огородные участки, поселки и даже части города, построенные на территории прежних торфяников).

В настоящее время ведутся дискуссии о роли болотных угодий, их возможном использовании, необходимости восстановления заброшенных торфяников, о возможности их естественного восстановления и о том, при каких условиях это может происходить [7, 8, 9, 10, 11].

Цель работы – на примере многолетних полевых исследований и наблюдений на выработанных торфяниках Журавлиная Родина, Галицкий мох и Озерецко-Неплюевское показать

изменения их ландшафта по физико-химическим параметрам торфа, торфяных и зольных вытяжек, болотных вод, а также по растительному покрову. На этом основании выдвинуто предположение о дальнейшей смене этих ландшафтов.

## Объекты исследований и результаты наблюдений

Экспедиционные наблюдения проводились в течение последних 18 лет. Площадки наблюдений выбраны таким образом, чтобы возможно было проследить изменения от главных факторов влияния торфоразработок и антропогенного воздействия: 1 – от пожаров на Галицком мхе [2, 12, 13, 14, 15], 2 – от осушения под сельхозугодья на Журавлиной Родине [16, 17, 18] и 3 – от влияния торфодобычи на Озерецко-Неплюевском болоте [19].

На болоте Галицкий мох наши наблюдения проводились вблизи поселка Радченко, расположенного у автодороги Москва–Санкт-Петербург. Долгое время этот осушенный и выработанный участок болота находится в состоянии самовосстановления. Летом 2010 г. здесь произошел сильный пожар, торф тлел практически до ноября. В представленной работе приводятся данные, полученные за 2016 и 2018 гг.

Комплекс охраняемых территорий заказника «Журавлиная Родина» находится на территории известного с 1920-х гг. XX века Дубненского болотного массива Талдомского района Московской области.

Озерецко-Неплюевский торфяник расположен у пос. Озерки в Конаковском районе Тверской области в составе городского поселения Изоплит рядом с национальным парком «Завидово». Торфопредприятие существовало с 30-х по 90-е гг. XX века. Это был большой болотный массив с озерами, родниками, ручьями и реками.

На площадках наблюдения отбирали болотную воду из шурфов, образцы торфа по профилю залежи до подстилающих пород. Экспериментальные результаты представлены в таблицах.

Химический анализ образцов выполнен в филиале ИВП РАН – химической лаборатории Ивановской научно-исследовательской станции в г. Конаково.

*Галицкий мох* (ГМ). Здесь на сгоревшей части торфяника площадью ~1 тыс. м<sup>2</sup> авторы статьи в течение 8 лет (2010–2016 и 2018 гг.) проводили наблюдения за изменением разреза торфа, качеством болотной воды, гидрологическим режимом участка, восстановлением растительности, развитием микробного сообще-

ства и появлением нового типа беспозвоночных животных (дождевые черви семейства *Lumbricus*) в пирогенном торфе. Наблюдения проводились ежегодно во второй половине августа перечисленных лет, химические анализы почвенной вытяжки (зола, пирогенного и термически измененного торфа) и болотной воды выполнены в гидрохимической лаборатории Институт водных проблем (ИВП РАН). Исследуемый участок до пожара представлял собой участок мезотрофного в исходном состоянии участка болота общей площадью 4 тыс. га, осушенного под торфоразработки.

Работа началась 26 августа 2010 г. на участке, который еще горел в отдельных местах. Упавшие деревья на участке сгорели полностью. Сразу после пожара поверхность площадки ГМ была с отдельными углублениями до 30 см (места выгоревшего торфа). Сверху образовался горелый торф с тонкими пластинками черных углей размером 1,5–2 мм. Цвет слоя почти черный, структура рассыпчатая. Глубже торф становился более пластичным. Не повсеместно на поверхности или на глубине 0,1–0,2 м залежала торфяная зола ярко рыжего цвета мощностью 1–1,5 см, в основании зольного горизонта встречались небольшие черные угли. Цвет слоя залежи под золой оставался почти черным, а с глубиной он менялся на коричневый. Мощность торфа – 0,8 м, подстилающие породы – суглинки, местами супеси. Повышен-

ная температура породы сохранялась ниже поверхностного слоя. Так, образцы торфа с глубины 0,4 м оплавляли полиэтиленовые мешочки, а газетные листы, приготовленные для их отбора, воспламенялись. Торф на глубине 0,7 м был теплым на ощупь, подстилающая порода была холодной. В лабораторных условиях были определены коэффициенты фильтрации различных слоев торфа на месте пожара.

Верхний слой обгоревшего торфа (со спекшейся структурой) имел коэффициент фильтрации до 100 м/сут. Расположенный ниже черный торф с глубины 0,4 м–4,8 м/сут., а коричневый торф под ним с глубины 0,7 м–1,9 и 3,3 м/сут., притом, что коэффициент фильтрации аналогичных торфов в естественном залегании, как известно, составляет 0,016–0,06 м/сут.

Относительное содержание влаги переходного торфа, исследуемой площадки составляло 70–90 % даже в засушливые годы. В целом гидрологический режим участка Галицкого мха до пожара 2010 г. приближался к естественному (мелиоративные каналы 1960-х гг. не оказывали значительного влияния). Уровень болотных вод (УБВ) в мае-июне располагался вблизи поверхности, а в июле-сентябре каждого года снижался до 0,6–0,8 м.

В послепожарный период слои торфа приобрели аэробные условия, за счет чего ускорились процессы минерализации органического вещества (ОВ).

**Таблица 1.** Результаты химического анализа природной болотной воды, отбор проб – июнь 2016 г.  
**Table 1.** The results of chemical analysis of natural bog water samples, June 2016

Определяемая характеристика, ед. изм.	Наименование МВИ	Участки болота			
		Журавлиная Родина			Галицкий мох
		Верховой	Переходный	Низинный	Переходный горелый
Водородный показатель, ед. рН	ПНД Ф 14.1:2:3:4.121-97	4.1 + 0.2	6.3 + 0.2	7.5 + 0.2	6.8 + 0.2
Удельная электрическая проводимость, мкС/см	РД 52.24.495-2005	6.7 + 0.7	42.6 + 2.1	65.8 + 3.3	51.8 + 3.1
Цветность, мг/дм <sup>3</sup>	ПНД Ф 14.1:2:4.207-04	1200 + 120	300 + 30	350 + 35	150 + 15
Жесткость, мг-экв./дм <sup>3</sup>	ГОСТ 31954-2012	0.32 + 0.05	4.8 + 0.7	6.8 + 0.9	5.1 + 0.8
Сухой остаток, здесь и далее в мг/дм <sup>3</sup>	ПНД Ф 14.1:2.114-97	185 + 19	374 + 34	516 + 49	398 + 36
Сульфаты	ПНД Ф 14.1:2.159-2000	2.3 + 0.6	50.4 + 5.5	114 + 13	113 + 12
Хлориды	ПНД Ф 14.1:2.96-97	<10	<10	<10	<10
Азот аммонийный	ПНД Ф 14.1:2.1-95	0.9 + 0.3	1.9 + 0.4	0.8 + 0.3	0.08 + 0.03
Азот нитратный	ПНД Ф 14.1:2.4-95	1.5 + 0.3	1.6 + 0.3	1.3 + 0.2	1.6 + 0.3
Фосфаты	ПНД Ф 14.1:2.112-97	<0.05	<0.05	0.77 + 0.11	<0.05
Железо общее, растворенное (Fe <sup>+n</sup> )	РД 52.24.358-2005	0.9 + 0.1	0.33 + 0.04	1.04 + 0.14	0.36 + 0.04
Кремний	РД 52.24.433-2005	2.6 + 0.3	5.1 + 0.5	2.3 + 0.3	4.0 + 0.4
Марганец (Mn <sup>+2</sup> )	ПНД Ф 14.1:2.103-97	<0.05	0.16 + 0.04	0.09 + 0.04	<0.05

Сравнивая полученные в 2016 и 2018 гг. данные (табл. 1) по ГМ с фоновым содержанием водорастворимых компонентов в верхнем горизонте залежи этого же болота, можно отметить, что значения в основном сравнялись с фоновыми. Остаются несколько повышенными со-

держания фосфора, сильно завышены содержания сульфат-ионов и ионов кальция, а также железа, содержание нитрат-ионов снизилось (по-видимому, из-за интенсивного поглощения азота растениями, появившимися к моменту исследований).

**Таблица 2.** Результаты химического анализа торфа и золы и их вытяжки болота Галицкий мох (июнь 2016 г.)  
**Table 2.** The results of chemical analyses of peat, ash, and their aqueous extracts of the Galitskii Mokh mires, June 2016

Определяемая характеристика, единицы измерения	Наименование МВИ, ГОСТ	Результаты анализа по разрезу			
		Поверхность	0,05–0,25 м (зола)	0,3–0,4 м (торф)	0,4–0,5 м (торф)
Удельная электрическая проводимость, мС/м	ГОСТ 26423-85	12.1 + 0.9	33.9 + 1.7	9.9 + 0.7	11.2 + 0.8
pH водной вытяжки, ед. pH	То же	7.4 + 0.1	7.6 + 0.1	6.5 + 0.1	6.7 + 0.1
pH солевой вытяжки (KCl), ед. pH	То же	7.3 + 0.1	7.2 + 0.1	6.0 + 0.1	6.2 + 0.1
Железо трехвалентное, мг Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> /100 г почвы	ГОСТ 27395-87	0.51 + 0.05	0.61 + 0.05	27.6 + 0.1	223.9 + 0.1
Железо двухвалентное, мг FeO/100 г почвы		5.36 + 0.05	11.51 + 0.05	203.1 + 0.1	265.5 + 0.1
Железо общее, мг Fe <sup>n+</sup> /100 г почвы		5.87 + 0.05	12.12 + 0.05	230.7 + 0.1	489.4 + 0.1
Хлориды в водной вытяжке, %	ГОСТ 26425-85	~0.007	~0.004	~0.004	~0.006
Бикарбонаты в водной вытяжке, %	ГОСТ 26424-85	0.36	0.4	0.26	0.27
Сульфаты в водной вытяжке, мг/100 г почвы	ГОСТ 26426-85	46.6 + 4.7	374.1 + 28.1	110 + 11	127.9 + 12.8
Азот нитратный, мг N/100 г почвы	ПДН Ф 16.1:2:2.3.67-10	3.1 + 0.2	2.6 + 0.2	4.6 + 0.3	10.5 + 0.8

Наибольшие изменения произошли в зольном горизонте (табл. 2). Здесь содержание зольных минеральных частиц составляет 42–86 %, а содержание ОВ снизилось до 14–58 %, повысилось содержание ионов кальция и фосфат-ионов. К 2018 г. в верхней части разреза появилась хорошо развитая дернина – слабо влажная, рыхлая, мощностью до 20 см. В ее основании был встречен дождевой червяк. Еще несколько ниже залегает прослой плотно слежавшейся золы желтого цвета. Ниже залегает торф черный, хорошо разложившийся, с глубины 0,6 м окраска меняется на бурую или темно-коричневую.

По мнению авторов статьи, на исследуемом участке ГМ создались условия для формирования новой почвы – промывной водный режим, доступ кислорода воздуха, наличие травяного покрова и молодого листового леса. При этом отмечается исчезновение некоторых видов растений, характерных для болотного ландшафта, – печеночных, гипновых и сфагновых мхов, осоковых. Листовой опад осины, березы, ивы и ольхи снабжает характерными для почв основными минеральными и органическими веществами, формирующими новый тип почв. По-видимому, главной причиной развития нового типа почв, а вслед за этим и нового

типа ландшафта, является изменившийся гидрологический режим территории.

На бывшем болоте ГМ медленно и неуклонно идет процесс сокращения площади болота и превращения ее в заболоченный луг или заболоченный лес, а при активном вмешательстве человека – в культурный ландшафт (садово-огородные или дачные участки). Болото со стороны пос. Радченко и пос. Редкино уже освоены, на них построены дома, участки засажены сельскохозяйственными культурами, в некоторых хозяйствах содержится скот. Следует отметить, что пос. имени Радченко возник в 1920–1930 гг. на болоте. В настоящее время это современный поселок с 2- и 5-этажными благоустроенными домами и сосновым парком.

По мнению автора работы [20], исследуемая система движется в направлении геобиоценоза иного типа, не связанного с восстановлением болота. Критерием является структура фитоценоза за 2010–18 гг. Болотная экосистема имеет всегда четкие растения-индикаторы, доминирование которых стабильно отражает характерные для болот условия.

После пожара 2010 г. наблюдается тенденция заселения участка травянистой раститель-

ностью. Первыми появились крапива (указывающая на высокое содержание азота в почве), подмаренник настоящий, малина обыкновенная, полынь. Появились осока острая и осока двудомная, но в незначительных количествах. В последующие годы стали развиваться астровые и злаки. Данный фитоценоз характеризуется как разнотравно-злаковый луг, и переход его в болотный фитоценоз слабо вероятен.

На ГМ пожар вызвал значительные изменения в структуре и активности бактериального сообщества болота. Появились новые группы бактерий, не типичные для естественного мезотрофного болота, они могут стать причиной разрушения некоторых устоявшихся биосферных закономерностей данной экосистемы [2, 13]. Следует также отметить, что во вновь образующейся почве в 2018 г. были обнаружены дождевые черви, которые в болоте не встречаются.

*Заказник «Журавлиная Родина».* Другим примером трансформации болота в другой тип ландшафта являются мезотрофный и евтрофный участки болота рядом с заказником «Журавлиная Родина».

В 1970–80-е годы в нечерноземной зоне нашей страны широко проводились работы по осушению болот под нужды сельского хозяйства. На олиготрофных, мезотрофных и евтрофных болотах на правом берегу р. Дубна близ д. Леоново были прорыты десятки километров мелиоративных осушительных каналов (земли животноводческого совхоза Северный). И сейчас, в начале XXI в., осушенные в 1980-е годы мезотрофные и евтрофные болота справа и слева от дороги на д. Окаево используются под сеяные травы (бывшие мезотрофные болота) и овощные культуры – морковь, картофель, капусту и свеклу (бывшие низинные болота).

Летом 2011 г., а также в 2014, 2015 и 2016 г. авторы работали в заказнике «Журавлиная Родина», стараясь выявить изменения в физико-химических характеристиках почвенных разрезов, химическом составе болотных вод, в проведении мероприятий по обводнению и подтоплению некоторых болот.

На осушенном мезотрофном болоте была проведена плантажная вспашка глубиной до 0,8 м, при которой выкорчевываются корни деревьев. Практически каждой весной вносились азотно-фосфорно-калийные минеральные удобрения. В настоящее время на полях сверху залегают сухой торф с глубокими трещинами рассыхания, торф средней степени разложения, пластичный.

На глубине 0,2–0,7 м торф травяного состава становится более светлой окраски с включениями слабо разложившейся древесины. Ниже

0,7 м торф становится влажным, УБВ устанавливается на глубине около 1,0 м. С глубины 1,4 м залегают пески кварцево-полевошпатовые водонасыщенные, которые постепенно переходят в суглинки и сапропели.

В северной части описываемого участка в начале 2000-х гг. были пробурены три скважины для наблюдения за УБВ. По данным наблюдений в течение года было установлено, что уровень воды колеблется от 0,4 м в весенний период до 1,2–1,6 м в период летней межени, в зимний период уровень стоит на глубине 1,0–1,8 м. Значения естественной влажности пород в верхнем 40 см слое в летний период составляет 30–50 % (минимальное значение в 28,6 % было зафиксировано в 2010 г. в торфе мезотрофного болота), тогда как в ненарушенном мезотрофном болоте эта величина составляет около 90 % по всему разрезу залежи торфа, независимо от погодных условий.

Таким образом, благодаря проведению весенней вспашки, внесению удобрений, засеиванию территории кормовыми травами, проведению некоторых, хотя и нерегулярных сельскохозяйственных работ, на участке сформирован промывной гидрологический режим, отличающийся от болотного застойного режима и ведущий к изменению почвы.

Ближе к р. Дубна, справа от дороги на д. Окаево располагаются осушенные низинные болота, используемые совхозом Северный под посадку картофеля и посеvy моркови, свеклы и других культур. Поля ежегодно распахивают, вносят минеральные удобрения, летом проводят прополку, окучивание картофеля, рыхление земли. Осенью при сборе урожая почвенный слой снова подвергается нарушению структуры. В 2016 г. нами была пробурена скважина № 3 (рис. 1) глубиной 2,5 м (до подстилающих материнских пород).

Порядок залегания слоев следующий:

0,0–0,2 м – пахотный слой, представленный темно-серой почвой пылевой структуры, без видимых остатков торфяных растений;

0,2–0,6 м – почва становится более плотной, листоватой структуры, более темной окраски, пластичной;

с глубины 0,6 м – почва представлена торфом влажным, пластичным, местами рыхлым, более светлой окраски;

на глубине 1,2 м – залегают сапропель, светло-серый, содержит мелкие белые раковины моллюсков диаметром до 5–6 мм. Вскрытая мощность сапропелей 0,8 м.

УБВ установился на глубине 2,0 м.

Химический состав болотной воды торфяноместорождений представлен в табл. 1.



На правом берегу р. Дубна осушались под сельское хозяйство все типы болот – олиготрофные, мезотрофные и евтрофные.

В настоящее время олиготрофные болота не осушены и не используются, тогда как мезотрофные и евтрофные, осушенные в 1980-е годы, используются до сих пор. Сельскохозяйственные поля протянулись на несколько километров вдоль правого берега р. Дубна до д. Нушполы. Урожай сельскохозяйственных культур достаточно высокий. Можно сделать вывод, что мезотрофные и евтрофные болота на правом берегу р. Дубна превращены человеком в новый тип ландшафта – пашню, выпас для скота, заболоченный луг, с типом почвы – окультуренные торфяные.

*Озерецко-Неплюевское* болото может служить примером трансформации в связи с добычей торфа. Освоение торфяного месторождения началось в 1930-х гг., но только в 1951 г. был построен пос. Озерки и налажено производство торфяной продукции, в том числе и для работы Калининской ТЭЦ. В 1961 г. было освоено производство торфо-минеральных аммиачных удобрений для сельского хозяйства. Добыча торфа за период 1930–1982 гг. составила 27 459 тыс. тонн. Добыча торфа завершилась в начале 1990-х гг.

Озерецко-Неплюевское болото в основном евтрофного типа с глубоким залеганием УБВ – в 1,3–3,0 м. Торф имеет зольность 8–10 %, значение pH водной вытяжки составляет ~6, с глубиной значение повышается до 7,0–7,5, что объясняется подпитыванием напорными водами известняков карбона, для которых характерны указанные значения. Мощность оставшегося слоя торфа ~2 м (0,5–5 м). Подстилающими породами являются сапрпели, иногда суглинки, отличающиеся очень низкой водопроницаемостью.

Порядок залегания слоев торфяной залежи

следующий:

0,0–0,15 м – дерн;

0,15–0,4 м – торф черный, рыхлого сложения, с редкими растительными остатками трав, слабо влажный ( $w = 55\text{--}56\%$ );

0,4–1,0 м – торф черный, однородной окраски, пластичный, слабо влажный ( $w = 56\text{--}70\%$ );

1,0–1,5 м – торф черный, липкий, однородный, без растительных остатков, влажный ( $w = 74\text{--}81\%$ );

с глубины 1,5 м – суглинок светло-серый, пластичный, влажный.

УБВ установился на глубине 1,3 м.

Результаты анализа торфа и водной вытяжки представлены в табл. 3 и 4 соответственно. Изучение химического состава Озерецко-Неплюевских торфяников приводит авторов к следующим выводам.

Показатели химического состава антропогенно нарушенных торфяников имеют схожие черты с дерново-подзолистыми почвами центральной части России, а именно – их кислотность нейтральная или слабо щелочная, содержание поглощенного азота высокое, значительно выше, чем в торфяных почвах, высоко содержание поглощенного фосфора (по Кирсанову) – 4,16–41,4 мг  $P_2O_5/100$  г почвы вверху разреза и до 3 мг/100 г на глубине более 0,3 м. Содержание Ca и Mg также достаточно высокое (кальция 30–105 мг-экв/100 г почвы, а в естественном низинном торфе 0,4–0,6 мг-экв/100 г, магния до 2 мг-экв/100 г). Следует отметить высокую степень насыщенности основаниями в 77–100 % (в естественном торфе 20–30 %). Относительно органического вещества во вновь формирующейся почве можно сказать, что гумусовый горизонт еще маломощный (3–7 см), плохо сформировавшийся. Следует отметить, что на площадке Галицкий мох и на пахотных землях правобережья реки Дубны наблюдается такая же закономерность.

**Таблица 3.** Результаты химического анализа торфа Озерецко-Неплюевского торфяника за сентябрь 2014 г. и октябрь 2015 г.

**Table 3.** The results of chemical analyses of peat of the Ozeretsko-Neplyuevskoe mires, September 2014 and October 2015

Глубина отбора, м	pH		Железо, мг $Fe^{n+}/100$ г почвы ГОСТ 27395-87			Азот- $NH_4^+$ поглощенный, мг N/100 г почвы	Зольность, %	Фосфор, мг $P_2O_5/100$ г почвы	Обменные, мг-экв/100 г почвы		Степень насыщенности основаниями, %	Сумма поглощенных оснований мг-экв/100 г почвы	Гидролитическая кислотность
	$H_2O$	KCl	$Fe^{2+}$	$Fe^{3+}$	$Fe^{n+}$ общее				$Ca^{2+}$	$Mg^{2+}$			
<i>2014 год</i>													
Поверхность, до 0,15	8.7	8.2	0.37	н.о.*	–	1.2	96	1.6	32.7	7.3	~100	495	<0.01
до 0,2	7.7	7.5	226	235	461	6.3	н.о.	41.4	30	6.9	86.8	50.5	7.7
до 0,3	7.5	7.2	37	498	535	9.1	69	31	71.5	10	91.6	114	10
до 0,5	6.8	6.5	61	25	86	1.5	н.о.	10	10.4	3.4	76.9	35	11

Глубина отбора, м	рН		Железо, мг Fe <sup>n+</sup> /100 г почвы ГОСТ 27395-87			Азот-NH <sup>4+</sup> поглощенный, мг N/100 г почвы	Зольность, %	Фосфор, мг P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> /100 г почвы	Обменные, мг-экв/100 г почвы		Степень насыщенности оснований, %	Сумма поглощенных оснований, мг-экв/100 г почвы	Гидролитическая кислотность
	H <sub>2</sub> O	KCl	Fe <sup>2+</sup>	Fe <sup>3+</sup>	Fe <sup>n+</sup> общее				Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>			
<i>2015 год</i>													
Поверхность, до 0,1	7.9	7.7	0.03	0.38	0.41	4.6	69.9	1.64	93.7	3.4	98.9	350.6	3.8
до 0,15	6.8	5.9	13	199	212	3.2	11.5	6.7	105	10.3	85.8	181.3	30.1
до 0,3	6.1	5.3	98	63	161	4.1	52.6	3.0	64.5	8.8	83.6	135.8	26.6

\* – не определяли

**Таблица 4.** Результаты химического анализа водной вытяжки образцов Озерецко-Неплюевского торфяника за сентябрь 2014 г. и октябрь 2015 г.  
**Table 4.** The results of chemical analysis of aqueous extracts from peat samples taken from Ozeretsko-Neplyuevskoe peat bog in September 2014 and October 2015

Глубина отбора, м	Удельная электрическая проводимость, мС/м	Перманганатная окисляемость, мгС/100 г	Цветность, град. Pt-Co шкалы	Сухой остаток, %	Азот нитратный, мг N/100 г	Сульфаты, мг/100 г	Бикарбонаты, %	Хлориды, %	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>
									мг-экв/100 г	
<i>2014 год</i>										
0–0,15	54	21.4	41	1.8	5.7	1460	0.4	0.004	24.3	2.0
до 0,2	73.6	46.5	765	0.4	0.74	46.9	0.1	0.001	3.1	0.4
до 0,3	20.9	114	180	1.0	2.5	106	0.5	0.007	9.7	1.2
до 0,5	6.5	13.3	202	0.1	0.5	12.6	0.03	0.001	0.5	0.2
<i>2015 год</i>										
0–0,1	10.5	н.о.	н.о.	0.3	1.9	42.5	0.3	0.004	4.79	0.68
до 0,15	7.2	н.о.	н.о.	0.3	4.0	48.9	0.2	0.008	2.74	2.05
до 0,3	3.1	н.о.	н.о.	0.02	2.4	24.6	0.09	0.009	1.74	1.24

Наши работы велись на площадке, нетронутой пожарами, хотя в целом особенностью этого болота является его высокая пожароопасность. Торфяные пожары здесь случаются практически каждый год из-за глубокого залегания УБВ и особого водного режима бывшего болота. В жаркие летние месяцы происходит иссушение верхних слоев торфа до 35–40 %.

В настоящее время торфопредприятие закрыто. Выработанные торфоразработки заброшены, нерекультивированы. Они представляют собой весьма неприглядную пожароопасную картину. Правительством Тверской области принято решение провести обводнение болота, создать на его месте зону отдыха для жителей окружающих деревень и городов [19].

### Заключение

Болота при их интенсивной эксплуатации теряют свою главную роль в природе – быть регулятором водного режима рек, озер и водохранилищ, а также быть основным депоном углекислого газа из атмосферы. По данным экспериментальных исследований болота в среднем поглощают 40 г/м<sup>2</sup> в год углерода с учетом эмиссии углекислого газа и метана [21, 22].

Формирование новых типов ландшафта на освоённых болотах ведет к созданию ситуаций повышенного техногенного риска. По мнению авторов, на таких участках в основном создаются условия, близкие для формирования традиционных дерново-подзолистых почв. Благодаря возникновению травянистой растительности на поверхности антропогенно нарушенных торфяников, развивается дернина, под ней – гумусовый горизонт, еще ниже в связи с промывным гидрологическим режимом формируется горизонт вымывания (количество Са, Mg, К, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, и соединений азота несколько убывает), но с глубины 0,5–0,7 м их количество вновь возрастает (горизонт вымывания). Материнская порода залегает на глубине 0,8–1,3 м там, где располагается УБВ. Время формирования нового ландшафта занимает не менее 40–50 лет. За это время лишь при благоприятных условиях и на отдельных площадях формируется устойчивый культурный ландшафт.

Для сохранения болот как самостоятельного типа ландшафта и снижения их пожароопасности территории нарушенных болот нуждаются в рекультивации или принудительном подтоплении выработанных торфяных массивов. Интересен опыт их использования для выращивания влаголюбивой растительности.

В Тверской области впервые стали применять выращивание тростника для изготовления пеллет как альтернативного вида топлива. Найти компромисс между использованием торфа (очень нужного в некоторых районах страны) и сохранением болот в случае заботы об их экологическом состоянии – основная задача современных болотоведов.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ (проект 14-05-00555).

Авторы выражают благодарность коллегам, принимавшим участие в работах по болотам в различные годы – Лапиной Е.Е., Кудряшовой В.В., Ероценко С.А., Букреевой О.П., Войтехову В.Я.

### Библиографический список

1. Каменнова И.Е., Минаева Т.Ю. О проекте «Восстановление торфяных болот в России в целях предотвращения пожаров и смягчения изменений климата» / В сб.: IX Галкинские Чтения. Материалы конф. Изд-во: Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ» им. В.И. Ульянова (Ленина). СПб. 2018. С. 89–92.
2. Ахметьева Н.П., Белова С.Э., Джамалов Р.Г., Куличевская И.С., Лапина Е.Е., Михайлова А.В. Естественное восстановление болот после пожаров / Вод. ресурсы. 2014. Т. 41. № 4. С. 343–354.
3. Ахметьева Н.П., Лапина Е.Е., Михайлова А.В. Изменение химического состава болотных вод после пожаров 2010 года (на примере водосбора Ивановского водохранилища) / Труды Инсторфа: научный журнал. 2011. Т. 57. № 4. С. 12–16.
4. Панов В.В., Цымлякова С.С. Пространственная структура пожаров и гари на техногенно нарушенных торфяных болотах / Известия Русского географического общества. 2013. Т. 145. № 1. С. 80–90.
5. Ахметьева Н.П., Михайлова А.В., Федорова Л.П. Восстановление растительности и почвенного покрова на начальной стадии зарастания гарей на выработанных торфяниках / Лесоведение. 2018. № 2. С. 119–129.
6. Мильков Ф.Н. Общее землеведение. М.: Высшая школа, 1990. 336 с.
7. Инишева Л.И., Порохина Е.В. Болота и торфяные ресурсы России и направления их использования / Использование и охрана природных ресурсов в России. 2018. № 2 (154). С. 3–9.
8. Панов В.В., Мисников О.С. Тенденции развития торфяной отрасли России / Горный журнал. 2015. № 7. С. 108–112.
9. Синюткина А.А., Гашкова Л.П., Малолетко А.А., Магур М.Г., Харанжевская Ю.А. Трансформация поверхности и растительного покрова осушенных верхних болот юго-востока Западной Сибири / Вестник Томского государственного университета. Биология. 2018. № 43. С. 196–223.
10. Сирин А.А., Арустов Э.А., Гильденскиольд С.Р. К итогам по обводнению пожароопасных торфяников и восстановлению болотных экосистем на территории Московской области / Сб. мат. науч.-практической конф. «Законодательство в области охраны окружающей среды: 25-летний опыт реализации и перспективы развития», в разделе «Охрана растительного и биологического разнообразия: тенденции развития государственной политики». М.: РИД «Российский писатель». 2018. С. 24–27.
11. Minaeva T.Yu., Bragg O.M., Sirin A.A. Towards ecosystem-based restoration of peatland biodiversity / Mires and Peat. 2017. Vol. 19 (1). P. 1–36. Doi: 10.19189 / Mar. 2013. OMB. 150.
12. Ахметьева Н.П., Беляев А.Ю., Гринченко О.С., Кричевец Г.Н., Кудряшова В.В., Лапина Е.Е., Михайлова А.В. Заказник Журавлиная Родина: современное состояние и охрана от торфяных пожаров на осушенном болоте «Дубненский массив» / Труды Института торфа: научный журнал. 2016. Т. 14. № 67. С. 12–21.
13. Belova S.E., Kulichevskaya I.S., Dedysh S.N., Akhmeteva N.P. Shifts in a bacterial community composition of mesotrophic peatland after wildfire / Microbiology. 2014. Vol. 83. № 6. Pp. 813–819.
14. Глухова Т.В., Сирин А.А. Потери почвенного углерода при пожаре на осушенном лесном верховом болоте / Почвоведение. 2018. № 5. С. 580–588.
15. Зайдельман Ф.Р., Шваров А.П. Пирогенная и гидротермическая дегградация торфяных почв, их агроэкология, песчаные культуры, земледелие, рекультивация. М.: Изд-во МГУ, 2002. 164 с.
16. Беляев А.Ю., Кричевец Г.Н., Ахметьева Н.П. Методы теории фильтрации в задачах, возникающих при обводнении болотных массивов / Вод. ресурсы. 2018. Т. 45. № 4. С. 385–395.
17. Государственный природный заказник «Журавлиная Родина». Официальный сайт CraneLand.ru (дата обращения: 17.04.2019).
18. Гринченко О.С. Журавлиная Родина: очерки о природе и людях. М.: Российская программа Wetland International, 2009. 160 с.
19. Пилотный проект «Озерецко-Неплюевское». 2017. Российская программа Wetlands International (<https://russia.wetlands.org/ru/Проекты>) (дата обращения: 19.04.2019).
20. Кравец К.Ю. Определение направления эволюции нарушенной болотной экосистемы посредством оценки изменений в фитоценозе. В сб. трудов X Междунар. научной конф. молодых и талантливых студентов «Водные ресурсы, экология и гидрологическая безопасность». М.: ИВП РАН, 2016. 230 с. / Отв. ред. Н.Н. Митина. Секция 5. С. 205–207. [URL: <https://www.iwp.ru/about/news/opublikovan-sbornik-trudov-kh-mezhdunarodnoy-nauchnoy-konferentsii-molodykh-uchenykh-i-talantlivykh>] (дата обращения: 19.04.2019).
21. Паников Н.С., Титлянова А.А., Палеева М.В., Семенов А.М., Мироньчева-Токарева Н.П., Дубинин Е.В., Ефремов С.П. Эмиссия метана из болот юга Западной Сибири / ДАН. 1993. Т. 330. № 3. С. 388–390.
22. Пьявченко Н.И. Биологическая продуктивность и круговорот веществ в болотных лесах Западной Сибири / Лесоведение. 1967. № 3. С. 28–36.

УДК 330.44:[553.97:581.5](470.331)

### **Шахматов К.Л.**

Шахматов Кирилл Леонидович, к. т. н., доцент каф. «Горное дело, природообустройство и инженерная экология» Тверского государственного технического университета (ТвГТУ), Тверь, наб. Аф. Никитина, 22, krl81@list.ru.

### **Панов В.В.**

Панов Владимир Владимирович, д. г. н., проф. каф. «Горное дело, природообустройство и инженерная экология» Тверского государственного технического университета (ТвГТУ), Тверь, наб. Аф. Никитина, 22, vvpanov61@gmail.com.

## **АНАЛИЗ ЭКОНОМИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ ПОЛУЧЕНИЯ БИОМАССЫ ВЛАГОЛЮБИВЫХ КУЛЬТУР НА ПОВРЕЖДЕННЫХ ТОРФЯНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЯХ ТВЕРСКОЙ ОБЛАСТИ**

*Аннотация.* Данная работа содержит предварительные выводы об экономических расчетах выращивания биомассы тростника и получения на ее основе биомассы для различных целей. Существует ряд работ, посвященных отдельным вопросам выращивания влаголюбивых культур, таким как технологические приемы посадки, выращивания и сбора урожая, изготовления и производства различных видов продукции и т. д. В то же время экономическим и юридическим вопросам получения биомассы влаголюбивых культур на сегодняшний день не уделяется должного внимания. В данной статье рассматриваются некоторые ключевые вопросы по данным темам.

*Ключевые слова:* торфяные месторождения, влаголюбивые культуры, биомасса, экономика биомассы, вторичное обводнение, восстановление болотных систем.

### **Shakhmatov K.L.**

Shakhmatov Kirill L., PhD (engineering), Associate of Professor of the Chair of Mining Engineering, Environmental Management, Industrial Ecology of Tver State Technical University.

### **Panov V.V.**

Panov Vladimir V., Dr. Sc., Prof. of the Chair of Mining Engineering, Environmental Management, Industrial Ecology of Tver State Technical University.

## **THE ANALYSIS OF ECONOMIC FACTORS FOR OBTAINING BIOMASS OF POLUDYCULTURES IN DAMAGED PEATLANDS OF TVER REGION**

*Annotation.* This work contains preliminary conclusions about the economic calculations of growing reed biomass and obtaining biomass based on it for various purposes. There are some works devoted to specific issues of growing moisture-loving crops, such as technological methods, growing and harvesting, processing of biomass etc. At the same time, the economic and legal issues of obtaining biomass of moisture-loving crops have not been given due attention to date. This article discusses some key issues on these topics.

*Keywords:* peatlands, paludicultur, biomass, economy of biomass, rewetting, peatland restoration.

## Введение

В последние 8 лет на территории Тверской области было реализовано несколько проектов по вторичному обводнению ранее разработываемых торфяных месторождений. Целью данных работ было восстановление болотных экосистем. Также достаточно активно изучался вопрос выращивания влаголюбивых культур для получения биомассы, в частности, тростника обыкновенного (*Phragmites australis*) [1, 2]. Изучались технологические приемы посадки и выращивания тростника, вопросы заготовки, транспортировки и производства на основе этой биомассы некоторых видов продукции. При этом нераскрытыми остаются экономические вопросы получения биомассы влаголюбивых культур.

Данная работа была выполнена в рамках реализации проекта Международной инициативы по защите климата «Восстановление торфяных болот в России в целях предотвращения пожаров и смягчения изменений климата».

## Методики расчета себестоимости

При анализе экономических факторов получения биомассы тростника существует несколько возможных направлений такого анализа: учет всех затрат, определение себестоимости биомассы по различным методикам, определение цены и потенциального дохода от выращенной биомассы и возможной продукции на ее основе и т. д. Целью данной работы является рассмотрение всех основных затрат на создание плантаций влаголюбивых растений, их определение и учет нормативных значений для ориентировочного расчета себестоимости 1 тонны готовой продукции и обработки 1 гектара земли. Все затраты сгруппированы по экономическим элементам, которые включают в себя пять укрупненных статей: «Материальные затраты», «Затраты на оплату труда», «Отчисления на социальные нужды», «Амортизация» и «Прочие затраты». Данный способ учета затрат и формирования на его основе себестоимости продукции достаточно универсален, он предполагает объединение отдельных затрат по признаку их однородности безотносительно к тому, на что и где они произведены. Также данный метод позволяет внешним инвесторам иметь информацию о структуре затрат на предприятии или в рамках одного проекта.

В целях дальнейшей детализации затрат по отдельным статьям будем руководствоваться соответствующим методическим рекомендациями [3], согласно которым основные статьи включают в себя:

1. Материальные затраты (ресурсы), используемые в производстве, в том числе:
  - a. Семена и посадочный материал.
  - b. Удобрения минеральные и органические.
  - c. Средства защиты растений.
  - d. Нефтепродукты.
  - e. Топливо и энергия на технологические цели.
  - f. Работы и услуги сторонних организаций.
2. Оплата труда.
3. Отчисления на социальные нужды.
4. Содержание основных средств.
5. Работы и услуги вспомогательных производств.
6. Финансовые затраты.
7. Прочие затраты.
8. Затраты на организацию производства и его обслуживание.
9. Расходы на нужды управления.

В следствие того, что для расчета себестоимости в данной работе нет конкретного производства, которое бы определяло используемые площади, существующую структуру организации, объем наличествующих основных фондов и другую необходимую информацию, себестоимость одной тонны биотоплива производится по методу нормативной калькуляции. По этому методу учитываются действующие на момент ее составления нормы производственных и иных затрат – нормы расхода семян, оплаты труда, обработки почвы и др. При этом также будем использовать простой способ калькулирования себестоимости, по которому себестоимость определяется общей суммой учтенных затрат по данному объекту (только биотопливо из тростника), а себестоимость единицы продукции – как частное суммы общих затрат и объема готовой продукции.

Необходимо учесть, что фактические затраты могут существенно варьироваться как в большую, так и в меньшую сторону в зависимости от площади создаваемых плантаций и их первоначального состояния, транспортной доступности, наличия трудовых ресурсов и т. д.

## Основная часть

Готовой продукцией выступает 1 тонна биомассы тростника с влажностью 15–20 %. Другие характеристики готовой продукции (фракционный состав, зольность, теплота сгорания и т. д.) не учитываются, т. к. различные направления использования биомассы требуют различного состояния исходного сырья – от мелкоизмельченного при производстве топливных брикетов/пеллет до естественного состояния при производстве теплоизоляционных плит или покрытия крыш.

Для определения затрат на получения биомассы тростника необходимо принять во внимание специфику данных работ – главным средством производства является земля, все работы тесно связаны с сезонностью и вегетационным периодом растений, неравномерность распределения затрат и поступления готовой продукции, необходимость создания избыточного увлажнения. Также особенностью является то, что тростник обыкновенный – это многолетнее растение и для создания плантации необходимо единовременно провести сельскохозяйственные работы. Дальнейшее существование плантации будет аналогично естественным зарослям тростника – без специальных культуртехнических работ, а только при избыточном увлажнении данных почв. Это условия формируется также перед закладкой плантации тростника в виде разработки и реализации проекта по вторичному обводнению выработанных торфяников. Это позволит повысить уровень болотных вод до необходимых значений и поддерживать его без дополнительных работ на всем протяжении произрастания тростника.

Спецификой выращивания тростника является его размножение – оно возможно несколькими методами, но наибольшую продуктивность и приживаемость имеет вегетативный способ размножения с помощью заранее заготовленных участков корневищ. Предполагается, что данный посадочный материал будет заготавливаться на близлежащих естественных посадках тростника. В этом случае затраты на этот объем работ учитываются в разделе «Заработная плата», так как необходимо оплатить работу сотрудников, занятых на данном этапе.

По данным [4] для получения средней урожайности тростника не целесообразно тратить удобрения, средства защиты растений и т. п., так как для формирования благоприятной среды для произрастания монодоминантного сообщества тростника обыкновенного необходимо стабильное избыточное увлажнение с высоким, приближенным к поверхности уровнем

грунтовых вод. В случае нарушенных торфяных разработок – специальными гидротехническими сооружениями, препятствующими стоку по ранее разработанным осушительным сетям. При этом качественное состояние придонного слоя торфа не может быть лимитирующим фактором для роста и развития растений тростника. Данные виды подготовительных работ учитываются в статье «Работы и услуги сторонних организаций» (табл. 1).

Как было отмечено выше, приобретения спецтехники для создания плантации тростника является нецелесообразным вследствие затратности, т.к. использоваться она будет лишь один раз. На малоплощадных объектах необходимые работы может совершать сельскохозяйственная техника существующих поблизости предприятий. В этом случае все операции будут учитываться также по статье «Работы и услуги сторонних организаций» (табл. 1).

Особенностью Тверской области является наличие большого разнообразия выработанных торфяных месторождений после всех основных способов добычи торфа. Это обстоятельство влияет на выбор техники и технологии производства земляных работ. Тем не менее, по опыту и наблюдениям наиболее часто встречающимися площадями, подходящими для закладки плантации тростника, являются бывшие поля добычи торфа фрезерным способом. В настоящий момент они частично заросли мелкоколесом, местами обводнены. Также на них достаточно редко встречаются крупные кочки и камни.

Поэтому были определены основные технологические схемы подготовки площадей для создания плантации тростника – это корчевание древесно-кустарниковой растительности, безотвальная способ первичной обработки почвы, а также технологическая схема закладки плантации тростника участками корневищ. В основу расчетов по экономическим затратам были положены федеральные единичные расценки на строительные работы по состоянию на 2019 год [5, 6] (табл.1).

**Таблица 1.** Калькуляция себестоимости получения

Биомассы тростника обыкновенного в условиях Тверской области

**Table 1.** Calculation of the cost of obtaining biomass of paludiculture in the conditions of the Tver region

№ п/п	Статьи затрат	Шифр и № позиции норматива	Затраты, руб./га	
			при создании плантации	при заготовке с имеющихся плантаций
1	Материальные затраты (ресурсы), используемые в производстве, в том числе:			
1.1	семена и посадочный материал		-	-
1.2	удобрения минеральные и органические		-	-

№ п/п	Статьи затрат	Шифр и № позиции норматива	Затраты, руб./га	
			при создании плантации	при заготовке с имеющихся плантаций
1.3	средства защиты растений		-	-
1.4	нефтепродукты		-	-
1.5	топливо и энергия на технологические цели		-	-
1.6	работы и услуги сторонних организаций		-	-
1.6.1	Разработка и реализация проекта обводнения		3 000–3 500	-
<b>Удаление кустарниковой растительности и мелкоколесья</b>				
1.6.2	Срезка кустарника (средняя густота)	ФЕР 81-02-01-2001, табл.01-02-113	1 537,59	-
1.6.3	Корчевка кустарника (средняя густота)	ФЕР 81-02-01-2001, табл.01-02-115	4 087,61	-
1.6.4	Сгребание срезанного или выкорчеванного кустарника (средняя густота)	ФЕР 81-02-01-2001, табл.01-02-117	4 386,58	-
1.6.5	Вывозка пней тракторными прицепами 2 т на расстояние до 100 м, диаметр деревьев до 32 см, 100 шт.	ФЕР 81-02-01-2001, табл. 01-02-110-1	1 177,35	-
1.6.6	Планировка площадей бульдозерами мощностью 79 кВт (108 л. с.)	ФЕР 81-02-01-2001, табл. Е01-01-036-02	144,52	-
<b>Первичная обработка торфяной почвы</b>				
1.6.7	Вспашка кустарниково-болотными навесными плугами площадей без кустарника на грунтах торфяных	ФЕР 81-02-47-2001, табл. 47-02-017	3 109,45	-
1.6.8	Нарезка борозд на вырубках при количестве на 1 га пней до 300	ФЕР 81-02-47-2001, табл. 47-02-029-03	301,83	-
<b>Подготовка и посадка тростника участками корневищ</b>				
1.6.9	Кратковременная прикопка и подготовка к посадке семян, 1000 шт. Всего 60 000 семян на 1 га	ФЕР 81-02-47-2001, табл. 47-02-022	29 662,52	-
1.6.10	Посадка вручную семян сплошная на легких почвах, 1000 шт. Всего 60 000 семян на 1 га	ФЕР 81-02-47-2001, Таблица 47-02-044-01	27 833,56	-
1.6.11	Прикатывание почвы	ФЕР 81-02-47-2001, табл. 47-02-018-05	543,21	-
<b>Сбор и транспортировка сухой биомассы</b>				
1.6.12	Выкашивание газонов луговых тракторной косилкой	ФЕР 81-02-47-2001, табл.47-01-081-01	990,07	990,07
1.6.13	Перевозка грузов I класса (скошенная трава) тракторами на пневмоколесном ходу с прицепами грузоподъемностью 2 т на расстояние до 10 км, 1 т. Учитываем среднюю урожайность тростника 10 т/га	ФСЦ пр 04-21-01-010	3 663,77	3 663,77
2	Оплата труда		29 765,07	161,84
3	Отчисления на социальные нужды (ОПФ 22%, ОМС 5,1%, ОСС 2,9%, СТИП 0,2%)		8 989,04	48,88
4	Содержание основных средств		-	-
5	Работы и услуги вспомогательных производств		-	-
6	Финансовые затраты, в том числе аренда земельного участка		4 000	4 000
7	Прочие затраты		-	-
8	Затраты на организацию производства и его обслуживание		-	-
9	Расходы на нужды управления		-	-
<b>ИТОГО, руб./га</b>			123 442	8 865
<b>Себестоимость единицы, руб./т</b>			12 344	886

Таким образом, при подготовке площади для плантации тростника требуется около 124 000 руб./га (в ценах 3 квартала 2019 г.). Это единовременные затраты, которые будут осуществлены только на первом этапе. В практике калькуляции себестоимости сельскохозяйственной продукции учитываются особенности выращивания многолетних трав, т. к. затраты прошлых лет (обработка почвы, посадка корневищ) делятся равномерно на следующие года исходя из урожайности и количества лет использования этих посевов. В случае с тростником урожай можно получить на 5-6-й годы произрастания. Поэтому, при распределении общей себестоимости по годам произрастания, среднегодовая себестоимость составляет 24 688,4 руб./га.

Далее при получении урожая на уровне среднего значения наблюдаемых величин стоимость скашивания и транспортировки сухой и измельченной массы тростника составит 8 865 руб./га. В пересчете на одну тонну сухой биомассы получится (учитывая среднюю урожайность 10 т/га), что себестоимость 1 т при создании плантации составляет 12 334 руб./т, а при заготовке биомассы с уже имеющихся площадей себестоимость составит 886 руб./т.

Создание искусственных плантаций возможно и наиболее целесообразно на участках заброшенных торфяников, которые расположены в непосредственной близости к населенным пунктам, а значит, к трудовым ресурсам и к хорошей транспортной доступности, и представляющих высокую пожарную опасность. При этом на первый план выходят задачи именно в рациональном использовании брошенных территорий, снижения пожарной опасности на них, вовлечения в производство местного населения и ряд других важных задач. Следует отметить, что все работы по заготовке биомассы необходимо перенести на осенне-зимний период, когда трудовые и материальные ресурсы не заняты по основному виду деятельности, которым, как правило, является сельское хозяйство. Это будет способствовать повышению вовлеченности местного населения в производственных процесс, повышению энергонезависимости малых котель-

ных на твердом топливе, а также частных потребителей.

Таким образом, в работе были рассмотрены некоторые экономические составляющие процесса получения биомассы тростника в условиях Тверской области. Так, ориентировочные затраты при создании плантации составляют 123 442 (24 688,4) руб./га, скашивание и транспортировка – 8 865 руб./га. В пересчете на сухую массу себестоимость 1 тонны составит 12 334 (4 938) руб./т при создании плантации, а также 886 руб./т только при скашивании и транспортировке.

#### Библиографический список

1. Peatland restoration and ecosystem services: science, policy, and practice / Edited by Aletta Bonn, German Centre for Integrative Biodiversity Research (iDiv), Halle-Jena-Leipzig ... [and four others] / Cambridge University Press/ British Ecological Society, Cambridge. 2016. 493 p.
2. Wichtmann, W., Schröder C. & Joosten H. (eds.): Paludiculture - productive use of wet peatlands - Climate protection - biodiversity - regional economic benefits. 2016. 272 p.
3. Методические рекомендации по бухгалтерскому учету затрат на производство и калькулированию себестоимости продукции (работ, услуг) в сельскохозяйственных организациях. Утверждены Приказом Минсельхоза России от 06.06.2003. № 792.
4. Выращивание и использование биомассы тростника на обводняемых выработанных торфяных болотах (материалы научно-экспериментальной работы). Панов В.В., Кукушкина Е.Е., Женихов Ю.Н., Шахматов К.Л. Тверь: «ООО Издательство «Триада», 2016. 160 с.
5. Федеральные единичные расценки на строительные работы ФЕР-2001-01 Земляные работы (Госстрой России) Москва, 2001 г. 112 с.
6. Письмо Минстроя России от 28 августа 2019 г. № 31427-ДВ/09 «О рекомендуемой величине прогнозных индексов изменения сметной стоимости строительства в III квартале 2019 года, в том числе величине прогнозных индексов изменения сметной стоимости строительно-монтажных работ, прогнозных индексов изменения сметной стоимости пусконаладочных работ».



УДК 622.331:504

**Зюзин Б.Ф.**

Зюзин Борис Федорович, д. т. н., профессор, заведующий кафедрой торфяных машин и оборудования Тверского государственного технического университета. zbfu@yandex.ru.

**Миронов В.А.**

Миронов Вячеслав Александрович, д. т. н., профессор, заведующий кафедрой автомобильных дорог, оснований и фундаментов Тверского государственного технического университета.

**Юдин С.А.**

Юдин Сергей Алексеевич, преподаватель-исследователь кафедры торфяных машин и оборудования Тверского государственного технического университета.

**КРИТЕРИИ ТЕОРИИ  
ДИСТОРТНОСТИ ДЛЯ  
ОЦЕНКИ ПРЕДЕЛЬНЫХ  
НАПРЯЖЕННО-  
ДЕФОРМИРОВАННЫХ  
СОСТОЯНИЙ В МЕХАНИКЕ  
ОРГАНО-МИНЕРАЛЬНЫХ  
ГРУНТОВ**

*Аннотация.* Приведены результаты моделирования характера изменчивости критериев инвариантов предельных напряженно-деформированных состояний с позиций теории *дистортности*.

*Ключевые слова:* теория *дистортности*, предельные напряженно-деформированные состояния, критерии инвариантов.

**Zyuzin B.F.**

Zyuzin Boris F., Dr. Sc., Professor, Head of the Chair of Peat Machinery and Equipment, Tver State Technical University. zbfu@yandex.ru.

**Mironov V.A.**

Mironov Vyacheslav A., Dr. Sc., Professor, Head of the Chair of Roads, Bases and Foundations, Tver State Technical University.

**Yudin S.A.**

Yudin Sergey A., teacher-researcher of the Chair of Peat Machines and Equipment, Tver State Technical University.

**CRITERIA OF THE THEORY  
OF DISTORTION  
TO ASSESS LIMIT  
STRESS-STRAIN STATES  
IN THE MECHANICS  
OF ORGANO-MINERAL  
SOILS**

*Abstract.* The results of modeling the nature of variability of the criteria of invariants of limiting stress-strain states from the positions of the theory of *distortion* are presented.

*Keywords:* the theory of *distortion*, limiting stress-strain states, invariant criteria.

В работах [1, 5, 6] изложены основы теории *дистортности* как универсальной методики оценки инвариан-

тов предельных состояний в природных средах. При этом теория *дистортности* проявляет себя как универсальное знание (рис. 1).



Рис. 1. Структура теории *дистортности*  
Fig. 1. Structure of the theory of distortion

Теория *дистортности* в настоящее время применяется в следующих областях знания: математика и геометрия, физика, естествознание, механика грунтов и горных пород, геология, пищевая промышленность, экономика и менеджмент, трибология, изотерика, горное и торфяное дело, техника и технология, музыка, физиология и медицина, биология и химия, педагогика, философия, экология, архитектура и строительство, искусство, космология, теория сложности, комплексная безопасность.

Систематизация обширных научных данных, проявляющихся в различных природных процессах позволяет предложить универсальную классификацию (нормирование) предельной асимптотики нелинейных процессов, соответствующую предельным состояниям природных систем в критических точках среды в напряженно-деформированном поле: «покоя», «предельного цикла», «скольжения», «золотого сечения», «качения» и «верчения», с физической точки зрения аналогичной изменениям условий контактного взаимодействия структурных образований с позиций их внутреннего сцепления и трения с учетом закона Кулона-Мора. Главным классификационным признаком, лежащим в основе построения универсальной таблицы предельных инвариантов [9], является инвариант состояния в нелинейной геометрии –  $\Pi_{K(N)}$ , что было широко и доказательно продемонстрировано в работах авторов [1–8].

Одним из разделов теории *дистортности* является блок основных инвариантов оценки предельных напряженно-деформированных состояний (НДС).

В публикациях [2, 3, 4, 7, 8] авторы предложили ряд таких показателей. При этом некоторые из них могут быть причислены к определяющим критериям НДС – критериям предельных инвариантов *дистортности*.

Настоящая публикация обобщает предшествующий комплекс теоретических подходов к обоснованию предельных инвариантов НДС.

Основной расчетной схемой является представление элемента твердого деформированного тела (рис. 2).

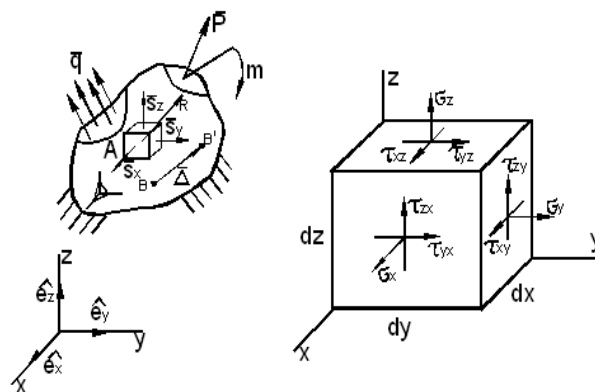


Рис. 2. Элемент твердого деформированного тела  
Fig. 2. The element of solid deformed bodies

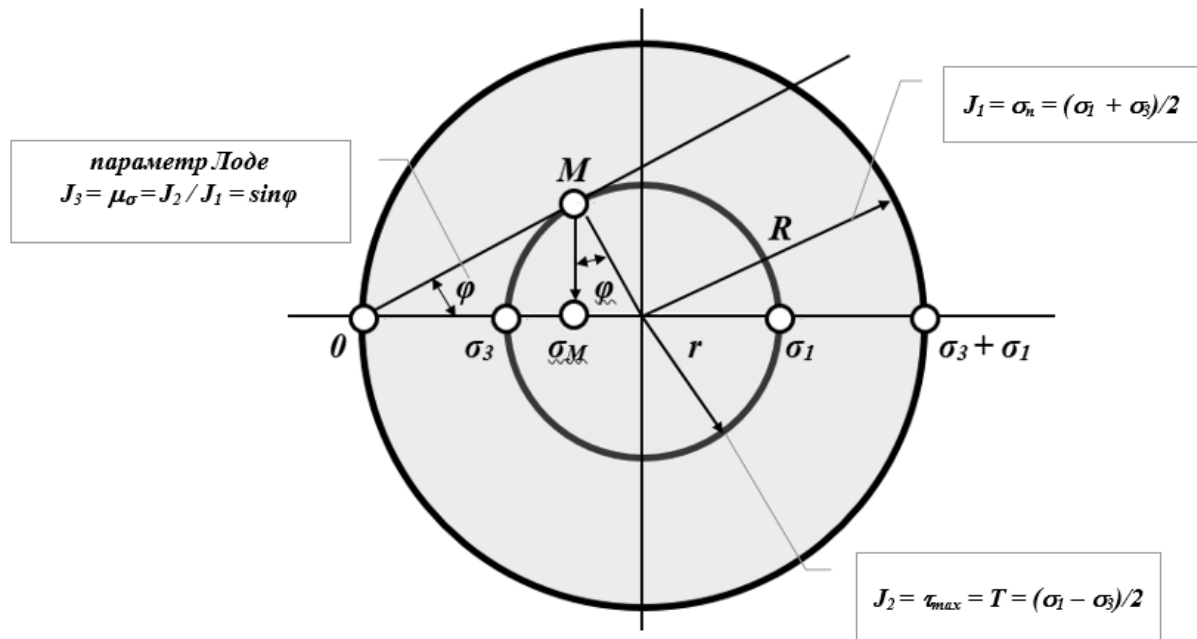
Соотношение соответствующих главных касательных  $\tau_i$  и нормальных  $\sigma_i$  напряжений определяет вид создаваемого напряженно-деформированного состояния. При этом появление касательных напряжений на гранях модельного элемента сопряжено с наличием неоднородных нормальных напряжений на его гранях  $0 < \sigma_x < \sigma_y < \sigma_z$  или  $0 < \sigma_3 < \sigma_2 < \sigma_1$ .

Согласно положениям синтетической теории прочности академика РАН Е.И. Шемякина [1], были предложены основные определяющие инварианты (в обозначениях и индексах

автора), описывающие напряженное состояние и имеющие четкий физический смысл:

$$J_1 = \sigma_n = (\sigma_1 + \sigma_3)/2; J_2 = \tau_{max} = T = (\sigma_1 - \sigma_3)/2; J_3 = \mu_\sigma = J_2 / J_1.$$

Данные инварианты полностью характеризуют напряженное состояние в элементарном объеме среды, т.е. справедливо следующее утверждение: для характеристики напряженного состояния в элементе сплошной среды достаточно ввести три основных инварианта (рис. 3).



**Рис. 3.** Геометрическое представление синтетической теории  
**Fig. 3.** Geometric representation of the synthetic theory

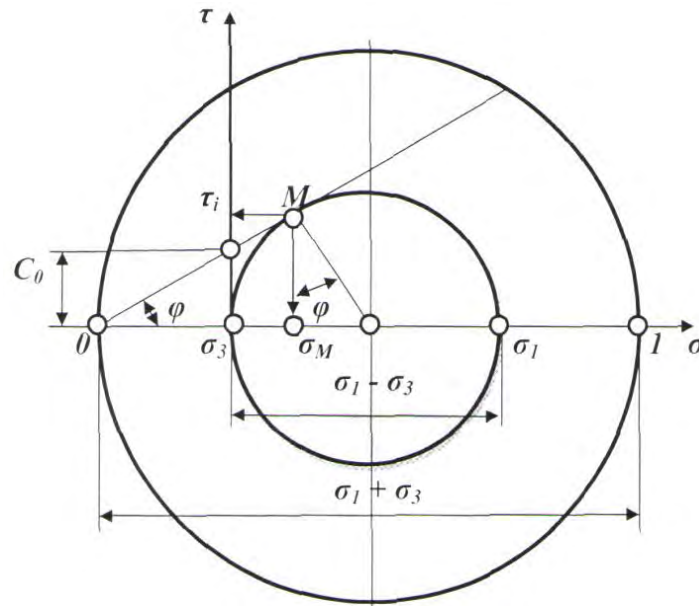
Первый инвариант – отражает действие нормального напряжения на наклонной площадке, которое оказывает сопротивление проскальзыванию. Он не зависит от главных направлений. Геометрически он представляется в виде предельного (большого) круга напряженно-деформированного состояния на диаграмме Кулона-Мора с радиусом  $R$ .

Второй инвариант описывает действие максимального касательного напряжения на наклонной площадке и, соответственно, скольжения по ней, разделяющих углы между первым и третьим главными направлениями пополам. Геометрически он представляется в виде текущего (малого) круга напряженно-деформированного состояния на диаграмме Кулона-Мора с радиусом  $r$ .

Третий инвариант – параметр Лоде-Надаи  $\mu_\sigma$

описывающий не только вид напряженного состояния и влияние второго главного напряжения, но и вид наклонных площадок, по которым происходит скольжение. Он указывает на влияние других (двух) экстремальных касательных напряжений  $T_{23} = (\sigma_2 - \sigma_3)/2$ ;  $T_{12} = (\sigma_1 - \sigma_2)/2$ . Математически он может быть представлен уравнением  $J_3 = J_2 / J_1 = r/R = \sin \varphi = \mu_\sigma$ , где  $\varphi$  – так называемый угол внутреннего трения. На диаграмме предельных напряженно-деформированных состояний (рис. 3) данный угол определен предельным положением касательной, исходящей из начала координат диаграммы к текущему (малому) кругу напряжений.

На рис. 4 представлена обобщенная диаграмма предельных напряженно-деформированных состояний (НДС) согласно теории *дистортности* [7].



**Рис. 4.** Обобщенная диаграмма предельных НДС  
**Fig. 4.** A generalized diagram of the limiting stress-strain state

При этом положение точки  $M$  (точки касания прямой  $OM$ ) на диаграмме (рис. 4) соответствует эквивалентному значению нормального напряжения  $\sigma_M$ , которое определено условием предельного состояния, согласно синтетической теории прочности академика РАН Е.И. Шемякина.

Введение трех инвариантов  $T$ ,  $\sigma_n$ ,  $\mu_\sigma$  позволяет описать возникающую при необратимых деформациях и разрушении анизотропию сопротивления сдвигам, по академику РАН Е.И. Шемякину, и тем самым построить математическую модель деформирования твердых тел, адекватную физическим процессам [1].

В рамках предложенной модели можно уверенно проследить важное явление – поведение материала в запредельном состоянии: после достижения касательным напряжением максимального для материала значения фактически образуется новый материал, поведение которого требует иного описания. Тем не менее законы механики (сохранение масс, количества движения, энергии) имеют силу. Это и определяет поведение материала в запредельном, послепиковом состоянии. При достижении главным сдвигом предельной для данного тела величины это значение сдвига в элементе среды сохраняется, а рост области необратимых деформаций (и разрушения) происходит только за счет увеличения их количества. Вступление в работу других экстремальных площадок определяет остаточную прочность материала.

Достоинством данного подхода в оценке предельных инвариантов является возможность геометрического представления напряженно-деформированного состояния для различных материалов на основании обобщенной диаграммы Кулона-Мора.

Известно, что при одноосном растяжении (двухосном сжатии)  $\mu_\sigma = 1$ , а при кручении  $\mu_\sigma = 0$ . Это означает, что роль площадок с касательными напряжениями при  $\mu_\sigma = 1$  по сравнению с  $\mu_\sigma = 0$  возрастает.

Данная схема (рис. 4) включает в себя одновременно еще и геометрическое отображение закона Кулона-Мора, представляемого в виде так называемого «паспорта прочности».

Структура «паспорта прочности» для органо-минеральных грунтов приведена на рис. 5.



**Рис. 5.** Структура «паспорта прочности»  
**Fig. 5.** The structure of the «passport strength»

Закон Кулона-Мора формулируется следующим образом: сопротивление грунтов сдвигу есть функция первой степени от нормального давления.

При его использовании индекс «пред» при  $\tau$  опускают, имея в виду, что уравнения Кулона справедливы только в предельном состоянии.

Для практических расчетов зависимость  $\tau$  от  $\sigma$  представляется в виде уравнения отрезка прямой:

$$\tau = C_0 + \sigma \operatorname{tg} \varphi.$$

Здесь параметр  $C_0$  отражает проявление удельного сцепления материала, характеризующим его структурную связность. Геометрически на диаграмме предельных состояний удельное сцепление  $C_0$  представлено отрезком, отсекаемым на оси  $\tau$  касательной в предельной точке  $M$  (рис. 4).

Таким образом, «паспорт прочности» устанавливает взаимосвязь определяющих параметров напряженно-деформированных состояний –  $\sigma$  и  $\tau$ , возникающих в точке среды при взаимодействии рабочих органов горных машин с торфяной залежью с учетом ее физико-механических характеристик –  $C_0$  и  $\varphi$ .

На основании «паспорта прочности» решаются основные задачи при проектировании исполнительных рабочих органов горных машин для разработки торфяных месторождений (рис. 5):

- энергетическая задача устанавливает оценку потребляемых энергозатрат для выполнения заданной производительности горной машины для разработки торфяных месторождений;

- силовая задача позволяет определить возникающие усилия на элементах исполнительных рабочих органов горных машин, необходимые для проведения их силовых – прочностных расчетов с учетом статических динамических режимов их работы.

Выполненные теоретические и экспериментальные исследования взаимодействия рабочих органов горных машин с торфяной залежью [6–9] определили основные функциональные зависимости для вычисления критериев предельных НДС согласно принятой расчетной схемы (рис. 4).

В общем случае в теории *дистортности* исходные параметры представлены в следующих математических символах и индексах  $X_i$  [4]:

$$0 \leq X_3 \leq X_M \leq X_1 \leq 1; 0 \leq X_3 \leq 0,5.$$

Условие нормировки:  $X_1 + X_3 = 1 = \text{const}$ .

Определяющие параметры:

$$0 \leq \frac{X_3}{X_1 + X_3} \leq 1; 0 \leq \frac{X_1}{X_1 + X_3} \leq 1.$$

$$J_1 = \frac{X_1 - X_3}{X_1 + X_3} = 1 - 2X_3 = \sigma_1 - \sigma_3.$$

$$J_2 = \frac{X_1 + X_3}{X_1 + X_3} = \sigma_1 + \sigma_3 = 1.$$

$$J_3 = \sigma_M = X_M = \frac{2X_1X_3}{X_1 + X_3} = 2X_3(1 - X_3).$$

$$J_4 = \Pi_{K(H)} = \frac{X_3}{X_1} = \frac{X_3}{1 - X_3}.$$

$$J_5 = \frac{X_1 - X_3}{X_1 + X_3} = 1 - 2X_3 = \sin \varphi = \mu_\sigma.$$

$$J_6 = C_0 = X_3 \operatorname{tg} \varphi \frac{X_3(1 - 2X_3)}{2\sqrt{X_3(1 - X_3)}} \rightarrow \max.$$

$$J_7 = K_P = \frac{X_M - X_3}{X_1} = \frac{X_3(1 - 2X_3)}{1 - X_3} \rightarrow \max.$$

При  $X_3 = 0$  имеем  $J_1 = 1; J_2 = 1; J_3 = 0; J_4 = 1; J_5 = 1; J_6 = 0; J_7 = 0$ .

При  $X_3 = 0,5$  имеем  $J_1 = 0; J_2 = 1; J_3 = 0,5; J_4 = 1; J_5 = 0; J_6 = 0; J_7 = 0$ .

Рассмотрим с позиций физического значения структуру основных критериев предельных напряженно-деформированных состояний.

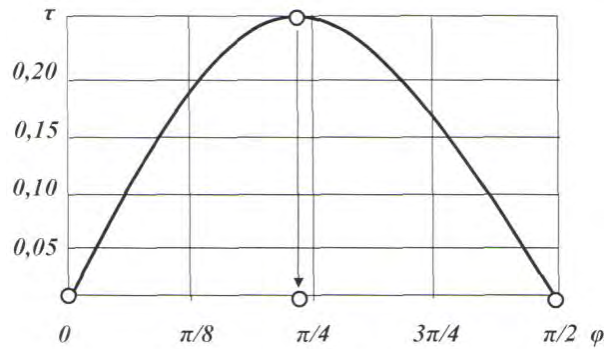
В табл. 1 приведены расчетные данные критериев предельных напряженно-деформированных состояний.

**Таблица 1.** Расчетные данные критериев инвариантов предельных НДС  
**Table 1.** Calculated data of criteria of invariants of limit stress-strain states

Инварианты, критерии	Напряженно-деформированные состояния структурной системы						
	Покой	→	Предельный цикл	Скольжение	Золотое сечение	Качение	Верчение
$\Pi_{K(H)}$	0	0,42	1/2	$1/\sqrt{3}$	$2/\pi$	$1/\sqrt{2}$	1
$\varphi$ , град	90	44,42	36,87	30	23,58	19,47	0
$\varphi$ , прив.	1	0,5	0,41	0,333	0,262	0,216	0
$\tau \rightarrow \max$	0	0,25	0,24	0,216	0,183	0,157	0
$C_0 \rightarrow \max$	0	0,133	0,15	0,144	0,131	0,117	0
$CЖ \rightarrow \max$	1	→	3,82	5,196	4,795	4,2	1
$C_0K_P \rightarrow \max$	0	0,016	0,0225	0,024	0,0224	0,0194	0
$K_P \rightarrow \max$	0	0,123	0,150	0,166	0,171	0,166	0
$W_x \rightarrow \max$	0	←	←	0,5	←	0,513	0,471

На рис. 6–11 показаны результаты математического моделирования изменчивости предложенных критериев в зависимости от угла внутреннего трения  $\varphi$ .

Максимум критерия инварианта касательных напряжений (рис. 6) соответствует значению угла внутреннего трения  $\varphi \approx 45$  градусов.

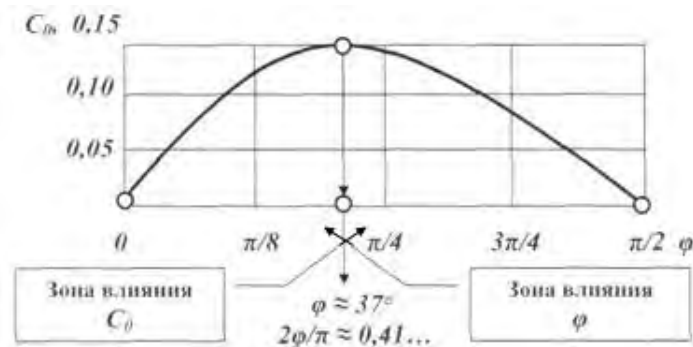


**Рис. 6.** Критерий инварианта касательных напряжений  
**Fig. 6.** Tangent stress invariant criterion

Данный критерий отражает возможный теоретический предел величины угла внутреннего трения  $\varphi$ .

Максимум критерия инварианта сцепления  $C_0$  соответствует углу внутреннего трения  $\varphi = 36,87$  градусов (рис. 7). Он отражает область

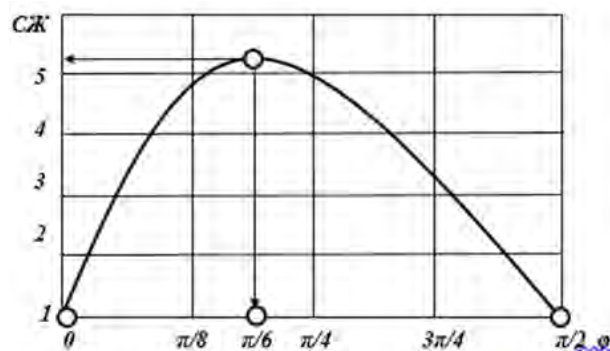
взаимного влияния показателей  $C_0$  и  $\varphi$ . При этом он соответствует результатам опытных данных Буисмана [10], выполненных им при деформировании влажных песков при максимальном их уплотнении. Это условие соответствует критерию прочности по Треска.



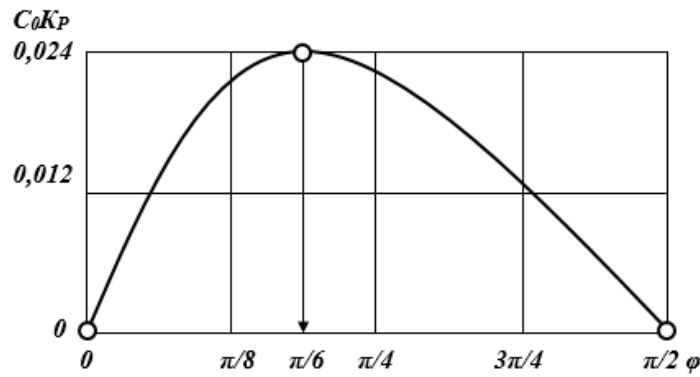
**Рис. 7.** Критерий инварианта сцепления (связности)  
**Fig. 7.** The criterion for invariant coupling (connectivity)

Критерии степени сжатия структурной системы  $СЖ$  (рис. 8) и инварианта предельного состояния упругости  $C_0K_p$  отражают область действия закона упругости (прочности) Гука –

начала возникновения микропластических деформаций в структуре деформированного тела в результате формирования неоднородности нормальных напряжений в элементе среды.



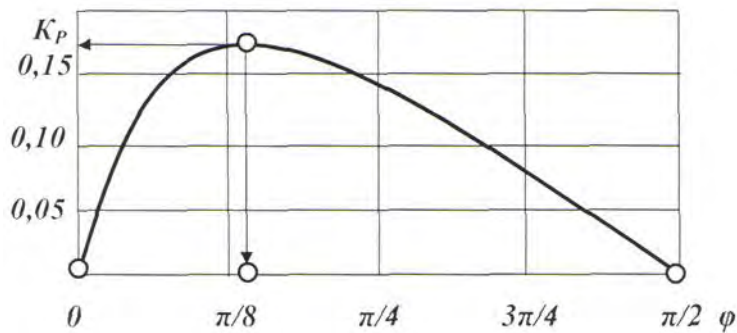
**Рис. 8.** Критерий степени сжатия структурной системы (инварианта сжатия)



**Рис. 9.** Критерий инварианта предельного состояния (упругости)  
**Fig. 9.** Criterion of limit state invariant (elasticity)

Критерий инварианта предельного состояния  $K_P$  (рис. 10) соответствует условию предела прочности материала (критерий прочности

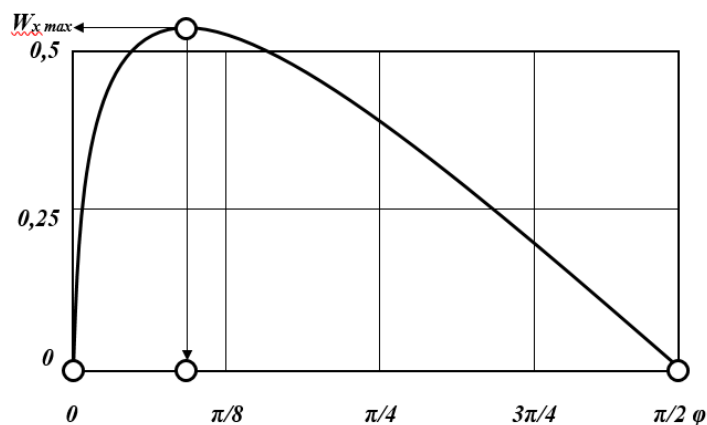
Зюзина-Миронова) [9], где начинают возникать макропластические деформации в теле среды, происходит лавинное его разрушения.



**Рис. 10.** Критерий инварианта предельного состояния (прочности)  
**Fig. 10.** Limit state invariant (strength) criterion

Критерий инварианта момента сопротивления прямоугольного сечения балки на изгиб  $W_x$  (рис. 11) отражает предел устойчивости

структурной системы [11] или в механике грунтов соответствует критерию прочности Мизеса.








**Рис. 11.** Критерий инварианта момента сопротивления прямоугольного сечения балки на изгиб (инвариант устойчивости)

**Fig. 11.** The criterion of the moment of resistance invariant of the rectangular section of the beam on bending (stability invariant)

Практически каждому критерию предельных инвариантов соответствует свое напряженно-деформированное состояние (рис. 12).

Это говорит о том, что переход структурной

системы из одного состояния в другое происходит при достижении определенных внутренних взаимодействий с позиций изменения инвариантов сцепления  $C_0$  и угла внутреннего трения  $\varphi$ .

Параметры и инварианты	Напряженно-деформированные состояния (НДС) структурной системы							
	Покой	→	Предельный цикл	Скользкие	Золотое сечение	Качели	Ворчение	
$b$	0	0,15	0,20	0,25	0,30	0,33	0,5	
$a$	1	0,85	0,80	0,75	0,70	0,66	0,5	
$b:a$	0:100	15:85	20:80	25:75	30:70	33:66	50:50	
$\Pi_{КСД} = b/a$	0	0,171	1/4	1/3	$\sqrt{2}-1$	1/2	1	
$\Pi_{КСД} = n/m = \arctg \beta$	0	0,41	1/2	1/√3	2/π	1/√2	1	
$\beta^\circ$	0	22,5	26,56	30	32,48	35,26	45	
$\gamma^\circ$	90	67,5	63,44	60	57,5	54,74	45	
$\varphi^\circ = \gamma^\circ - \beta^\circ$	90	45	36,8	30	23	19,47	0	
$X_d$	0	0,295	0,333	0,366	0,389	0,414	0,5	
$N$	∞	8	6,77	6	5,54	5,1	4	
$L$	→	8000	6770	6000	5540	5100	4000	
Критерии:	$\tau \rightarrow \max$	0	0,25	0,24	0,216	0,183	0,157	0
	$C_p \rightarrow \max$	0	0,133	0,150	0,144	0,131	0,117	0
	$CЖ \rightarrow \max$	1	←	3,82	5,196	4,795	4,2	1
	$C_p K_p \rightarrow \max$	0	0,016	0,0225	0,024	0,0224	0,0194	0
	$K_p \rightarrow \max$	0	0,123	0,150	0,166	0,171	0,166	0
	$W_x \rightarrow \max$	0	←	←	0,5	←	0,513	0,471
Кoeffициент Пуассона, $\mu$	0	0,15	0,2	0,25	0,3	0,333	0,5	
Материал:	Хрупкий		Бетон	Иридий	Сталь Титан	Алюминий	Каучук	
В механике – законы:			Треска	Гука	Зюжина - Мирнова	Мизеса	←	
Пределы состояния:			Сцепления	Упругости	Прочности	Устойчивости	←	
В экономике – законы:			Парето	Социал. управление	Лаффера	Самуэльсона	←	
В музыке – ноты:			До	Ре	Ми	Фа	Си	
Влияние музыки на эмоциональное состояние человека:			Волевое усилие Агрессивность Возбуждение Достижение успеха		Активность Веселость Надежды Мечты	Уверенность Настойчивость Упрямство	Спокойствие Удовлетворенность	
Спектр:	Инфракрасный	Красный	Оранжевый	Желтый	Зеленый	Фиолетовый		
Физиологическое влияние цветности:			Сосуды	Зрение	Зрение	Память	Клетки мозга	
Светофор, уровни безопасности:								
Цветность планеты:			Юпитер	Марс	Солнце	Венера	Сатурн	
Траектория:	Точка	Линия, диагональ	Ветвь синусоиды	Ветвь циклоиды	Дуга окружности	Точка		
Потенциал:			$C_p \rightarrow \max$	$F \rightarrow \max$ $C_p K_p \rightarrow \max$ $CЖ \rightarrow \max$	$t \rightarrow \min$ $K_p \rightarrow \max$	$\mathcal{E} \rightarrow \min$ $W_x \rightarrow \max$	←	

Обозначения:  $b, a$  – линейные параметры при условии  $b+a=1$ ;  $b:a$  – определяющая пропорция;  $\Pi_{КСД}=b/a$  – инвариант состояния в линейной геометрии;  $\beta, \gamma$  – угловые параметры состояния взаимодействия структурных систем, углы площадок разрушения  $n$  и  $m$ ;  $N$  – число сторон вписанного в круг Мора многоугольника (полигона);  $L$  – длина волны спектра света;  $\Pi_{КСД} = \Pi_{КСД} = n/m = \arctg \beta$  – инвариант состояния в нелинейной геометрии;  $X_d$  – уровень нелинейности (инвариант нелинейности);  $\varphi$  – угол внутреннего трения (инвариант угла связности структурной системы);  $\tau$  – инвариант касательных напряжений;  $C_p$  – инвариант сцепления структурной системы;  $CЖ$  – степень скатия структурной системы (инвариант сжатия);  $C_p K_p$  – инвариант упругости;  $K_p$  – критерий предельного состояния (инвариант прочности);  $W_x$  – инвариант момента сопротивления сечения балки при изгибе (задача Парана); «Спектр» – цветовая гамма; «Потенциал» – условия максимума инвариантов предельных состояний;  $F$  – потенциал силы взаимодействия;  $t$  – потенциал времени переходного процесса;  $\mathcal{E}$  – энергетический потенциал.

Рис. 12. Классификационная таблица предельных инвариантов дистортности

Fig 12. Classification table of limit invariants of distortion

При этом для каждого такого состояния будет справедлива и своя расчетная модель (теория, закон).

Это наглядно проявляется в многообразии

именных теорий прочности материалов. Например, теории Треска, Гука, Мизеса и т. д. В экономике: законы Парето, Лаффера, Самуэльсона и др.



В статистике: экспоненциальный закон распределения, закон Эрланга, закон Релея, распределение Максвелла, закон Вейбулла, нормальное распределение и др.

С позиций описания промежуточного состояния структурной системы в процессе ее разрушения (эволюции, самоорганизации или дезинтеграции) такой подход является корректным. И история развития механики сплошных сред подтверждает этот постулат. Но никто не отказался от попытки создания единой теории, в том числе и теории предельных состояний.

Все зависит от того, какие принципы были бы заложены в ее основе.

Такой основой может являться теория *дистортности*.

### Библиографический список

1. Зюзин Б.Ф. Инварианты дистортности / Б.Ф. Зюзин, В.А. Миронов / Монография. Тверь: ТвГТУ, 2015. 168 с.
2. Зюзин Б.Ф. Влияние внутреннего трения на прочностные свойства органоминеральных грунтов / Б.Ф. Зюзин, С.А. Юдин, И.А. Титов / Материалы 11-й Международной конференции по проблемам горной промышленности, строительства и энергетики: «Социально-экономические и экологические проблемы горной промышленности, строительства и энергетики». Том 2, Тула: ТГУ, 2015. С. 118–123.
3. Зюзин Б.Ф. Инварианты дистортности в оценке предельных состояний в геомеханике / Б.Ф. Зюзин, В.А. Миронов, С.А. Юдин / Материалы VIII Международного научного симпозиума «Проблемы прочности, пластичности и устойчивости в механике деформируемого тела». Тверь: ТвГТУ, 2015. С. 200–205.
4. Зюзин Б.Ф. Семь инвариантов дистортности / Б.Ф. Зюзин, В.А. Миронов, С.А. Юдин / Материалы Всероссийской научно-практической конференции: «Саморазвивающаяся среда технического вуза: научные исследования и экспериментальные разработки». В 3-х ч. Ч. I. Тверь: ТвГТУ, 2016. С. 134–140.
5. Зюзин Б.Ф. Дистортность как универсальный метод оценки инвариантов предельных состояний / Б.Ф. Зюзин, В.А. Миронов / Материалы Всероссийской научно-практической конференции: «Саморазвивающаяся среда технического вуза: научные исследования и экспериментальные разработки». В 3-х ч. Ч. I. Тверь: ТвГТУ, 2016. С. 129–133.
6. Зюзин Б.Ф. Инварианты предельных состояний в оценке устойчивости функционирования структурных системах / Б.Ф. Зюзин, В.А. Миронов, С.А. Юдин / «Актуальные проблемы безопасности жизнедеятельности и экологии»: материалы III Международной научно-практической конференции с научной школой для молодежи / Отв. за выпуск: Н.М. Пузырев, Ю.В. Козловская. Тверь: ТвГТУ, 2017. С. 120–124.
7. Зюзин Б.Ф. Определяющие инварианты дистортности в механике грунтов / Б.Ф. Зюзин, В.А. Миронов, С.А. Юдин / Материалы Международной научной конференции: «Геология и минерально-сырьевые ресурсы Запада Восточно-Европейской платформы: проблемы изучения и рационального использования», посвященной 215-летию со дня рождения И. Домейко. Минск: СтройМедиаПроект, 2017. С. 152–156.
8. Зюзин Б.Ф. Инварианты физико-механических свойств торфяных залежей / Б.Ф. Зюзин, В.А. Миронов, С.А. Юдин, Е.В. Угрюмов / Материалы Всероссийской научно-практической конференции: «Саморазвивающаяся среда технического вуза: научные исследования и экспериментальные разработки». В 3-х ч. Ч. I. Тверь: ТвГТУ, 2017. С. 108–115.
9. Зюзин Б.Ф. Классификационная таблица предельных инвариантов состояний природных систем и объектов искусственного интеллекта / Б.Ф. Зюзин, В.А. Миронов, С.А. Юдин / Вестник ТвГТУ. Научный журнал. Тверь: ТвГТУ, 2018. Вып. 1 (33). С. 67–72.
10. Зюзин Б.Ф. Опыты Буисмана и Амаряна / Б.Ф. Зюзин, В.А. Миронов, С.А. Юдин // Социально-экономические и экологические проблемы горной промышленности, строительства и энергетики: 13-я Международной конференции по проблемам горной промышленности, строительства и энергетики. В 2 т. Т.1: Материалы конференции. Тула: Изд-во ТулГУ, 2017. С. 130–136.
11. Зюзин Б.Ф. Инвариант момента сопротивления прямоугольной балки при изгибе / Б.Ф. Зюзин, С.А. Юдин / Сборник трудов XVI Международной научно-практической конференции «Чтения памяти В.Р. Кубачека». Екатеринбург: УГТУ, 2018. С. 240–243.

УДК 622.331+622.641

### **Горячёв В.И.**

Горячёв Валентин Иванович, профессор кафедры инженерной графики Тверского государственного технического университета.

### **Михеев И.И.**

Михеев Игорь Иванович, доцент кафедры инженерной графики Тверского государственного технического университета, mikheev1937@yandex.ru.

### **Щербакова Д.М.**

Щербакова Дарья Михайловна, ассистент кафедры ГТиГП Тверского государственного технического университета.

## **ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ КРУГЛОГОДИЧНЫЙ КОМПЛЕКС ГИДРО- МЕХАНИЧЕСКОГО ФРАКЦИОНИРОВАНИЯ ТОРФЯНОГО СЫРЬЯ**

*Аннотация.* Предложен технологический комплекс гидромеханического фракционирования торфяного сырья с разделением его на волокнистую массу и гумусовый концентрат.

Продукция технологического комплекса расширяет ассортимент по производству продуктов с высокой добавленной стоимостью. Комплекс может быть встроено в различные технологические линии по получению продуктов из торфяного сырья. Например, волокнистую массу использовать для производства кипованого торфа и субстратов грунтов, используемых в тепличных хозяйствах, а гумусовый концентрат использовать для производства экологически чистых органических удобрений. Работа комплекса рассчитана на разработку торфяной залежи по всей её толщине с последующей её круглогодичной переработкой.

*Ключевые слова:* технологический комплекс, торф, гидроразрыв, механическое фракционирование, волокнистая масса, гумус, центробежный насос.

### **Goryachev V.I.**

Goryachyov Valentin I., Professor of the Chair of Engineering Graphics of the Tver State Technical University.

### **Mikheev I.I.**

Mikheyev Igor I., Associate Professor of the Chair of Engineering Graphics of the Tver State Technical University, mikheev1937@yandex.ru.

### **Shcherbakova D.M.**

Scherbakova Darya M., Assistant of the Chair of Mining Engineering, Environmental Management and Industrial Ecology of the Tver State Technical University.

## **TECHNOLOGICAL ALL-YEAR ROUND COMPLEX OF HYDRO- MECHANICAL FRACTIONATION OF PEATS**

*Abstract.* The technological complex of hydromechanical fractionation of peat raw materials with its division into fibrous weight and a humus concentrate is offered.

The products of a technological complex expand the range on production of products with high added value. The complex can be built in various technological lines of receiving products from peat raw materials. For example, to use fibrous weight for production of boiled peat and substrates of the soil used in greenhouse facilities, and to use a humus concentrate for production of environmentally friendly organic fertilizers. Work a complex is calculated on development of a peat deposit on all its thickness with the subsequent its year-round processing.

*Keywords:* technological complex, peat, hydraulic washing-out, mechanical fractionation, fibrous weight, humus, centrifugal pump.

Известны технологические комплексы по добыче торфяного сырья гидроразмывом. Так, по технологии добычи торфа организации «Гидроторф» торфяная залежь разрабатывается гидравлическим способом, а полученная пульпа гидротранспортом перекачивается на участок переработки, где механически обезвоживается и окончательно досушивается до необходимой влажности твердого торфяного топлива [1]. Однако данная технология не позволяет выполнять гидромеханическое фракционирование торфяного сырья с разделением его на волокнистую массу и гумусовый концентрат.

Известен технологический комплекс по добыче и переработке торфа [2], в котором в качестве исходного сырья используется получаемая способом скважинной гидродобычи пульпа, которая затем используется для производства продуктов из торфа. Однако в настоящее время способ скважинной гидродобычи используется для получения твердых полезных ископаемых [3]. Что касается торфа, то, в силу специфики его физико-механических характеристик торфа, в настоящее время нет конструкторско-технологических решений для скважинной добычи торфа.

Предложен технологический комплекс для добычи торфа [4], в котором в качестве исходного сырья используется получаемая в торфяной залежи пульпа, из которой затем производятся продукты из торфа.

Однако отсутствие фракционирования поступающей пульпы не позволяет разделить её на две фракции – крупнодисперсную и мелкодисперсную.

Из вышеизложенного следует, что необходимо создать технологический комплекс гидромеханического фракционирования торфяного сырья с разделением его на волокнистую массу и гумусовый концентрат.

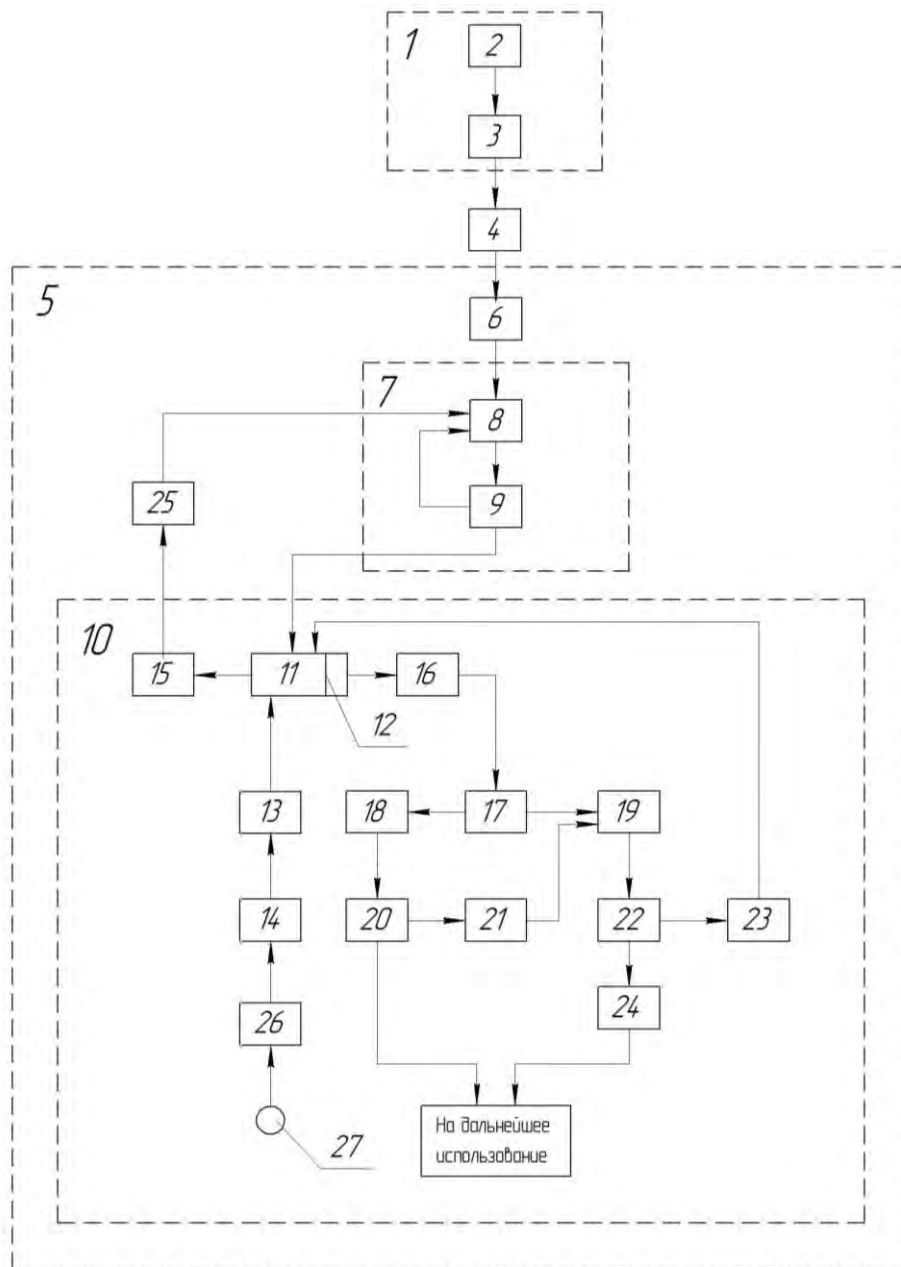
Предлагаемый технологический комплекс гидромеханического фракционирования торфяного сырья расширяет ассортимент по круглогодичному производству продуктов с высокой добавленной стоимостью и может быть встроен в различные технологические линии по получению продуктов из торфяного сырья. Например, волокнистую массу использовать для производства кипованого торфа и субстратов грунтов, используемых в тепличных хозяйствах, а гумусовый концентрат использовать для производства экологически чистых органических удобрений.

На рисунке показана схема технологического комплекса гидромеханического фракционирования торфяного сырья.

Технологический комплекс (рис.) гидромеханического фракционирования торфяного сырья состоит из участка добычи торфа 1, на котором расположены экскаватор 2 и наращиваемый штабель 3; транспортной линии 4; цеха круглогодичной переработки торфа 5, в котором расположены склад торфяного сырья 6; участка подготовки торфяного сырья для гидроразмыва 7, который состоит из дробилки 8 и сепаратора 9; а также участок гидромеханического фракционирования торфа 10, который состоит из емкости 11 для торфяного сырья, в которой вертикально установлена решетка-фракционатор 12, гидромонитор 13 с центробежным насосом 14; грейфера 15; центробежного насоса 16 для перекачки гидромассы; двухфракционной центрифуги 17; емкости 18 для волокнистой массы; емкости 19 для суспензии; ленточного фильтр-пресса непрерывного действия 20; емкости 21 для фильтрата из фильтр-пресса; гидроциклона 22; емкости 23 для фильтрата из гидроциклона; емкости 24 для гумусового концентрата; погрузчика 25; технического водоема 26 из скважины 27 для получения воды.

Технологический комплекс гидромеханического фракционирования торфяного сырья работает следующим образом. На участке добычи 1 торф извлекается экскаватором 2 на всю глубину торфяной залежи и укладывается в наращиваемый штабель 3, из которого транспортной линией 4 торфяное сырье доставляется в цех 5 круглогодичной переработки торфа на склад сырья 6.

Со склада 6 торфяное сырье поставляется на участок подготовки 7, где проходит через дробилку 8, из которой сырье поставляется в сепаратор 9. Торфяное сырье из сепаратора 9 со средневзвешенным диаметром частиц  $d > 50$  мм снова поступает в дробилку 8, а сырье со средневзвешенным диаметром частиц  $d \leq 50$  мм поставляется на участок гидромеханического фракционирования торфа 10 в емкость 11 для торфяного сырья, в которой вертикально установлена решетка-фракционатор 12 с ячейками  $50 \times 50$  мм. Затем заполняется водой технический водоем 26 из скважины 27. После этого включается центробежный насос 14, который подает воду в гидромонитор 13, который напорной струей воды размывает торфяное сырье, находящееся в емкости 11. Полученная пульпа через решетку-фракционатор 12 перекачивается центробежным насосом 16 в двухфракционную центрифугу 17, в которой пульпа разделяется на две фракции – волокнистую массу со средневзвешенным диаметром частиц  $1,0 < d \leq 50$  мм, которая поступает в емкость 18, и суспензию со средневзвешенным диаметром частиц со средневзвешенным диаметром частиц  $d \leq 1$  мм, которая поступает в емкость 19.



**Рис.** Технологический круглогодичный комплекс гидромеханического фракционирования торфяного сырья  
**Fig.** Technological year-round complex of hydromechanical fractionation of peat raw materials

Из емкости 18 волокнистая масса поступает в ленточный фильтр-пресс непрерывного действия 20, а фильтрат из него поступает в емкость 21, откуда направляется в емкость для суспензии 19. Из емкости 19 суспензия подается в гидроциклон 22, в котором суспензия разделяется на гумусовый концентрат, который поступает в емкость 24, и воду, которая поступает в емкость 23, из которой возвращается в емкость 11.

Остатки торфяного сырья, не прошедшие сквозь решетку-фракционер 12, грейфером 15 вынимаются из емкости 11 на погрузчик 25, который доставляет остатки в дробилку 8.

Полученная из ленточного фильтр-пресса непрерывного действия 20 волокнистая масса

и гумусовый концентрат из емкости 24 поступают на дальнейшее использование для изготовления продуктов: волокнистую массу, например, используют для получения кипованного торфа и субстратов грунтов, используемых в тепличных хозяйствах, а гумусовый концентрат пригоден для получения экологически чистых органических удобрений.

Экскавация торфяной залежи на полную глубину позволяет вести переработку торфяного сырья в широком диапазоне физико-механических характеристик торфа. Работа технологического комплекса не зависит от внешних факторов и осуществляется круглый год в заводских условиях с получением продукции с высокой добавленной стоимостью.

**Выводы**

1. Предложен технологический круглогодичный комплекс гидромеханического фракционирования торфяного сырья с разделением его на волокнистую массу и гумусовый концентрат.

2. Продукция технологического комплекса расширяет ассортимент по круглогодичному производству продуктов с высокой добавленной стоимостью. Комплекс может быть встроено в различные технологические линии по получению продуктов из торфяного сырья.

**Библиографический список**

1. Гидроторф. Книга вторая, часть 1. Гидравлический способ сезонной добычи торфа. Издание научно-технического Управления ВСНХ СССР, М, 1927, 490 с.
2. Способ производства продукции, тепла и электроэнергии из торфа и технологический комплекс для его осуществления. Патент РФ 2295556, МПК С 10 F, опубл. 20.03.2007, бюлл. № 8.
3. Аренс В.Ж. Скважинная добыча твердых полезных ископаемых / В.Ж. Аренс, Б.В. Исмагилов, Д.Н. Шпак // М., Недра, 1980, 229 с.
4. Комплекс для добычи полезных ископаемых, в частности торфа. Патент РФ 2304721 МПК Е 21 С 49/Е 21 С 45, опубл. 20.08.2007.
5. Горячёв В.И. Машины и процессы фракционирования торфяного сырья гидроразмывом. / В.И. Горячёв, И.И. Михеев, А.Л. Яблонев, К.В. Фомин / Технологии добычи и переработки торфа, торфяное оборудование и его ремонт. Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). №7 (специальный выпуск 38). М.: Издательство «Горная книга». 2018. С. 3–10.
6. Горячёв, В.И. Выбор пресса для обезвоживания торфа в технологии фракционирования торфяного сырья гидроразмывом / В.И. Горячёв, И.И. Михеев, А.Л. Яблонев, К.В. Фомин / Технологии добычи и переработки торфа, торфяное оборудование и его ремонт. Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). №7 (специальный выпуск 38). М.: Издательство «Горная книга». 2018. С. 22–30.

УДК 622.331:658.7

**Васильев А.Н.**

Васильев Алексей Николаевич, д. т. н., профессор кафедры механизации природообустройства и ремонта машин Тверского государственного технического университета. Тверь, Академическая, 12.

## **ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МАШИНЫ ГЛУБОКОГО ДРЕНИРОВАНИЯ МГД-6Н НА РЕЗКЕ ЛЬДА**

*Аннотация.* Машина глубокого дренирования МГД-6Н конструкции Калининского политехнического института (Тверского государственного технического университета) нашла применение в горной промышленности для резки льда в магистральном канале, отводящем воду от карьера до водоприемника. Крошка льда под действием центробежной силы, возникающей при вращении цепного бара, выбрасывается из ковшей цепи рабочего органа и отводится массоотводчиком на 500–600 мм от оси щелевой дрены. Производительность машины на резке льда за 7-часовую смену составляет 1,0 км при ширине щели 115 мм. Это приводит к быстрому размыву льда в магистральном канале и лучшему осушению карьера.

*Ключевые слова:* лед, щель, осушение, карьер, цепной бар, крошка льда, массоотводчик.

**Vasiliev A.N.**

Vasiliev Aleksei N., Dr. Sc., Professor of the Chair of Mechanization of Environmental Engineering and Repair of Machines of the Tver State Technical University. Tver, Akademicheskaya, 12.

## **THE USE OF DEEPDRAINAGE MACHINE MHD-6N FOR CUTTING ICE**

*Abstract.* The deep drainage machine MHD-6N designed by the Kalinin Polytechnic Institute (Tver State Technical University) has found application in the mining industry for cutting ice in the main channel that drains water from the quarry to the water intake. A crumb of ice under the action of the Central force arising from the rotation of the chain bar is ejected from the buckets of the chain of the working body and is diverted by a mass remover to 500–600 mm from the axis of the slit drain. The productivity of the machine for cutting ice for a 7-hour shift is 1.0 km with a slit width of 115 mm. This leads to a rapid erosion of ice in the main channel and better drainage of the quarry.

*Keywords:* ice crack, the draining of the quarry, chain bar, baby ice, mass remover.

**В** 1965 году автор статьи был включен в члены Государственной комиссии по приемке новой техники от Свердловского производственного объединения по торфу (Екатеринбург). Комиссию возглавлял Сергей Георгиевич Солопов.

Сдавали две машины по дренированию производственных площадей, одна с цепным баром МГД-6Н Калининского политехнического института (Тверского государственного технического университета), вторая со шнеком МЭД-1 Калининского филиала ВНИИ торфяной промышленности. Машины были привезены на торфопредприятие «Емельяновское» Калининского производственного объединения.

Членам комиссии особенно понравилась первая машина. Работала она следующим образом.

Из винилпастовой пленки толщиной 0,5–0,9 мм и шириной ленты 144 мм с помощью головки с механизмом формования и сшивания перфорированная трубка укладывается на дно дрены. Закрывающий аппарат дрены представляет собой два конусообразных диска. Закрытие дрены осуществляется с помощью пружин, которые передают давление на диски; пружины предохраняют закрывающий аппарат от поломок в случае наезда на пень. Машина выполняет следующие операции: прорезает в торфяной залежи с любой пенистостью глубиной до 2,5 м узкие (115 мм) щели, транспортирует сфрезерованную торфяную массу на поверхность залежи, отводит специальным кожухом (массоотводчиком) торфяную массу на 500–600 мм от оси щелевой дрены, изготавливает и укладывает на дно щели непрерывную трубку из винилпастовой пленки и зарывает щель на глубину до 0,5 м [1, с. 126].

Вторая машина МЭД-1 Калининского филиала ВНИИ торфяной промышленности выполняла следующие операции: рыла траншею с заданным уклоном, укладывала на дно непрерывную полиэтиленовую трубку заводского изготовления или на месте могла формировать трубку диаметром 40 мм из винилпастовой пленки, укладывала ее на дно и закрывала верхнюю часть траншеи. Машина рыла дренаж глубиной до 2,5 м и шириной щели 155 мм, предназначалась для малопнистой торфяной залежи [2, с. 129].

Когда у С.Г. Солопова спросили: «Зачем нужна вторая машина, если первая может работать на пнистой и беспнистой залежах?», он ответил: «Для разработки торфяных залежей с различной пнистостью необходимо разнообразие техники. Какая машина экономически выгодна, покажет практика». Обе машины комиссия приняла.

Весной 1966 года Свердловское производственное объединение направило меня в командировку в Каменск-Уральский для испытания машины МГД-6Н на резке льда. Объединение продало одну машину МГД-6Н угольному карьеру. Он имел следующую структуру.

Откос сто метров: пятьдесят метров земляная порода и пятьдесят метров угля с прослойками тридцать сантиметров угля, тридцать сантиметров почвы, «слоеный пирог» толщиной пятьдесят метров. На поверхности земли работают три бульдозера с навесным оборудованием к трактору С-100Б и сбрасывают почву в карьер.

В карьере на плите и лыжах стоит шагающий экскаватор. Ёмкость ковша 60 м<sup>3</sup>, вылет стрелы 100 м. (В 1966 года на Уралмашзаводе был на экскурсии, изготавливали экспериментальный шагающий экскаватор с емкостью ковша 120 м<sup>3</sup>). От забоя ковшом почва отбрасывается на 200 м. Чтобы шагать, такому экскаватору нужна площадка ровная, как стол. Кабина экскаватора — это целый цех, в котором смонтированы механизмы и приспособления для поднятия агрегатов, деталей.

На карьере под углом 18° установлены три магистральных, стационарных, прямолинейных ленточных конвейера, каждый протяженностью семь километров. Три линии конвейеров необходимы для надежности доставки угля с карьера на обогатительную фабрику. На обогатительной фабрике масса угля и почвы дробилась, мылась в воде, проходила воздушную очистку, просеивалась, и крупные гранулы угля поступали в бункеры эстакады для погрузки в вагоны широкой колеи.

Так как забой (разработка угля) постепенно удалялся от магистральных конвейеров, устанавливались промежуточные (соединительные) жилообразные конвейеры длиной двадцать, десять и пять метров. Все конвейеры имели площадками для прохода рабочих и ремонта. На промежуточных конвейерах стояли по две женщины и сбрасывали пустую породу на землю. Ширина ленты два метра. Погрузка взорванной массы (угля и почвы) осуществлялась экскаватором с емкостью ковша один кубический метр.

На дне по всей длине карьера прорыт канал и водоем для сброса воды из карьера. На водоеме установлен насос для откачки воды из карьера в магистральный канал, вырытый на поверхности земли до водоприемника. Протяженность магистрального канала 7 км. Глубина магистрального канала 3–4 метра. Именно в нем при осенней откачке воды из карьера вода замерзает, наслаивается и образует семикилометровую глыбу льда до 3 м толщины.

С машины МГД-6Н был снят формователь непрерывных перфорированных трубок, закрывающий аппарат дрен.

Крошка льда под действием центробежной силы, возникающей при вращении цепного бара, выбрасывается из ковшей цепи рабочего органа и отводится массоотводчиком на 500–600 мм от оси щелевой дрены. Для получения рабочих скоростей на тракторе С-100Б был куплен ходоуменьшитель, который использовался для работы машины МПГ-1,7. Ходоуменьшитель позволил иметь восемь рабочих скоростей в диапазоне от 0,03 до 0,2 м/с (100 до 760 м/ч); производительность за 7-часовую смену 1,0 км

ледяной щели. В течение семи дней на всем протяжении магистрального канала была прорезана щель 115 мм. Это обеспечивало быстрый размыв льда в магистральном канале и лучшее осушение карьера.

#### **Библиографический список**

1. Торфяные машины и комплексы. Учебное пособие / Солопов С.Г., Горцакалян Л.О., Самсонов Л.Н. М.: Недра, 1972. 392 с.
2. Торфяные машины и комплексы. 2-е изд., перераб. и доп. Учебное пособие / Солопов С.Г., Горцакалян Л.О., Самсонов Л.Н., Цветков В.И. М.: Недра, 1981. 416 с.



УДК 622.23.05:622.7

### **Фомин К.В.**

Фомин Константин Владимирович, д. т. н., заведующий кафедрой механизации природообустройства и ремонта машин Тверского государственного технического университета (ТвГТУ). 170023, Тверь, Академическая, 12. fomin\_tver@mail.ru.

### **Крылов К.С.**

Крылов Константин Станиславович, к. т. н., доцент кафедры механизации природообустройства и ремонта машин ТвГТУ. krylovks74@mail.ru.

### **Харламов В.Е.**

Харламов Вячеслав Евгеньевич, к. т. н., доцент кафедры механизации природообустройства и ремонта машин ТвГТУ.

### **Морозихина И.К.**

Морозихина Ирина Константиновна, к. т. н., доцент кафедры механизации природообустройства и ремонта машин ТвГТУ. mik.tv@mail.ru.

## **ОЦЕНКА ПЛОТНОСТИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ВОЗДЕЙСТВИЙ СО СТОРОНЫ ПОВЕРХНОСТИ КАРТЫ НА ЭЛЕМЕНТЫ ХОДОВЫХ КОНСТРУКЦИЙ ТОРФЯНОЙ МАШИНЫ**

*Аннотация.* При анализе динамической нагруженности элементов привода и конструкции торфяной машины необходимо знать вероятностные характеристики изменчивости физико-механических свойств залежи, такие как математическое ожидание и среднеквадратическое отклонение плотности, предельного напряжения сдвига торфа, а также вероятностные характеристики профиля поверхности карт. В работе предложена модель и получены выражения для определения плотности распределения кинематического воздействия профиля поверхности карты на ходовую систему торфяных машин с учетом взаимодействия с древесными включениями. Они служат исходной информацией для определения нагрузок на элементы конструкции торфяной машины.

*Ключевые слова:* торфяная машина, профиль поверхности карты, плотности распределения, древесные включения.

### **Fomin K.V.**

Fomin Konstantin V., Dr. Sc., Prof., Chair of Mechanization of Nature Management and Repair of Machines of the Tver State Technical University (TSTU). 170023, Tver, Academiceskaya, 12.

### **Krylov K.S.**

Krylov Konstantin S., Ph.D, Associate Professor, Chair of Mechanization of Nature Management and Repair of Machines of the TSTU.

### **Harlamov V.E.**

Harlamov Vyacheslav E., Ph.D, Associate Professor, Chair of Mechanization of Nature Management and Repair of Machines of the TSTU.

### **Morozikhina I.K.**

Morozikhina Irina K., Ph.D, Associate Professor, Chair of Mechanization of Nature Management and Repair of Machines of the TSTU.

## **ASSESSMENT OF IMPACT DISTRIBUTION DENSITY FROM THE SURFACE OF THE PEAT FIELD TO THE ELEMENTS OF RUNNING STRUCTURES OF A PEAT MACHINE**

*Abstract.* While analyzing the dynamic loading of drive components and construction of the peat machine, it's necessary to know the probabilistic characteristics of the variability of physico-mechanical properties of deposits, such as mathematical expectation and standard deviation of density, critical shear stress of the peat, as well as the probability characteristics of surface profile of peat field. A model is proposed and expressions are obtained to determine the distribution density of the kinematic effects of the map surface profile on the running system of peat machines, taking into account the interaction with wood inclusions. They serve as the initial information for determining the loads on the structural elements of the peat machine.

*Keywords:* peat machine, surface profile of peat field, distribution density, wood inclusions.

## Введение

Профиль поверхности карты, по которой передвигается торфяная машина, является одним из факторов, определяющих величину и характер нагрузки на ходовую часть, элементы конструкции, привод и двигатель [1–3].

На формирование рельефа производственных площадей оказывают влияние природные (наличие гряд и мочажин, избыточность увлажненных пластов и линз, пней и др.) и технологические (качество подготовки поверхности площадей, интенсивность эксплуатации, схема производства фрезерного торфа и др.) факторы [4–6].

Одним из основных является процесс взаимодействия торфяных машин с залежью, выполняющих технологические операции. Изменение профиля поверхности, влажности, степени разложения, плотности и прочностных свойств эксплуатируемых торфяных залежей имеет случайный характер, поэтому они могут рассматриваться как случайные процессы и оцениваться с применением методов математической статистики [5–7].

Рельеф поверхности карт в продольном направлении обусловлен природой торфяных залежей и технологическими факторами, поперечный формируется главным образом в результате воздействия на поверхность технологического оборудования [5, 6]. Поперечный рельеф зависит от технологической схемы процесса добычи торфа. Это объясняется многократными проходами технологического оборудования по одним и тем же участкам профиля карт [6].

При анализе динамической нагруженности элементов привода и конструкции торфяных машин необходимо знать характеристики изменчивости физико-механических свойств залежи, такие как математическое ожидание, дисперсия и спектральная плотность предельного напряжения сдвига, плотности торфа, а также вероятностные характеристики профиля поверхности карт [2, 3].

Обработка замеров профиля карты показывает, что закон распределения близок к нормальному, а случайный процесс является стационарным и эргодическим [5–8].

Корреляционные функции  $K_h(L)$  и спектральные плотности  $S_h(\omega)$  для продольных и поперечных профилей аппроксимируются выражениями вида [5–7]:

$$K_h(L) = D_h \exp(-\alpha|L|) \cos \beta L,$$

$$S_h(\omega) = D_h \frac{\alpha(\omega^2 + \alpha^2 + \beta^2)}{(\omega^2 - \beta^2 - \alpha^2)^2 + 4\alpha^2\omega^2}.$$

Коэффициенты  $\alpha$  и  $\beta$  характеризуют свойства корреляционной функции:  $\alpha$  – интенсивность ее затухания;  $\beta$  – частоту периодической составляющей случайного процесса. Значения коэффициентов  $\alpha$  и  $\beta$  представлены в [5–7].

Анализ результатов [5–7] показывает, что в изменениях неровностей помимо случайных имеются и периодические составляющие с частотами от 0,59 до 0,83 м<sup>-1</sup> (период неровностей – 7,55–10,62 м) для поперечных профилей – от 1,05 до 1,73 м<sup>-1</sup> (период неровностей 3,63–5,96 м).

Интенсивность воздействия профиля на машину зависит от скорости ее движения  $W$ , поэтому необходимо перейти к случайному процессу воздействия с аргументом времени  $t$ .

Корреляционные функции и спектральные плотности при переходе от расстояния ко времени имеют вид:

$$K_h(\tau) = D_h \exp(-W\alpha|\tau|) \cos(W\beta\tau),$$

$$S_h(\omega) = \frac{D_h}{W} \frac{\alpha(\omega^2 + W^2\alpha^2 + W^2\beta^2)}{(\omega^2 - W^2\beta^2 - W^2\alpha^2)^2 + 4W^2\alpha^2\omega^2}.$$

На формирование профиля поверхности карты большое влияние оказывает наличие древесных включений. В работе [9] получены выражения для определения спектральной плотности кинематического воздействия на ходовую систему торфяной машины в этом случае:

$$S(\omega) = S_h(\omega) - S_{\Delta h}(\omega) + S_d(\omega),$$

где  $S_h(\omega)$  – спектральная плотность изменения профиля поверхности карты;  $S_{\Delta h}(\omega)$  – спектральная плотность изменения деформации залежи;  $S_d(\omega)$  – спектральная плотность кинематического воздействия на ходовую систему со стороны древесных включений (при  $\omega \neq 0$ );

$$S_d(\omega) = \frac{2\lambda}{3} \Delta h_{\text{ср}}^2 K(\omega),$$

где  $\lambda$  – число древесных включений, попадающих на древесное включение в единицу времени;  $\Delta h_{\text{ср}}$  – средняя величина деформации залежи под элементами ходовой конструкции торфяной машины;

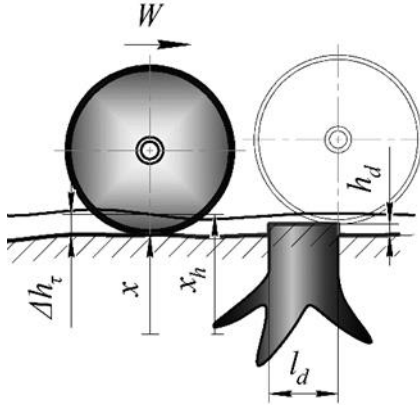
$$K(\omega) = \int_0^{\infty} \left[ \frac{\sin(\omega\tau_d/2)}{\omega\tau_d/2} \right]^2 W(\tau_d) d\tau_d,$$

где  $W(\tau_d)$  – плотность распределения длительности взаимодействия элементов ходовой с древесными включениями  $\tau_d$ .

Известно, что для полного описания случайных процессов необходимо, помимо спектральной плотности и дисперсии, знать их плотность распределения.

### Модель воздействия на элементы ходовых конструкций торфяной машины со стороны поверхности карты

Воздействие со стороны поверхности карты на элементы ходовой конструкции определяется изменением профиля поверхности  $x_h$ , величиной деформации залежи  $\Delta h_\tau$ , а также взаимодействием с древесными включениями (рис.).



**Рис.** Взаимодействие элементов ходовых конструкций торфяной машины с поверхностью карты  
**Fig.** The interaction between the wheel of the peat machine with the surface of peat field

Таким образом, величина кинематического воздействия с учетом этих факторов равна:

$$x(t) = x_h(t) - \Delta h_\tau(t) + \sum_{n=-\infty}^{\infty} \Delta h_{dn} \varphi(\tau_{dn}; t - t_n), \quad (1)$$

где  $x_h(t)$  – изменение профиля поверхности карты;  $\Delta h_\tau(t)$  – деформация залежи под ходовым устройством;  $\Delta h_{dn}$  – высота на которую приподнимется колесо при наезде на  $n$ -е древесное включение;  $\varphi(\tau_{dn}; t - t_n)$  – функция с амплитудой равной единице, описывающая изменение высоты подъема колеса при обкачивании древесного включения:

$$\varphi_{dn}(t) = \begin{cases} 1 & \text{при } 0 > t > \tau_{dn} \\ 0 & \text{при } 0 \leq t \leq \tau_{dn} \end{cases}, \quad (2)$$

где  $\tau_{dn}$  – длительность взаимодействия с  $n$ -м древесным включением;  $t_n$  – момент появления  $n$ -го древесного включения под колесом или другим элементом ходовой конструкции (время, прошедшее от точки отсчета до момента взаимодействия с  $n$ -м древесным включением).

Величина  $t_n$  определяется расстоянием между древесными включениями в залежи, которые являются случайными, и скоростью передвижения машины  $W$ . Высота, на которую поднимется колесо при наезде на древесное включение  $\Delta h_{dn}$ , также является случайной и зависит от расстояния древесного включения до дневной поверхности залежи и осадки колеса.

Таким образом, функция, описывающая воздействие со стороны поверхности карты на

элементы ходовой конструкции торфяной машины, является случайной, состоящей из двух частей – непрерывной, зависящей от изменчивости профиля поверхности карты и физико-механических свойств торфа (определяющих деформацию залежи при воздействии ходового устройства), и функции в виде последовательности импульсов со случайными параметрами, возникающей при взаимодействии с древесными включениями.

### Оценка плотности распределения кинематического воздействия профиля поверхности карты на ходовые устройства

Для определения плотности распределения  $x(t)$  воспользуемся ее разложением в ряд Эджворта [10, 11]:

$$W(x) = \frac{\exp(-y^2/2)}{\sigma\sqrt{2\pi}} \times \left[ 1 + \frac{\chi_{x3} H_3(y)}{6\sigma^3} + \frac{\chi_{x4} H_4(y)}{24\sigma^4} \right] + \dots, \quad (3)$$

где  $H_3(y) = y^3 - 3y$  и  $H_4(y) = y^4 - 6y^2 + 3$  – соответственно 3-й и 4-й полиномы Эрмита [10, 11];  $\chi_k$  – кумулянты  $k$ -го порядка ( $k = 1, 2, 3, 4, \dots$ ).

В выражении (3) введены обозначения:

$$y = \frac{x - m}{\sigma}; \quad \chi_{x1} = m; \quad \chi_{x2} = \sigma^2,$$

где  $m$ ,  $\sigma$  – соответственно, математическое и среднее квадратическое отклонение величины кинематического воздействия.

Кумулянты  $k$ -го порядка для (3), с учетом независимости составляющих процесса (1) и учетом свойств [12], равны:

$$\chi_{xk} = \chi_{xhk} + \chi_{h\tau k} + \chi_{dk}, \quad (4)$$

где  $\chi_{xhk}$  – кумулянты  $k$ -го порядка профиля поверхности карты;  $\chi_{h\tau k}$  – кумулянты  $k$ -го порядка деформации залежи под ходовым устройством;  $\chi_{dk}$  – кумулянты  $k$ -го порядка высоты на которую приподнимется колесо при наезде на древесное включение;  $k = 1, 2, 3 \dots$

Известно, что ординаты профиля поверхности карты подчиняются нормальному закону [6–8]. В этом случае для двух первых кумулянтов  $\chi_{xhk}$  можно записать  $\chi_{xh1} = m_{xh}$ ;  $\chi_{xh2} = D_{xh}$ , где  $m_{xh}$ ,  $D_{xh}$  – соответственно, математическое ожидание и дисперсия ординат профиля поверхности карты.

При взаимодействии колес с поверхностью карты происходит деформация и уплотнение верхнего слоя торфа, образование колеи. Если действующие давления под ходовым устройством много меньше, чем предел длительной несущей способности залежи, зависимость для осадки колеса имеет вид [13, 14]:

$$\Delta h_{\tau}(t) = f(Q; \Gamma_{\kappa}; K_y), \quad (5)$$

где  $Q$  – нагрузка на колесо;  $\Gamma_{\kappa}$  – геометрические параметры колеса;  $K_y$  – коэффициент упругости залежи.

Коэффициент упругости залежи является случайной величиной, зависящей от влажности, степени разложения, типа торфа, его ботанического состава [14]. Эти факторы определяют случайный характер изменения осадки колеса.

Учитывая, что среднеквадратическое отклонение изменчивости прочностных свойств залежи, как правило, меньше, чем их средняя величина, разложим функцию (5) в ряд Тейлора в окрестности математического ожидания коэффициента упругости и отбросим все члены ряда выше первой степени:

$$\Delta h_{\tau}(t) = f(Q; \Gamma_{\kappa}; m_{K_y}) + \left[ \frac{df(Q; \Gamma_{\kappa}; K_y)}{dK_y} \right]_m K_y.$$

Соответственно, кумулянты  $k$ -го порядка изменения осадки колеса с учетом их свойств [12] равны:

при  $k = 1$

$$\chi_{h\tau k} = f(Q; \Gamma_{\kappa}; m_{K_y}) + \left[ \frac{df(Q; \Gamma_{\kappa}; K_y)}{dK} \right]_m \chi_{K_y k};$$

при  $k \geq 2$

$$\chi_{h\tau k} = \left[ \frac{df(Q; \Gamma_{\kappa}; K_y)}{dK_y} \right]_m^k \chi_{K_y k}, \quad (6)$$

где  $m_{K_y}$ ,  $\chi_{K_y k}$  – соответственно, математическое ожидание и кумулянты  $k$ -го порядка изменения коэффициента упругости залежи (могут быть определены экспериментально).

При наезде ходовых устройств на древесные включения воздействия можно представить в виде последовательности импульсов со случайными параметрами:

$$h_d(t) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} \Delta h_{dn} \varphi(\tau_{dn}; t - t_n).$$

При этом процесс может быть отнесен к типу импульсного пуассоновского [2, 3]. Используя подходы, предложенные в [2, 10, 11], для  $k$ -х кумулянтов кинематических воздействий при взаимодействии с древесными включениями, можно получить:

$$\chi_{dk} = \lambda_d m_1 \left\{ \Delta h_d^k \right\} m_1 \left\{ \int_0^{\tau_d} \varphi^k(t) dt \right\}, \quad (7)$$

где  $\lambda_d$  – число древесных включений, попадающих на ходовое устройство в единицу времени;  $m_1 \{ \}$  – знак усреднения.

Подставляя (2) в (7) получим:

$$\chi_{dk} = \lambda_d m_1 \left\{ \Delta h_d^k \right\} m_1 \left\{ \frac{\tau_d^{k+1}}{k+1} \right\}.$$

Учитывая, что длительность взаимодействия с древесным включением  $\tau_d = l_d / W$ , где  $l_d$  – размер древесного включения в направлении движения агрегата;  $W$  – скорость перемещения машины, для  $\chi_{dk}$  получим:

$$\chi_{dk} = \lambda_d m_1 \left\{ \Delta h_d^k \right\} \frac{1}{W^{k+1} (k+1)} m_1 \left\{ l_d^{k+1} \right\}.$$

Учитывая, что:

$$m_1 \left\{ \Delta h_d^k \right\} = \int_0^{\infty} \Delta h_d^k W_{\Delta h}(\Delta h_d) d\Delta h_d = m_{\Delta h k}$$

является моментом  $k$ -го порядка высот  $\Delta h$ , а

$$m_1 \left\{ l_d^{k+1} \right\} = \int_0^{\infty} l_d^{k+1} W_d(l_d) dl_d = m_{d;k+1}$$

моментом  $(k+1)$ -го порядка размеров древесных включений, получим:

$$\chi_{dk} = \lambda_d \frac{m_{\Delta h k} m_{d;k+1}}{W^{k+1} (k+1)}.$$

В случае равномерного распределения  $\Delta h_d$  в пределах средней глубины осадки колеса  $\Delta h_{\text{ср}}$  ( $\Delta h_{\text{ср}} = \chi_{h\tau 1}$  т. е. равно кумулянту первого порядка  $\Delta h_{\tau}$ ) получим:

$$\chi_{dk} = \lambda_d \frac{\Delta h_{\text{ср}}^k m_{d;k+1}}{W^{k+1} (k+1)^2} \quad (8).$$

Выражение (3) позволяет по кумулянтам (4) оценить значение плотности вероятности кинематического воздействия на элементы ходовых конструкций торфяной машины со стороны поверхности карты с учетом взаимодействия с древесными включениями.

Вероятностные характеристики и плотность распределения служат исходной информацией для определения нагрузок на элементы конструкции торфяной машины, изменения глубины фрезерования и других технологических параметров их работы.

### Библиографический список

1. Солопов С.Г. Торфяные машины и комплексы / С.Г. Солопов, Л.О. Горцаколян, Л.Н. Самсонов, В.В. Цветков. Учебное пособие для вузов. М: Недра, 1981. 416 с.
2. Самсонов Л.Н. Элементы статистической динамики торфяных фрезерующих агрегатов / Л.Н. Самсонов, К.В. Фомин. Тверь: Тверской государственный технический университет, 2005. 168 с.
3. Самсонов Л.Н. Определение вероятностных характеристик момента нагружения на рабочем органе торфяного фрезерующего агрегата

- / Л.Н. Самсонов, К.В. Фомин / Известия высших учебных заведений. Горный журнал. 2003. № 3. С. 106–112.
4. *Амарян Л.С.* Свойства слабых грунтов и методы их изучения / Л.С. Амарян. М.: Недра, 1990. 220 с.
  5. Влияние профиля поверхности и механических свойств основания на гусеничную машину / Корчунов С.С., Селенов В.Г., Ефимов Е. В., Абакумов О.Н. / Исследование физико-механических свойств торфа. Л., 1978. С. 50–59.
  6. *Кузнецов Н.В.* Статистические характеристики продольных и поперечных профилей торфяных полей, подготовленных к эксплуатации / Труды ВНИИТП. Вып. 37. 1976. С. 12–22.
  7. *Кот Н.А., Бохан И.И.* Определение статистических характеристик профиля торфяных полей / Торфяная промышленность. 1971. № 9. С. 14–16.
  8. *Куприянов В.К.* О рельефе торфяных полей, подлежащих ремонту / Труды ВНИИТП. Вып. 52. 1984. С. 30–33.
  9. *Фомин К.В., Павлов А.Н.* Моделирование воздействия на элементы ходовых конструкций торфяной машины со стороны поверхности карты / В сборнике: Проблемы природопользования и инженерной экологии. Тверь, Тверской государственный технический университет, 2007. С. 111–115.
  10. *Рытов С.Н.* Введение в статистическую радиофизику. М.: Наука, 1976. 471 с.
  11. *Тихонов В.И.* Статистическая радиотехника. М.: Радио и связь, 1982. 681 с.
  12. *Малахов А.Н.* Кумулянтный анализ случайных негауссовых процессов и их преобразований. М.: Сов. радио, 1978, 376 с.
  13. *Самсонов Л.Н., Сеницын В.Ф.* Торфяные машины и комплексы. Часть 1. Взаимодействие ходовых устройств с торфяной залежью. Тверь, 1995. 362 с.
  14. *Сеницын В.Ф., Серков Д.А.* Исследование деформационных свойств неосушенной торфяной залежи методом статистического моделирования / Научный вестник Московского государственного горного университета. 2011. № 2. С. 76–80.
  15. *Ефимов В.И.* Размеры и распределение сосновых пней в залежи как основание для расчета параметров корчевателя / Торфяная промышленность. 1976. № 1. С. 12–14.
  16. *Зиновьев Д.А.* Исследование пнистости верховой залежи на участке производства фрезерного торфа / Торф и его переработка. Л., 1978. С. 26–29.

УДК 624.131.5; 624.131

### **Епифанцев К.В.**

Епифанцев Кирилл Валерьевич., к. т. н., доцент кафедры метрологического обеспечения инновационных технологий и промышленной безопасности Санкт-Петербургского государственного университета аэрокосмического приборостроения, 190000, Санкт-Петербург, ул. Большая Морская, 67А. epifancew@gmail.com.

### **Мишура Т.П.**

Мишура Тамара Прохоровна., к. т. н., доцент кафедры метрологического обеспечения инновационных технологий и промышленной безопасности Санкт-Петербургского государственного университета аэрокосмического приборостроения.

## **ПЕРСПЕКТИВНОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ RDF-СЫРЬЯ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ И СЕЛЬСКОМ ХОЗЯЙСТВЕ**

*Аннотация.* В статье исследованы методы утилизации отходов. Основные выбранные методы – разработка удобрений для почв и создание инновационного строительного материала.

*Ключевые слова:* утилизация отходов, торф, сырье из отходов, твердое связующее, композиционное удобрение.

### **Epifantsev K.V.**

Epifantsev K. Ph.D., Associate Professor of the Chair of Metrological Support of Innovative Technologies and Industrial Safety, St. Petersburg State University of Aerospace Instrumentation, 190000, St. Petersburg, Bolshaya Morskaya str. 67A. epifancew@gmail.com.

### **Mishura T.P.**

Mishura Tamara P., Ph.D., Associate Professor of the Chair of Metrological Support of Innovative Technologies and Industrial Safety, St. Petersburg State University of Aerospace Instrumentation.

## **THE PROSPECTIVE USE OF RDF RAW MATERIALS IN CONSTRUCTION AND AGRICULTURE**

*Abstract.* The article investigates the methods of waste disposal. The main selected methods are the development of fertilizers for soils and the creation of an innovative construction material.

*Keywords:* waste disposal, peat, raw materials from waste, solid binder, composite fertilizer.

## Введение

В статье исследованы методы утилизации отходов – разработка удобрений для почв и создание инновационного строительного материала. В настоящее время, по данным Жилищного комитета Администрации Санкт-Петербурга, ежегодно на свалки вывозятся 6,5–9 миллионов кубометров отходов в год. Из этого объема только 1,5 млн кубометров (17–23%) направляется на переработку на два полигона («Новоселки» и ОАО «Опытный завод МПБО-2 Янино», проектные хвостохранилища, по приблизительной оценке, имеют 50 000 тонн RDF-сырья).

В Санкт-Петербурге и на прилегающей территории Ленинградской области насчитывается около 250 несанкционированных свалок, на которых размещены, по очень приблизительным оценкам, от 500 тыс. до 1 млн кубометров мусора. Отличительной особенностью несанкционированных свалок является высокая концентрация тяжелых и редких металлов в мусоре.

В статье рассматривается возможность использования аэробного компостирования от-

ходов в качестве удобрения для почвы и твердого строительного материала или альтернативного твердого связующего из высокоабразивных гранул [1]. Методы прикладных исследований показывают, что отходы RDF коммерциализируются и имеют перспективу стать отдельным инновационным продуктом.

## Разработка технологий упрочнения материалов

RDF-сырье (материал в виде зерен, полученных из отходов) – это твердый горючий материал или топливо, полученное из отходов. В состав RDF входят высококалорийные компоненты отходов, такие как пластик, бумага, картон, текстиль, резина, кожа, дерево и др.

Теплотворная способность топлива RDF составляет  $20\,000 \pm 2\,000$  кДж/кг. Размер зерна RDF  $\sim 20\text{--}25$  мм. Содержание опасных компонентов в топливе строго контролируется и не превышает допустимых норм. По теплотворной способности 1,7 кг RDF соответствует 1 кубометру газа. RDF представляет собой твердый материал, получаемый путем измельчения и обезвоживания твердых отходов (ТБО) (рис. 1).



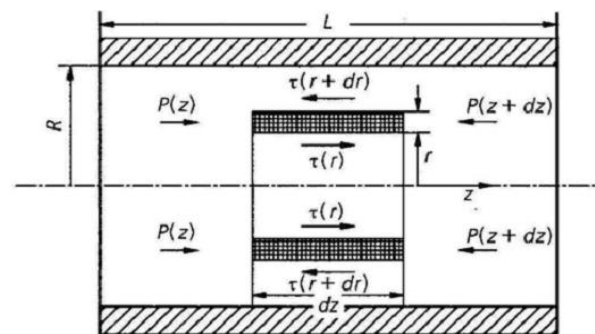
**Рис. 1.** Выбор фракций: >350 мм (больших) и <65 мм (малых)  
**Fig. 1.** Choice of fractions: >350 mm (large) and <65 mm (small)

Состав выбранной шихты для формования окатышей:

- бумага и картон 14 %
- ткани и полиэстера 6 %
- смешанная упаковка, полимеры 18 %
- пластиковый 2 %
- пищевые и растительные отходы 60 %.

Для получения связующего материала из RDF-сырья, методом экструдирования были сформированы гранулы. Рабочим органом экструдера является шнек. В канале круглого сечения матрицы (с радиусом  $R$  и длиной  $l$ ), в котором воздействиями на вход и выход можно пренебречь, равновесные силы, действующие на цилиндрический элемент биомассы с толщиной слоя  $dr$ , движутся со скоростью  $P(z)$  (рис. 2). Баланс импульса сводится к равновесию сил. Это является следствием несжимаемости сырья и доказывает предположение,

что материал течет по прямолинейным параллельным траекториям с постоянной скоростью [2].

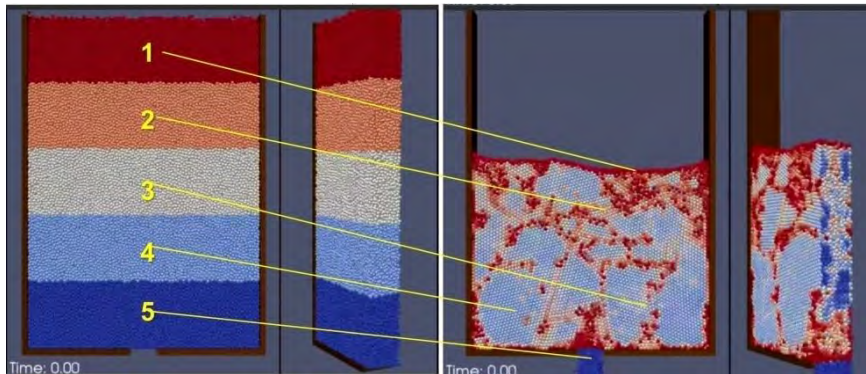


**Рис. 2.** Равновесие сил, действующих на массовый элемент сырья RDF в матрице

**Fig. 2.** The balance of forces acting on the mass element of raw materials RDF in the matrix

При моделировании движения массы для слоев были установлены условия плотности, соответствующие составу используемого в экструдере сырья.

На рис. 3 представлены слои материалы: 1 – бумага и картон, 2 – смесь ткани и полиэстера, 3 – смешанная упаковка, полимеры, 4 – пластик, 5 – пищевые и растительные отходы.

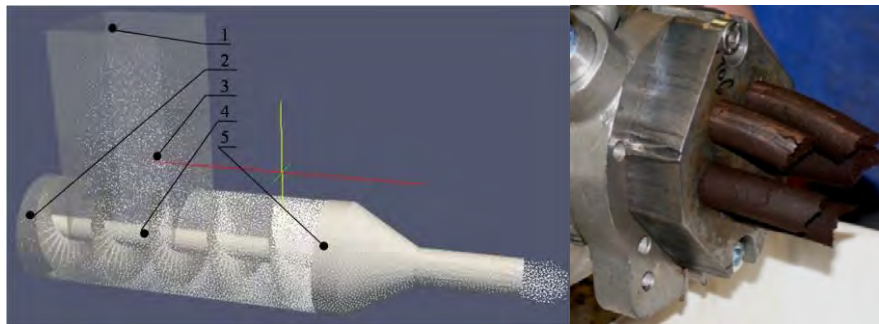


**Рис. 3.** Моделирование взаимодействия в составе RDF-сырья в прямоугольной матрице (обозначения по тексту)  
**Fig. 3.** Modeling the interaction in the composition of RDF-raw materials in a rectangular matrix (designation in the text)

Разработанная модель экструдера (рис. 4) включает: загрузочный бункер (1), корпус (2), шнек (4), сменные матрицы (5) и входящие частицы (3), имитирующие частицы сырья. Заложение материала осуществляется равномерно, достаточно для формируемого материала.

На рис. 4 отмечены стрелкой частицы, которые обладают высокой адгезией к стенкам корпуса шнека, а более рыхлые расположены в центре.

Они обладают самой высокой скоростью движения.



**Рис. 4.** Операция экструзии RDF-сырья (обозначения по тексту)  
**Fig. 4.** The operation of extrusion of RDF raw materials (designation in the text)

Гранулы, полученные из RDF-сырья, были испытаны на одноосное сжатие.

Использовался пресс Tinius Olsen, предназначенный для исследования пределов разрушения. На данном этапе он являлся основным обо-

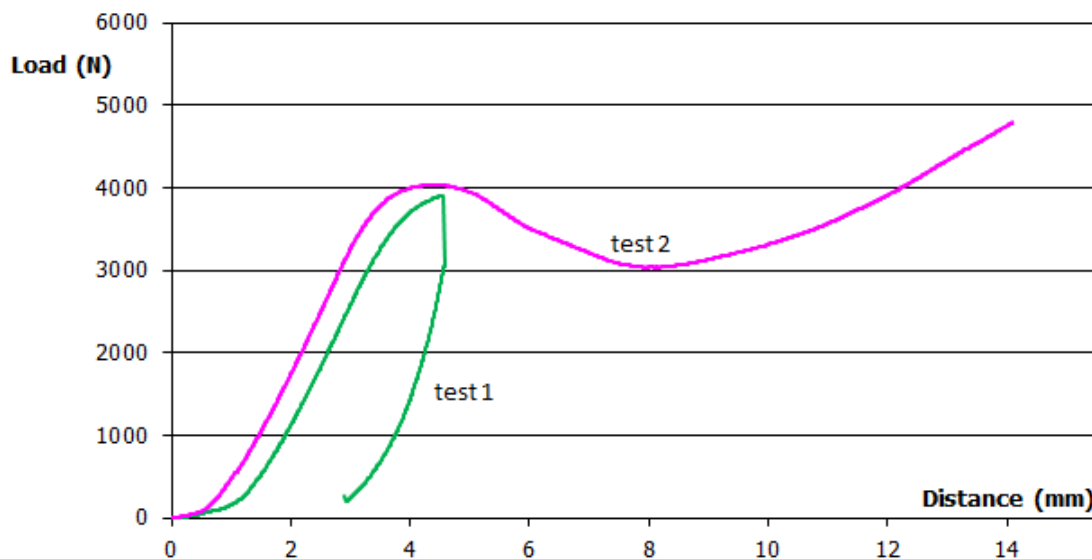
рудованием для определения деструкции гранул с возможностью их последующего использования в качестве связующей добавки строительных материалов. Сначала гранулы очищали от смеси, образовавшейся внутри экструдера.



**Рис. 5.** Результаты испытаний на сжатие гранул  
**Fig. 5.** The results of compression tests of granules



Результаты испытаний показаны на рис. 6.



**Рис. 6.** График испытаний прессы на одноосное сжатие гранул  
**Fig. 6.** Schedule of press tests for uniaxial compression of granules

Предел разрушения гранул одного из образцов (2) составил 4788 Н, что доказывает возможность его использования в качестве армирующего материала. Так, например, если партия кирпича М-100 по прочности степень сжатия должна быть не менее 100 кг/см<sup>2</sup>, кирпич марки М-250 способен выдержать 250 кг, в нашем случае с отходами при воздействии пятки прессы на разрушенный образец до его полного разрушения был предел 500 кг, поэтому образец достаточно прочен.

#### Подготовка смесей и составов удобрений из RDF-сырья

За время работы компания МПБО-2 «Янино № 2» делала попытки отдать компост с добавлением RDF-сырья для использования в качестве удобрения [3], однако были жалобы на отсутствие рекомендаций по дозам на 1 т почвы для клумбы и плодовых растений. Другое замечание было связано с запахом разлагающе-

гося компоста, который является ограничением на хранение сырья RDF вблизи общественных мест. Для борьбы с этими двумя проблемами были выполнены следующие исследования.

Для оценки возможности использования RDF-сырья в качестве удобрения был проведен эксперимент по изменению кислотности и оценке всхожести побегов теневой травы «Шедоу». RDF-сырье добавляли в количестве 7 г в каждую емкость (табл. 1). В каждой емкости была получена субстратная смесь из торфа, опилок и RDF-сырья. Трава проращивалась в полученной смеси в течение 10 дней. Всего было заложено 6 емкостей, соответствующих шести составов субстратных смесей. Каждая смесь характеризуется параметрами, представленными в табл. 2. После 10 дней анализатор рН и влагомер были использованы для того, чтобы измерить эти показатели в каждом из 6 контейнеров.

**Таблица 1.** Состав субстратной смеси  
**Table 1.** The composition of the substrate mixture

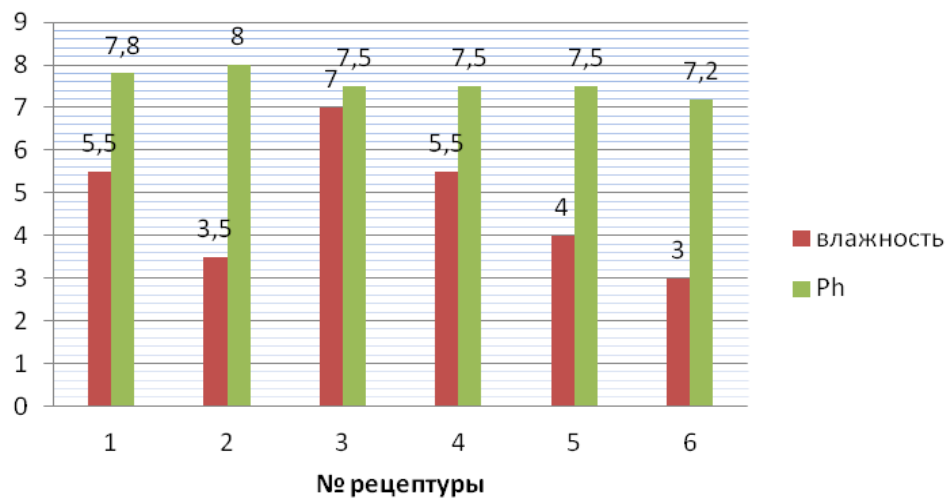
Формула	RDF-сырье, г	Торф, г	Опилки, г	Вода, г	Общий вес, г
1	53.09	87.7	20	35	195.79
2	30	113	17	35	195
3	75.79	75	10	35	195.79
4	44	102.75	14	35	195.75
5	65	71	24.75	35	195.75
6	80	71.75	9	35	195.75

**Таблица 2.** Характеристики компонентов и субстратных смесей  
**Table 2.** Characteristics of components and substrate mixtures

№	RDF-сырье		Опилки		Торф		Смесь		Всходы	
	Влажность, %	pH	Влажность, %	pH	Влажность, %	pH	Влажность, %	pH	Площадь, см <sup>2</sup>	Высота, см
1	98	6	10	8	25	7	5.5	7.8	10	8
2	98	6	10	8	25	7	3.5	8	30,04	11
3	98	6	10	8	25	7	7	7.5	13,53	7
4	98	6	10	8	25	7	5.5	7.5	7,7	12
5	98	6	10	8	25	7	4	7.5	5,25	13
6	98	6	10	8	25	7	3	7.2	3,14	8

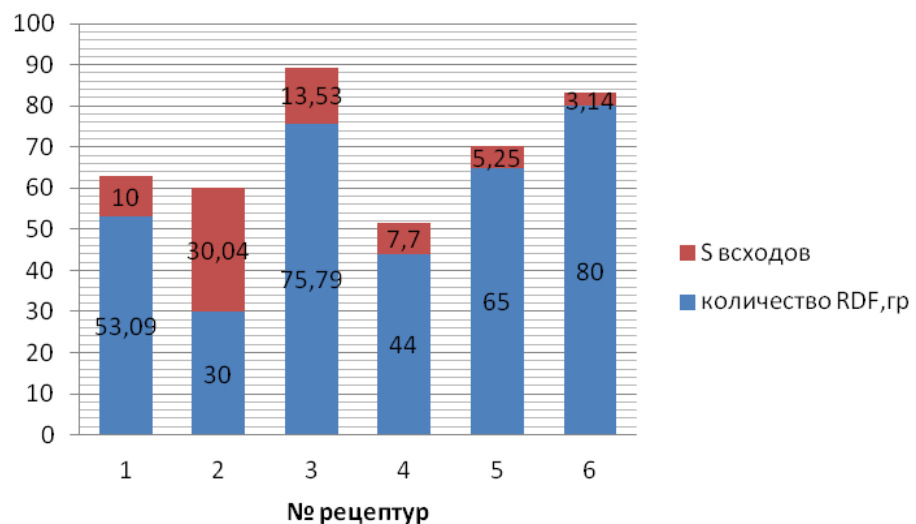
Площадь всходов травы «Шедоу» наибольшая при использовании смесей № 2 и 3, а максимальная высота побегов достигнута при ис-

пользовании смесей № 2, 4 и 5. На рис. 10 гистограмма зависимости влажности и pH-кислотности от состава субстратной смеси (рис. 10).



**Рис. 10.** Зависимость влажности и Ph от рецептуры смеси

**Fig. 10.** The dependence of humidity and Ph on the formulation of the mixture



**Рис. 11.** Влияние RDF-сырья на площадь всходов

**Fig. 11.** The influence of RDF on the seedling area

По большинству параметров для сельского хозяйства (декоративные растения) не применимы 2 рецептуры смесей (№ 3 и 6).

Наилучшим эффектом влияния на рост обладает соотношение влажности и pH в смеси № 2. Среда в 3-й смеси была щелочной, но это

не мешало давать высокие показатели всходов и высоте ростков. Добавленный в смесь торф повышал кислотность, а опилки, в свою очередь, нейтрализовали вредные примеси силикатов в виде мелкой стеклянной пыли, которой изобилует сырье RDF. Также в смеси № 2 соотношение состава RDF к опилкам 50 на 50. Наихудшей признана 6 рецептура, она имеет максимальное соотношение RDF по отношению к опилкам и торфу.

#### **Вывод**

В результате проведенных экспериментов были выявлены предельные пороговые значения армирующих материалов на основе RDF-сырья для создания компонентов строительной продукции из отходов. Разработаны субстратные смеси на основе RDF-сырья как основы для кластера удобрений. Экономическая выгода заключается в дешевых материалах, которые можно продать по более низкой стоимости, разгрузив территорию МПБО от накоп-

ленных отходов биотермического компостирования. Это позволит создать звено торгового оборота при переработке отходов, а также решить задачу охраны окружающей среды городских территорий.

#### **Библиографический список**

1. *Nikulin A., Kovshov S., Epifantsev K., Korshunov G.* Study of the possibility of using a biofuel production machine as a mobile device for processing poultry farm waste/ *Nikulin A., Kovshov S., Epifantsev K., Korshunov G.* / *Life Science Journal*, 2013. Vol. 11 (4). P. 464–467.
2. *Benbow J., Bridgwater J.* Paste flow and extrusion / *Benbow J., Bridgwater J.* Clarendon Press Oxford: UK, 2003. 425 p.
3. *Epifantsev K., Nikulin A., Kovshov S., Moser I.* Modeling of peat mass formation process based on 3D analysis of screw machine by code YADE / *Epifantsev K., Nikulin A., Kovshov S., Moser I.* / *American Journal of Mechanical Engineering*, 2013. Vol. 1 (3) P. 73–75.

УДК 622.331(09)(470)

**Селеннов В.Г.**

Селеннов Вадим Георгиевич, д. т. н.

**Михайлов А.В.**

Михайлов Александр Викторович, д. т. н., проф., профессор кафедры машиностроения Санкт-Петербургского горного университета. Санкт-Петербург, Васильевский остров, 21 линия д. 2. ерс68@mail.ru.

**ИССЛЕДОВАНИЯ  
ЛАБОРАТОРИИ ФИЗИКИ  
ТОРФА ВСЕСОЮЗНОГО  
(ВСЕРОССИЙСКОГО)  
НАУЧНО-  
ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОГО  
ИНСТИТУТА ТОРФЯНОЙ  
ПРОМЫШЛЕННОСТИ**

*Аннотация.* История развития физики торфа в институте торфяной промышленности.

*Ключевые слова:* торф, история науки.

**Selennov V.G.**

Selennov Vadim G., Dr. Sc. of Engineering.

**Mikhailov A.V.**

Mikhailov Alexander V., Dr Sc., Professor of the Chair of Mechanical Engineering St. Petersburg Mining University. 2, 21st Line, St Petersburg 199106, Russia.

**RESEARCH  
LABORATORY OF PEAT  
PHYSICS OF THE ALL-  
UNION (ALL-RUSSIAN)  
RESEARCH INSTITUTE  
OF PEAT INDUSTRY**

*Annotation.* The history of the development of peat physics at the Institute of Peat Industry.

*Keywords:* peat, history of science.

Систематические работы по физике торфа в России были начаты в конце двадцатых – начале тридцатых годов прошлого века для решения практических задач торфяной промышленности. Но еще в справочнике по торфу, изданном в 1944 году, отмечено, что «...материалы раздела “Техническая физика торфа” получены в самое последнее время и требуют дополнительной проверки».

Работы по физике торфа всегда проводились для рационального построения технологических процессов добычи и переработки торфа, поскольку производительность и энергоемкость этих процессов тесно связаны с изменением физико-механических свойств торфа при разрушении структуры, уплотнении под действием внешних сил или потери влаги, перемешивании и других воздействиях.

Основополагающие исследования по физике торфа были выполнены под руководством профессора Н.А. Наседкина, который в 1936-37 годах, работая в Инсторфе (Научно-исследовательский институт торфяной промышленности, г. Москва), начал изучать вопросы напряжений в торфяном массиве под действием нагрузок. Затем эти работы были продолжены в лаборатории физики торфа ВИМТ-ВНИИТП (Всесоюзный институт механизации торфяной промышленности – Всесоюзный научно-исследовательский институт торфяной промышленности).

Торф рассматривался с физической точки зрения как дисперсная система, состоящая из различных по форме и размерам твердых частиц, воды и воздуха. А его свойства в значительной степени зависят от количества и соотношения двух последних составляющих.

С самого начала работы по физике торфа носили прикладной характер для объяснения вопросов взаимодействия торфа с механизмами торфяных машин, оценки и прогнозируемости свойств торфа как оснований для фундаментов зданий, сооружений и торфяного оборудования, определения и изменения физико-механических свойств торфа в процессе осушения торфяных залежей, добычи торфа, условий транспортирования и хранения.

Огромное значение для практики имели работы по тепловым и электрическим свойствам торфа, его огне- и взрывоопасности, которыми занимались такие ученые, как Г.И. Покровский, М.Х. Пигулевский, Г.В. Пфафенродт, Л.С. Апт, С.А. Сидякин и другие.

Наиболее весомый вклад в работы по исследованию физико-механических свойств торфяных залежей и торфа в послевоенный период в СССР был внесен доктором технических наук С.С. Корчуновым.

Корчунов Сергей Сергеевич, 1921–1991 гг., доктор технических наук, многие годы возглавлял лабораторию физики торфа, а затем отдел исследований физико-механических свойств торфяных залежей и торфа ВНИИ торфяной промышленности. Под его руководством проведены обширные исследования физико-механических свойств торфяных залежей и торфа. Им выполнены основополагающие работы по несущей способности торфяных залежей. Во ВНИИТП работал с 1942 по 1991 гг.



Рис. 1. Корчунов С.С.

Fig.1. Korchunov S.S.

Кандидатская диссертация на тему «Зависимость несущей способности и деформации торфяной залежи от размера опорной поверхности» защищена в Московском торфяном институте в 1949 г. Докторская диссертация «Исследование движения влаги в различных процессах добычи торфа на основе потенциальной теории» защищена в Калининском торфяном институте в 1962 г.

Под его руководством и при его непосредственном участии сотрудниками лаборатории был проведен ряд работ, имеющих большое научное и прикладное значение. В ходе исследований деформаций торфа при сжатии определены коэффициенты объемного сжатия твердой фазы торфа, что дало возможность обосновать применимость к торфу теории динамики грунтовой массы. Теоретически получено уравнение сжатия трехфазной дисперсной системы, которое является основой расчетов процессов сжатия рыхлых материалов;

получена теоретическая зависимость механической прочности торфа от его влажности, плотности, удельного объема и других характеристик, а также других зависимостей, основанных на развитии потенциальной теории равновесия и передвижения влаги в торфе.

Было предложено и обосновано уравнение усадки торфа при изменении его влажности, которое позволило определить коэффициент усадки как новую физическую характеристику торфа, связанную с дисперсностью материала. Впервые получена теоретическая зависимость механической прочности торфа от его влажности, плотности, удельного объема и других характеристик. Развита новая трактовка перерабатывающей способности машин и механизмов, исходя из затрат энергии и реологических свойств перерабатываемого материала.

По результатам исследования процесса механического обезвоживания торфа разработана методика расчета прессов и рассмотрен процесс выдавливания торфа при прессовании из открытой или частично открытой камеры прессования различной формы и кривизны.

Большой комплекс работ выполнен по исследованию процесса передвижения влаги в торфе при различных технологических процессах его добычи. Развита и применена в конкретных процессах теория потенциалов равновесия и передвижения влаги, позволяющая подойти к обоснованию расчетных методов для системы материалов, неоднородных по водно-физическим свойствам. Эти работы явились развитием и продолжением работ Инсторфа по водопроводимости торфа естественной влажности, выполненные в Московском торфяном институте Л.С. Евстафьевым в 1936 г. Для измерения потенциала влаги и уровня грунтовых вод были разработаны:

- влагопотенциометр для измерения потенциала в верхних слоях залежи ВП-2;
- самопишущий влагопотенциометр ВПС-1;
- зондовый влагопотенциометр ВПЗ-3;
- прибор для определения уровня грунтовых вод в торфяной залежи.

Позже лабораторией физики торфа был разработан прибор ПФП-1, предназначенный для определения коэффициента фильтрации в полевых условиях в небольшом объеме исследуемой среды без прорытия скважин. Работа прибора основана на использовании стационарного потока, создаваемого насосом на заданной глубине между источником и стоком и накладываемого на естественный поток влаги в торфяной залежи. Прибор измеряет вертикальный и горизонтальный коэффициенты фильтрации.

Предложен новый метод определения степени осушенности торфяной залежи, учитывающий метеорологические условия сезона добычи. Теория потенциала влаги в торфяной залежи использована для получения решений процесса обезвоживания торфа при механическом прессовании.

Комплекс многолетних исследований по несущей способности и проходимости торфяных залежей выявил особенности разрушения легкодеформируемых торфяных оснований, значительно отличающиеся от аналогичных процессов в минеральных грунтах. Разработан метод определения допускаемых давлений для гусеничных машин с использованием эталона. Обоснован метод оценки торфяного основания условным модулем деформации, определяемым с помощью движущейся гусеничной машины (трактора), опорные поверхности которой используются в качестве гибкого штампа (С.С. Корчунов, О.Н. Абакумов, В.Г. Селеннов, Е.В. Ефимов).

Исследования по физике торфа и торфяных залежей проводились при тесном сотрудничестве ученых ВНИИ торфяной промышленности, его Калининского и Московского филиалов с учеными Калининского политехнического института. Корчунов С.С. выступал в качестве рецензента на всемирно известную монографию проф. Амаряна Л.С. «Прочность и деформируемость торфяных грунтов» (1969 г.). В благодарность Корчунов получил авторский экземпляр (рис. 2).

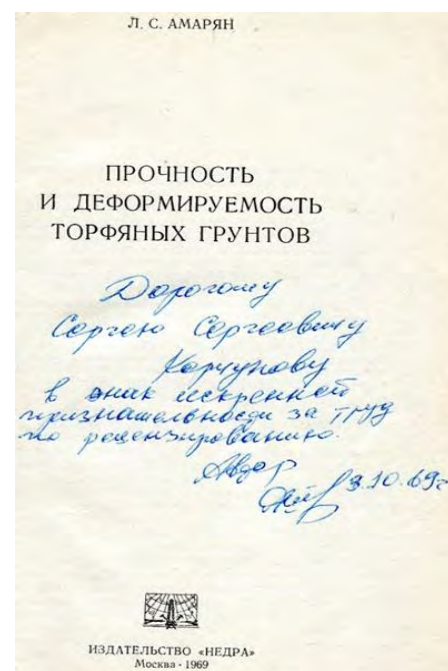


Рис. 2. Титульный лист монографии Л.С. Амаряна  
Fig. 2. The title page of the monograph L.S. Amaryan

*Селеннов Вадим Георгиевич*, 1939 г. р. доктор технических наук, член-корр. РАЕН, ведущий конструктор-научный сотрудник; продолжил работы Корчунова С.С. по исследованию несущей способности торфяной залежи и проходимости торфяных машин; руководитель и разработчик новых направлений переработки торфа и получения формованной продукции. С 1987 г. – заместитель директора по научной работе, с 1988 г. – генеральный директор института. Во ВНИИТП с 1961 г. по 2014 г.



**Рис. 3.** В.Г. Селеннов  
**Fig. 3.** V.G. Selenov

Кандидатская диссертация на тему «Исследование взаимодействия гусениц торфяных машин с осушенными залежами верхового типа» защищена в Калининском политехническом институте в 1976 г. Докторская диссертация «Разработка научных основ, технологии и оборудования производства субстратных торфоблоков» защищена в Калининском политехническом институте в 1990 г.

Учеными ВНИИ торфяной промышленности разработаны теоретические основы процессов сушки торфа, учитывающие тепло- и массоперенос, определены коэффициенты тепло- и влагопереноса, изучен тепло- и влагообмен в верхних слоях торфяной залежи. Получены теоретические уравнения кинетики сушки. На основании проведенных исследований разработаны современные методы расчета продолжительности и интенсивности сушки кускового и фрезерного торфа, влияние осадков на процесс сушки, оптимизация, методы контроля и управления процессом полевой сушки торфа (С.С. Корчунов, Л.М. Малков, Е.Е. Петровский, И.Д. Соколов).

Значительное внимание уделялось изысканию методов и средств снижения зависимости добычи торфа от неблагоприятных погодных условий и повышения надежности поставок торфяной продукции потребителям, включая создание автоматизированной системы управления технологическими процессами добычи торфа.

*Михайлов Александр Викторович*, 1954 г. р., доктор технических наук. С 1989 по 2012 гг. во ВНИИТП возглавлял отдел физико-механических свойств торфяных залежей и торфа. С 1998 по 2012 – заместитель генерального директора Всероссийского НИИ торфяной промышленности. С 2006 по настоящее время профессор кафедры машиностроения Санкт-Петербургского горного университета. Почетный профессор Тверского государственного технического университета. Эксперт РАН РФ. Во ВНИИТП с 1979 по 2012 г.



**Рис. 4.** А.В. Михайлов  
**Fig. 4.** A.V. Mikhailov

Кандидатская диссертация «Обоснование параметров щеточного рабочего органа для уборки фрезерного торфа из расстила» защищена в Калининском политехническом институте в 1983 г. Докторская диссертация «Повышение эффективности машин для добычи фрезерного торфа с пооперационно адаптированными рабочими органами» защищена в Санкт-Петербургском государственном горном институте в 2004 г.

С использованием результатов основополагающих исследований С.С. Корчунова, Л.С. Амарьяна, М.В. Мурашова, Л.М. Малкова, Л.Н. Самсонова, Е.Т. Базина, В.А. Миронова и др. в последние годы под руководством Михайлова А.В. отделом физико-механических свойств торфяных залежей и торфа разработаны технологии и

оборудования по производству активных углей из торфа, торфяных нетканых материалов, гранулированной продукции. Разработана технология и оборудование для селективной добычи натурального торфяного сырья на основе при-

родоохранных принципов рационального природопользования. Разработаны и внедрены комплексные системные технологии, оборудование и материалы для очистки поверхностного стока с урбанизированных территорий.



УДК 662.331(09)

### **Мисников О.С.**

Мисников Олег Степанович, д. т. н., профессор, декан факультета природопользования и инженерной экологии ГОУ ВПО «Тверской государственный технический университет», Тверь, Академическая, 12, oleg.misnikov@gmail.com.

### **Зюзин Б.Ф.**

Зюзин Борис Федорович, д. т. н., профессор, заведующий кафедрой технологических машин и оборудования ГОУ ВПО «Тверской государственный технический университет», Тверь, Академическая, 12, zbfu@yandex.ru.

### **Копенкина Л.В.**

Копенкина Любовь Владимировна, к. т. н., доцент кафедры технологических машин и оборудования ГОУ ВПО «Тверской государственный технический университет», Тверь, Академическая, 12, lvkopenkina@mail.ru.

## **ПРОФЕССОР В.А. МИРОНОВ – УЧЕНЫЙ, ПЕДАГОГ, ОБЩЕСТВЕННЫЙ ДЕЯТЕЛЬ (к 80-летию со дня рождения)**

*Аннотация.* Статья посвящена профессору Миронову В.А., ученому в области нелинейной механики по вопросам прочности и деформирования горных пород и органоминеральных грунтов, оценки их структурно-механических и напряженно-деформированных свойств в криогенном состоянии, в том числе торфяных систем, заведующему кафедрой «Автомобильные дороги, основания и фундаменты», ректору КПИ-ТвПИ-ТвГТУ (1987–2007).

*Ключевые слова:* мерзлый и талый торф, слабые грунты, напряженно-деформируемые свойства, история Тверского государственного технического университета, Миронов В.А.

### **Misnikov O.S.**

Misnikov Oleg S., Dr. Sc., Professor, Dean of the Faculty of Nature Management and Environmental Engineering of the Tver State Technical University, Tver, Akademicheskay, 12.

### **Zyuzin B.F.**

Zyuzin Boris F., Dr. Sc., Professor, Head of the Chair of Technological Machinery and Equipment of the Tver State Technical University, Tver, Akademicheskay, 12.

### **Kopenkina L.V.**

Kopenkina Lubov V., Dr., Associate Professor of the Chair of Technological Machinery and Equipment of the Tver State Technical University, Tver, Akademicheskay, 12.

## **PROFESSOR V.A. MIRONOV – THE SCIENTIST, TEACHER, PUBLIC FIGURE (to the 80 anniversary since birth)**

*Annotation.* Article is devoted to professor Mironov V.A., the scientist in the field of nonlinear mechanics on issues of strength and deformation of rocks and organomineral soils, assessment of their structural-mechanical and stress-strain properties in a cryogenic state, including peat systems, the Head of the Chair "Roads, Bases and Foundations", Rector KPI-TvPI-TvSTU (1987–2007).

*Keywords.* frozen and thawed peat, soft soils, stress-strain properties, history of Tver State Technical University, Mironov V.A.



**В** 2019 году исполняется 80 лет профессору Миронову Вячеславу Александровичу, внесшему значительный вклад в подготовку кадров высшей квалификации для торфяной отрасли и торфяного образования.

Миронов В.А. родился 12 августа 1939 года в Ленинграде.

В 1957 году он окончил Калининский вагоностроительный техникум, работал техником и инженером-проектировщиком.

В 1958–1961 гг. служил в рядах Вооруженных сил СССР.

В 1965 году Миронов окончил с отличием Калининский политехнический институт по специальности «Промышленное и гражданское строительство».

С января 1966 года вся трудовая деятельность Миронова неразрывно связана с родным вузом. Более чем за 50 лет инженерной, научной и педагогической деятельности он прошел путь от ассистента до профессора, проректора по научной работе, ректора и президента университета.

В 1966–1974 гг. Миронов работал ассистентом, старшим преподавателем на кафедре сопротивления материалов. Здесь он принимал участие в исследованиях в области упругопластической устойчивости стержней, пластин и оболочек под руководством профессора В.Г. Зубчанинова [1].

В 1974 году Миронов защитил кандидатскую диссертацию на тему «Исследование напряженно-деформированного состояния торфяных грунтов» (научный руководитель – профессор Л.С. Амарян). В работе Миронова гармонично сочетались аналитические методы расчета напряженного состояния торфяной залежи с уникальными экспериментальными исследованиями, проведенными на специально разработанных установках в лабораторных и полевых условиях [3].

В 1975 году в развивающемся вузе была открыта специальность по подготовке инженеров-дорожников. По свидетельству профессора В.А. Миронова, идея открытия этой специальности, исходившая от руководства Калининводдора, была поддержана администрацией Калининской области и Министерством высшего и среднего специального образования СССР (приказ подписал 19 мая 1975 года министр, академик И.Ф. Образцов). Ректорат института поручил организацию кафедры известному ученику профессора С.Г. Солопова профессору Л.С. Амаряну, обладавшему широким кругозором и широким спектром научных интересов. Для создания кафедры, ее работоспособного и продуктивно работающего коллектива был необходим лидер. Выбор пал на В.А. Миронова, ученика Л.С. Амаряна.

В 1977 году Миронов стал заведующим кафедрой «Автомобильные дороги, основания и фундаменты». В течение 2-3-х лет была создана вся основная материально-техническая база кафедры с помощью производственных дорожных организаций и на базе финансирования научно-исследовательских работ.

В эти годы В.А. Миронов с группой сотрудников участвовал в исследованиях несущей способности и деформационных свойств слабых грунтов и проектировании оснований в условиях Крайнего Севера и Западной Сибири. В области механики торфяных систем исследовались грунты в талом и переходном состоянии (оттаивающие грунты) [4].

Главной идеей полевых испытаний явилось использование методов, основанных на внедрении плоских кругового очертания и сферических штампов. В результате внедрения был разработан метод определения упругих и пластических показателей слабых и мерзлых грунтов [5].

С 1986 года В.А. Миронов – проректор по научной работе (1986–1987), с 1987 года – ректор и с этого же года – председатель диссертационного совета Д 063.22.01 по защите диссертаций на соискание ученой степени доктора наук по специальности 05.15.05 – технология и

комплексная механизация торфяного производства.

В 1987 году в диссертационном совете под председательством профессора Миронова было защищено 12 кандидатских диссертаций и одна докторская.

К 2000 году в нем было защищено еще 52 кандидатских и 20 докторских диссертаций.

За весь период работы диссертационного совета под председательством В.А. Миронова не было ни одного замечания ни по процедурным вопросам, ни по существу представленных на утверждение в ВАК диссертационных работ.

Для промышленности и для других организаций (вузов) в диссертационном совете были положительно оценены докторские диссертации В.П. Круглова (НЦ Радченкоторф), В.К. Фомина (НЦ Радченкоторф), В.Г. Селеннова (ВНИИП), А.В. Журавлева (Свердловский горный институт – ныне Уральский государственный горный университет), Б.С. Ксенофонтова (г. Москва), Н.В. Гревцева (УГГУ).

Докторские диссертации защитили преподаватели ТвГТУ, заведующие кафедрами, сотрудники Е.Т. Базин, В.И. Горячев, В.И. Косов, Б.Ф. Зюзин, Б.И. Масленников, И.И. Беркович, С.Н. Гамаюнов, А.В. Кондратьев, В.Н. Лотов, В.Ф. Сеницын, А.Н. Лукьянчиков, А.А. Ланков, В.И. Суворов, Ю.Н. Женихов, А.Н. Васильев, К.В. Фомин.

Атмосфера доброжелательности, корректность выполнения всех сопровождающих защиту диссертаций процедур обеспечивали успех дела. И в этом безусловная заслуга профессора Миронова Вячеслава Александровича.

В 1991 году в Минске в Институте проблем использования природных ресурсов и экологии НАН Беларуси В.А. Миронов защитил докторскую диссертацию на тему «Теоретические и экспериментальные исследования деформационных процессов в мерзлом и талом торфе». В ней были обобщены исследования в области механики и теплофизики мерзлых и талых торфяных систем, работы по созданию методик и приборов для испытания торфа в полевых и лабораторных условиях.

Миронов – заслуженный деятель науки и техники РФ (1994), профессор, академик РАЕН (1995).

В течение 20 лет (1987–2007) В.А. Миронов работал в должности ректора вуза (КПИ–ТвПИ–ТвГТУ). Почетный ректор ТвГТУ (2007).

Как отмечал профессор Л.С. Амарян, главным итогом деятельности Миронова как ректора явилось резкое повышение уровня значимости нашего вуза, его научно-педагогического потенциала [2].

В этот период в два раза увеличилось число докторов наук, профессоров, был открыт ряд гуманитарных направлений и новых факультетов.

За годы работы ректором Миронов приложил много усилий по реформированию вуза, внес вклад в новое строительство и капитальный ремонт учебных площадей.

Основное внимание ректора было сосредоточено на развитии материально-технической базы, оптимизации количества студентов, подготовке кадров высшей квалификации, приобретении вычислительной техники, решении социальных вопросов преподавателей, сотрудников и студентов, развитии спортивной базы и особенно на воспитательной и культурно-массовой работе вуза.

Ускоренными темпами ему удалось привлечь дополнительное финансирование за счет федерального и областного бюджетов. В это время были решены следующие важные задачи: организовано проектирование и строительство трех объектов – девятиэтажного общежития, столовой с пристройкой к учебному корпусу, доленое строительство жилья для приглашенных ученых из других регионов страны.

В эти годы успешно работало 7 докторских диссертационных советов, два из которых возглавил ректор.

В 1987–1992 гг. было защищено 22 докторских и 48 кандидатских диссертаций, 17 человек получили ученое звание профессора, 61 человек – доцента.

Существенный качественный рост педагогического коллектива, улучшение материальной базы института и изменение в структуре специальностей позволили вузу претендовать на переход в разряд университетов. В результате энергичных действий всего коллектива вуза в 1994 году наш политехнический институт получил статус Тверского государственного технического университета.

Миронов В.А. является известным ученым в области нелинейной механики по вопросам прочности и деформирования горных пород и органоминеральных грунтов, оценки их структурно-механических и напряженно-деформированных свойств в криогенном состоянии.

Миронов – автор более 380 научных и учебно-методических работ, монографий, 30 изобретений и патентов.

Под его научным руководством подготовлено 3 докторских и 8 кандидатских диссертаций. На протяжении многих лет он являлся председателем двух диссертационных советов по защите докторских и кандидатских диссертаций, членом нескольких экспертных советов Минобразования РФ.

Лидер научного направления «Дистортность как универсальный метод оценки инвариантов предельных состояний в природных системах». Миронов является соавтором 10 монографий по теории дистортности.

Цикл изданий монографий по дистортности был представлен Президиумом РАН и отмечен Дипломом участника и Золотой медалью VI Московского Международного Салона образования-2019, Сертификатом участника и Золотой медалью 72-й Международной книжной Выставки «BookExpo America 2019», США, Нью-Йорк.

Вячеслав Александрович Миронов является Почетным членом Российской академии архитектуры и строительных наук, действительным членом ряда международных и российских общественных академий.

Он избирался депутатом Законодательного собрания Тверской области двух созывов. В 1997–2001 гг. работал в должности председателя Законодательного собрания Тверской области и заместителя председателя Комитета по науке, культуре, образованию, экологии и здравоохранению Совета Федерации Федерального собрания РФ.

Его самоотверженный труд отмечен государственными, региональными и общественными наградами. Миронов был награжден орденами «Дружбы народов» (1976), «За заслуги перед Отечеством» IV степени (2001); медалями «За доблестный труд» (1970), «В память 850-летия Москвы» (1997), «Ветеран труда» (1985), «За особые заслуги в строительстве»; «За особые заслуги в развитии Тверской области» (2002), «За особые заслуги в науке и образовании» (2007), медалью А.А. Николаева «За большой вклад в развитие дорожной отрасли РФ» (2014), медалью Законодательного собрания «За вклад в развитие законодательства региона»; почетными знаками «Почетный дорожник России» (1997), «Почетный строитель РФ» (1997), «Почетный работник высшего образования СССР» (1990), «Почетный работник высшего профессионального образования РФ» (1997), «Крест святого Михаила Тверского (2000), «Золотой знак» фонда «Регионы России», «Почетный работник науки и образования Тверской области» (2014).

В 2004 году за личный вклад в возрождение духовности, развитие национальной науки и культуры В.А. Миронову вручена международная награда – орден «Святая София».

Миронову присвоены звания Почетный гражданин города Твери (2007), Заслуженный профессор ТвГТУ (2007), Почетный работник ТвГТУ (2017).

В.А. Миронов был награжден Почетными грамотами Президента РФ (2013), Государственной Думы и Совета Федерации Федерального собрания РФ, Губернатора и «Законодательного собрания Тверской области, Министерства образования и науки России. Министерства транспорта Тверской области» (2015). Ему объявлена благодарность Комитета по образованию Государственной Думы РФ.

Миронов является заместителем председателя экспертного совета Комитета по образованию Государственной Думы РФ, председателем общественного совета Министерства транспорта Тверской области, советником председателя Законодательного собрания Тверской области и др.

В.А. Миронову присущи такие качества как жизнелюбие, человеческая доброта, самоотдача и бескорыстность. «Он никогда не боялся трудностей и с честью выходил из сложных положений. В этом ему помогали твердый характер, комбинационное мышление, большое трудолюбие и поистине фантастическая работоспособность», – отзывался о нем Л.С. Амарян [6].

Богатый жизненный опыт руководителя научно-исследовательских лабораторий и отделов, заведующего кафедрой, ректора Тверского государственного университета, председателя диссертационных советов, государственного деятеля позволил Вячеславу Александровичу Миронову подготовить многочисленных специалистов производства, науки и управления для народного хозяйства Верхневолжья, в том числе и для торфяного дела, переживающего в настоящий момент сложный период развития [7].

#### Библиографический список

1. *Миронов В.А.* Праздник, который всегда со мной / В.А. Миронов / Люди, события, факты: мемуарно-исторический сборник. Тверь: ТГТУ, 1997. С. 116–120.
2. *Амарян Л.С.* 50 лет с родным вузом / Л.С. Амарян / Люди, события, факты: мемуарно-исторический сборник. Тверь: ТГТУ, 1997. С. 39–46.
3. *Миронов В.А.* Экспериментальное исследование напряженно-деформированного состояния торфяных грунтов под жестким штампом / В.А. Миронов / Вопросы механики. Калинин: КПИ, 1972. Вып. IV (XIII). С. 127–135.
4. *Миронов В.А.* Основы методики и результаты исследования мерзлого торфа при оттаивании / В.А. Миронов / Геология и свойства торфяных и сапропелевых месторождений. Калинин: КГУ, 1985. С. 95–105.
5. *Миронов В.А.* Теоретико-экспериментальный метод прогноза механических свойств мерзлого торфа / В.А. Миронов. Л.: ВНИИТП, 1990. 72 с.
6. *Амарян Л.С.* Ученый, педагог, государственный

деятель (к 60-летию В.А. Миронова) / Л.С. Амарян, И.И. Беркович / Торфяная отрасль на рубеже XXI века: проблемы и перспективы: материалы научно-практической конференции ученых и производственников торфяной отрасли с международным участием. Тверь:

ТГТУ, 1999. Ч. 1. С. 15–24.

7. Зюзин Б.Ф. Торфяная промышленность России: итоги прошлого – взгляд в будущее / Б.Ф. Зюзин, О.С. Мисников, Л.В. Копенкина, В.В. Панов / Горный журнал. 2013. № 5. С. 73–76.