



Научный журнал

Восточно-Европейского института торфяного дела
Тверского государственного технического университета



№28 (81) 2023

ТРУДЫ ИНСТОРОФА



Министерство науки и высшего образования
Российской Федерации

Восточно-Европейский институт торфяного дела
Тверского государственного технического университета

ТРУДЫ ИНСТОРФА

Научный журнал

Издается с апреля 1922 года
Выходит два раза в год

№ 28 (81)
июль–декабрь 2023 г.

Тверь
2023

УДК 622.331(05)
ББК 26.343.4я5

Труды Инсторфа: научный журнал. № 28 (81)
(январь–июнь 2023 г.). Тверь: ТвГТУ, 2023. 67 с.

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

Главный редактор

проф., д. ф.-м. н.

Андрей Викторович Твардовский

Научный редактор

доц., д. г. н. В.В. Панов

Редакционный совет:

проф., д. э. н. Г.А. Александров;

д. т. н. Н.И. Березовский;

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; д. б. н. О.Л. Кузнецов;

д. г. н. Б.В. Курзо;

проф., д. б. н. Е.Д. Лапшина;

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.Ф. Сеницын;

проф., д. х. н. М.Г. 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;

к. т. н. Л.В. Копенкина (зам. главного редактора);

доц., д. т. н. О.С. Мисников;

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 О.В. Чеховская

Корректор Т.С. Самборская

Технический редактор А.Ю. Соколова

E-mail: instorf@gmail.com

Тел. редакции: 8 (422) 78-93-91

ISSN 2224-1523

© Тверской государственный
технический университет, 2023

© Коллектив авторов, 2023

© Макет ООО «Издательство «Триада», 2023

Содержание

Женихов Ю.Н.

Панов В.В.

Женихов К.Ю.

Разработка торфяных месторождений
и охрана окружающей среды..... 3

Шахматов К.Л.

Орлов Т.В.

Суворов Г.Г.

Чердниченко О.В.

Фурса Ю.В.

Моченов С.Ю.

Архипова М.В.

Бондарь В.В.

Бахтина И.С.

Климов Е.В.

Гордеева Е.М.

Апробация методов площадной
оценки эмиссии парниковых газов
на осушенных торфяниках Северо-
Запада России с помощью GEST-подхода
(на примере торфяника Дедово поле) 10

Мисников О.С.

Первалова О.С.

Шилова О.Г.

Башилова Е.В.

Анализ перспектив использования
модифицирующих добавок на основе
торфа в щебеночно-мастичных
асфальтобетонах 21

Петров А.А.

Зюзин Б.Ф.

Свойства и показатели
проходимости болотоходных
шагающих машин при передвижении
по неосушенным торфяным болотам 28

Копенкина Л.В.

Торфяной музей в России 50

Копенкина Л.В.

Профессор В.Ф. Сеницын
(к 85-летию со дня рождения) 62

УДК 504.062

Женихов Ю.Н.

Женихов Юрий Николаевич, д. т. н., профессор кафедры горного дела, природообустройства и промышленной экологии, ФГБОУ ВО «Тверской государственный технический университет», Тверь, Академическая, 12, Jenixov2@mail.ru

Панов В.В.

Панов Владимир Владимирович, д. г. н., профессор кафедры горного дела, природообустройства и промышленной экологии, ФГБОУ ВО «Тверской государственный технический университет», Тверь, Академическая, 12, vvpanov61@gmail.com

Женихов К.Ю.

Женихов Кирилл Юрьевич, старший преподаватель кафедры горного дела, природообустройства и промышленной экологии, ФГБОУ ВО «Тверской государственный технический университет», Тверь, Академическая, 12, Jenixov3@mail.ru

РАЗРАБОТКА ТОРФЯНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ И ОХРАНА ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

Аннотация. В статье рассмотрены вопросы разработки раздела «Охрана недр и окружающей среды» в составе проектной документации на разработку и рекультивацию участка недр местного значения на торфяном месторождении.

Ключевые слова: торфяное предприятие, недропользователь, охрана недр и окружающей среды.

Zhenikhov Yu.N.

Zhenikhov Yuri N., Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department of Mining, Environmental Engineering and Industrial Ecology, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Tver State Technical University", Tver, Akademicheskaya, 12, Jenixov2@mail.ru

Panov V.V.

Panov Vladimir V., Doctor Geograf. Sciences, Professor of the Department of Mining, Environmental Engineering and Industrial Ecology, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Tver State Technical University", Tver, Akademicheskaya, 12, vvpanov61@gmail.com

Zhenikhov K.Yu.

Zhenikhov Kirill Yu., Senior Lecturer of the Department of Mining, Environmental Engineering and Industrial Ecology, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Tver State Technical University", Tver, Akademicheskaya, 12, Jenixov3@mail.ru

DEVELOPMENT OF PEAT DEPOSITS AND ENVIRONMENTAL PROTECTION

Abstract. The article discusses the issues of the development of the section "Protection of the subsoil and the environment" as a part of the project documentation for the development and recultivation of a local subsoil area at a peat deposit

Keywords: Peat enterprise, subsoil user, protection of mineral resources and the environment.

В настоящее время внимание инвесторов вновь привлекают общераспространенные полезные ископаемые, в частности торф, как сырье для производства коммунально-бытового топлива, продукции сельскохозяйственного назначения, для выращивания грибов, производства гуминовых препаратов. С 2010 года по заказу инвесторов Восточно-Европейский институт торфяного дела Тверского государственного технического университета выполнил разработку проектной документации по разработке и рекультивации участков недр местного значения для геологического изучения и добычи торфа для 15 торфяных предприятий Тверской, Ярославской, Костромской, Калужской, Владимирской, Калининградской, Московской областей.

В настоящей статье обобщен опыт разработки в составе проектной документации мероприятий по охране недр и окружающей среды при добыче торфа.

Основные требования к охране недр сформулированы в статье 23 Закона РФ от 21.02.1992 г. № 2395-1 (ред. от 11.06.2021 г.) «О недрах» (с изм. и доп. вступ. в силу с 01.01.2022 г.). К ним относится пользование общераспространенными полезными ископаемыми на основании лицензии на пользование участком недр местного значения, выдаваемой уполномоченным органом исполнительной власти субъекта РФ.

Требования к структуре проектной документации утверждены приказом Минприроды России от 25 июня 2010 г. № 218 «Об утверждении требований к структуре и оформлению проектной документации на разработку месторождений твердых полезных ископаемых, ликвидацию и консервацию горных выработок и первичную переработку минерального сырья».

В составе проектной документации в обязательном порядке разрабатывается раздел «Охрана недр и окружающей среды». В этом разделе рассматриваются вопросы охраны и рационального использования недр; мероприятия по охране окружающей среды.

При охране недр особое внимание уделяется обоснованию границ горного отвода, охранных и санитарно-защитных зон. В соответствии с приказом Ростехнадзора от 9 декабря 2020 г. № 508 «Об утверждении требований к содержанию проекта горного отвода, форме горноотводного акта, графических приложений к горноотводному акту и ведению реест-

ра документов, удостоверяющих уточненные границы горного отвода» при обосновании границ горного отвода учитываются контуры предохранительных целиков под природными объектами, зданиями, сооружениями, горными выработками (технические границы горных работ), а также зоны охраны от вредного влияния горных разработок, охранные зоны, зоны округов горно-санитарной охраны, проектные контуры границ объектов (сооружений), связанных с пользованием недрами, границы безопасного ведения горных работ. Уточнение границ горного отвода осуществляется на основании данных профильного министерства о наличии особых зон охраны, предоставляемых по запросу недропользователя.

К таким особым зонам относятся: особо защитные леса вокруг сельских населенных пунктов в соответствии с подпунктом 11 пункта 23 Лесоустроительной инструкции, утвержденной приказом Минприроды России от 29.03.2018 г. № 122 шириной 1 км вокруг сельских населенных пунктов и садовых товариществ; водоохранные зоны внутриболотных рек и ручьев; места произрастания редких растений, занесенных в Красные книги РФ и субъектов РФ.

В качестве примера на рис. 1 показаны природоохранные зоны на торфяном месторождении Славновское Костромской области.

Согласно СанПиН 2.2.1/2.1.1.1200-03 «Санитарно-защитные зоны и санитарная классификации предприятий, сооружений и иных объектов», вокруг полей добычи торфа должна быть обеспечена санитарно-защитная зона шириной 300 м.

К охране недр относятся требования и по наиболее полному использованию полезного ископаемого. При современных способах разработки торфяных месторождений балансовые запасы не могут использоваться полностью. Промышленные запасы торфяной залежи – разность между общими балансовыми запасами и потерями при эксплуатации [1]. Потери торфяной залежи разделяются на две группы: целыми площадками на всю глубину залежи и отдельными слоями по глубине [2]. К потерям балансовых запасов на месторождении торфа следует отнести: потери на защитный слой, на пнистость, потери под дорогами, линиями электропередач, дамбами, промышленными сооружениями. В соответствии с нормами технологического проектирования предприятий по добыче торфа [2] при рекуль-

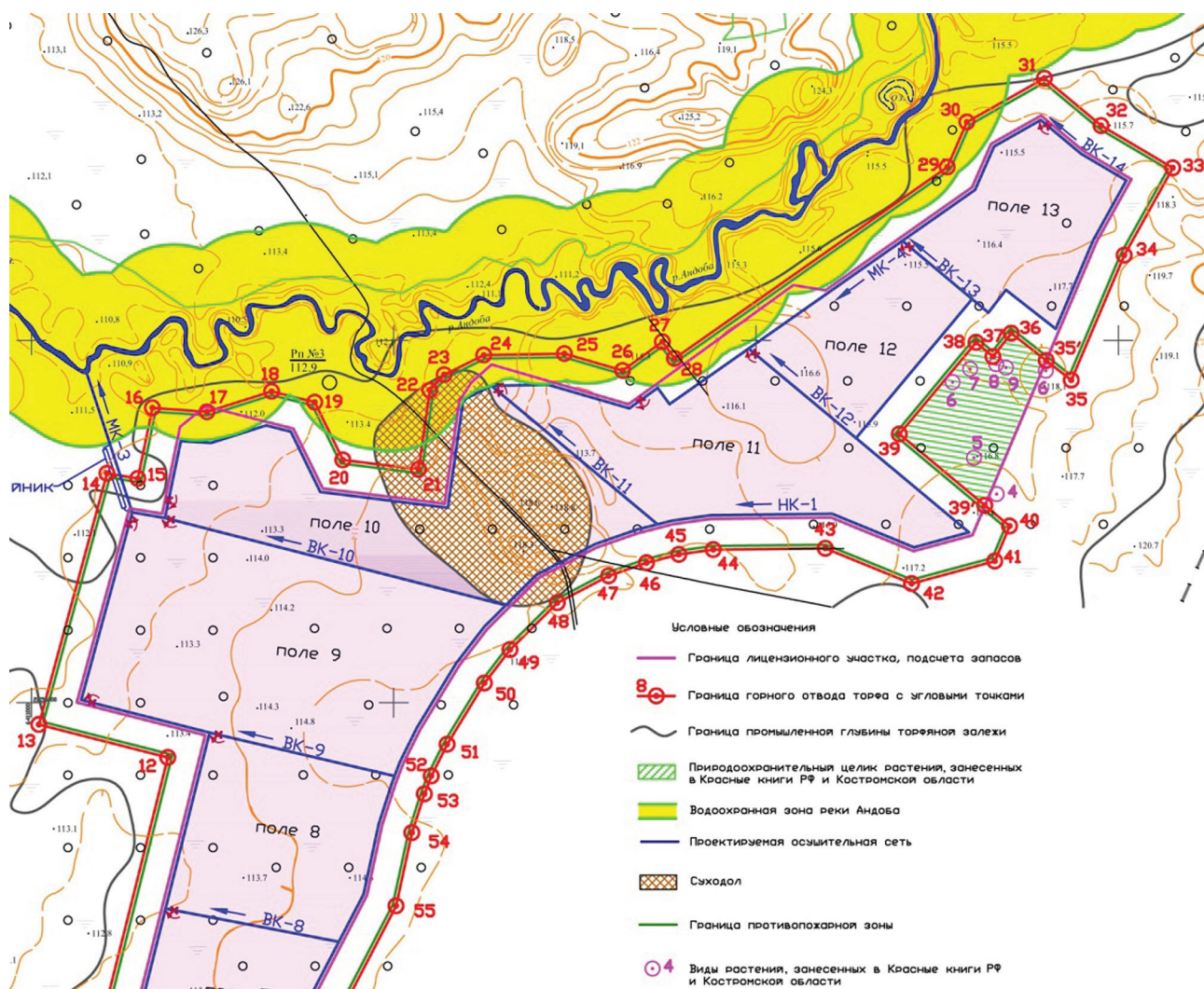


Рис. 1. Природоохранные зоны: водоохранная зона реки Андоба и природоохранный целик растений, занесенных в Красные книги РФ и Костромской области на торфяном месторождении Славновское Костромской области

Fig. 1. Nature protection zones: the water protection zone of the Andoba River and the conservation area of plants listed in the Red Books of the Russian Federation and the Kostroma region at the Slavnovskoye peat deposit of the Kostroma region

тивации выработанных торфяных площадей под лесоразведение и повторное обводнение толщина защитного слоя $h_{zc} = 0,15$ м, под сельскохозяйственное использование – 0,5 м. На площади, подстилаемой сапропелем, защитный слой составляет 0,7 м.

Мероприятия по охране окружающей среды включают в себя рекультивацию нарушенных горными работами земель. В соответствии с требованиями приказа Минприроды России № 218 рекультивация земель рассматривается в составе раздела «Охрана недр и окружающей среды». Требования к рекультивации нарушенных земель содержит Постановление Правительства РФ от 10 июля 2018 г. № 800 «О проведении рекультивации и консервации

земель» (с изменениями и дополнениями) [3]. Чаще всего лицензионные участки располагаются на землях лесного фонда. В этом случае недропользователь обязан заключить договор аренды лесным участком на основе Проекта освоения лесов. Требования к составу разделов Проекта рекультивации земель прописаны в п. 14 Постановления Правительства РФ № 800.

В соответствии со статьей 57, п. 4 Водного кодекса РФ [4] «после окончания использования болота или его части проводится их рекультивация преимущественно путем обводнения и искусственного заболачивания». Инсторф ТвГТУ имеет опыт по разработке проектов обводнения выработанных торфяных месторождений. С 2010 года разработаны и



Рис. 2. Обводненные выработанные торфяные поля на месторождении Оршинский Мох

Fig. 2. Watered-out peat fields at the Orshinsky Moss deposit

реализованы проекты рекультивации выработанных торфяных площадей месторождений Галицкий Мох, Моховое 2, Васильевский Мох, Оршинский Мох (рис. 2), Озерецкое.

Оценка воздействия добычи торфа на компоненты окружающей среды выполняется в соответствии с требованиями приказа Министерства природных ресурсов и экологии Российской Федерации от 01.12.2020 г. № 999 «Об утверждении требований к материалам оценки воздействия на окружающую среду» с целью выявления источников вредного воздействия объекта на элементы окружающей среды, их интенсивности, характера воздействия; разработки мероприятий, направленных на снижение уровня вредного воздействия объекта на окружающую природную среду; разработки программы мониторинга окружающей среды при добыче торфа.

Оценка воздействия на атмосферный воздух и мероприятия по охране атмосферного воздуха проектируются для периода строительства торфяного предприятия и для периода его эксплуатации.

Источниками воздействия являются: торфяные машины и оборудование на осушении,

подготовке производственных площадей, добыче и транспортировании торфа; доставка и заправка техники, сварочные работы на полевой базе, отопительные печи. Всего в атмосферу в результате строительства и эксплуатации месторождения выбрасывается 11 загрязняющих веществ, из которых 8 – жидкие/газообразные, 3 – твердые и 2 группы веществ, обладающих эффектом суммарного воздействия. Среди выбрасываемых веществ есть вещества, относящиеся ко 2-му классу опасности (марганец и его соединения, дигидросульфид (сероводород). Расчет рассеивания загрязняющих веществ в атмосфере выполняется в соответствии с Методами расчетов рассеивания выбросов вредных (загрязняющих) веществ в атмосферном воздухе, утвержденными приказом Министерства природных ресурсов и экологии РФ № 273 от 06.06.2017 г., по УПРЗА «Эколог» (версия 4.5).

Основным источником физического загрязнения при разработке торфяного месторождения является шум от работы техники и автотранспорта. Шумы от используемой торфяной техники и автотранспорта относятся к непостоянным (колеблющиеся, прерывистые, им-

пульсные). Согласно таб. 3 СН 2.2.4/2.1.8.562-96 «Шум на рабочих местах, в помещениях жилых и общественных зданий и на территории жилой застройки», нормируемыми параметрами непостоянного шума в расчетных точках являются эквивалентные уровни звука LAэкв, дБА и максимальные уровни звука Lмакс, дБА. В связи с тем что шумовые характеристики дорожно-строительных машин выражены в максимальных уровнях звука, за нормируемый параметр принимается максимальный уровень звука на расстоянии 2 метров от жилой застройки. Нормативный максимальный уровень шума, согласно СН 2.2.4/2.1.8.562-96, составляет 70 дБА (с 7 до 23 час) и 60 дБА (с 23 до 7 час) на территории, непосредственно прилегающей к жилым домам.

Производство работ по разработке торфяных месторождений сопряжено с образованием отходов производства и потребления. Источниками образования отходов непосредственно на участке разработки торфяных месторождений являются: жизнедеятельность работников; сжигание топлива в отопительной печи; сварочные работы; техническое обслуживание техники.

Перечень отходов производства и потребления, образующихся при разработке торфяного месторождения, приведен в табл. 1.

При сборе, размещении и транспортировке отходов I–IV класса опасности предусматривается: 1) назначение ответственных лиц за деятельность по обращению с отходами I–IV класса опасности приказом по предприятию; 2) разработка программы производственного экологического контроля за деятельностью по обращению с отходами I–IV класса опасности; 3) разработка инструкций по безопасному обращению с отходами

I–IV класса опасности; 4) регистрация объемов образования отходов в журналах установленной формы; 5) своевременная передача образующихся отходов для утилизации или захоронения в организации, имеющие лицензии на данные виды деятельности; 6) транспортировка отходов с использованием спецтранспорта сторонних организаций, имеющих лицензию на осуществление видов деятельности по обращению с отходами I–IV класса опасности.

Предусмотренные проектом условия и способы хранения отходов I–IV класса опасности на территории торфяных разработок обеспечивают защиту окружающей среды от воздействия загрязняющих веществ, содержащихся в отходах, и соответствуют требованиям СанПиН 2.1.7.1322-03 «Почва. Очистка населенных мест, отходы производства и потребления, санитарная охрана почвы. Гигиенические требования к размещению и обезвреживанию отходов производства и потребления».

Для охраны и рационального использования водных ресурсов, а также предотвращения загрязнения поверхностных и подземных вод района размещения эксплуатируемого участка торфяного месторождения должен определяться режим его водопотребления и водоотведения.

Хозяйственно-бытовые стоки собираются в накопительную емкость биотуалета. По мере накопления емкости производится вывоз хозяйственно-бытовых стоков специализированным автотранспортом на ближайшее сооружение биологической очистки. Таким образом, система сбора и отвода хозяйственно-бытовых сточных вод от проектируемого объекта позволит исключить загрязнение поверхностных и подземных вод.

Таблица 1. Перечень отходов производства и потребления
Table 1. List of production and consumption wastes

№ п/п	Наименование отхода	Код по ФККО
1	Мусор от офисных и бытовых помещений организаций несортированный (исключая крупногабаритный)	73310001724
2	Зола от сжигания древесного топлива практически неопасная	61190003404
3	Отходы минеральных масел моторных	40611001313
4	Отходы минеральных масел трансмиссионных	40615001313
5	Отходы минеральных масел гидравлических, не содержащих галогены	40612001313
6	Фильтры очистки масла автотранспортных средств отработанные	92130201523
7	Обтирочный материал, загрязненный нефтью или нефтепродуктами (содержание нефти или нефтепродуктов менее 15%)	91920402604
8	Покрышки пневматических шин с металлическим кордом отработанные	92113002504
9	Аккумуляторы свинцовые отработанные неповрежденные с электролитом	92011001532
10	Шлак сварочный	91910002204
11	Остатки и огарки стальных сварочных электродов	91910001205

В соответствии с нормами технологического проектирования [2] для очистки дренажных вод, сбрасываемых в водоприемник, на магистральном канале при его впадении в водоприемник сооружается отстойник. Согласно экспериментальным данным Тверского государственного технического университета, после прохождения отстойников с замедленной скоростью вода осветляется, количество взвешенных веществ в ней уменьшается на 70%, органических веществ – на 25%, цветность – на 17%.

Пробы воды в магистральных каналах после отстойников отбираются ежемесячно. Отбор, консервацию, хранение и транспортировку проб воды необходимо выполнять в соответствии с ГОСТ 17.1.5.05-85 [5], ГОСТ 4979-49 [6], ГОСТ 17.1.5.04-81 [7], ГОСТ 24481-80 [8]. Согласно п. 7.2. СанПиН 2.1.5.980-00 «Гигиенические требования к охране поверхностных вод» [9], контроль качества воды водных объектов обеспечивается в лабораториях, аккредитованных в установленном порядке. Анализы проб воды должны выполняться в аккредитованной лаборатории после заключения соответствующего договора. Ингредиенты определяются по методикам, включенным в федеральный реестр методик количественного химического анализа (ПНД Ф, РД).

Прогноз гидрологической обстановки на территории, прилегающей к осушенным землям, включает определение ширины зоны, в пределах которой произойдет снижение уровня грунтовых вод на землях, прилегающих к осушительной системе. Ввиду отсутствия режимной наблюдательной сети в пределах осушительной системы и на прилегающей к ней территории величина понижения грунтовых вод (на расстоянии x от осушительной системы) приближенно v_j ; tn , snm определена по формуле (6.1), приведенной в Рекомендациях для гидролого-мелиоративной службы (Киев, 1980 г. Одобрено НТС Минводхоза СССР протоколом № 334 от 05.02.80 г.) [10].

Величина понижения грунтовых вод (на расстоянии x от осушительной системы) определяется по формуле:

$$H = H_0 \cdot \operatorname{erfc}(z),$$

где H_0 – понижение уровня на границе осушительной системы (принимается равной 0,8 м – максимальному значению нормы осушения; $\operatorname{erfc}(z)$ – специальная функция, определяемая

по таблице 6.1. Рекомендаций... в зависимости от величины:

$$z = \frac{x}{2\sqrt{at}},$$

где a – уровнепроводность водоносного пласта, $\text{м}^2/\text{сут}$;

$$a = \frac{k \cdot h}{\eta}$$

где k – коэффициент фильтрации водоносного пласта, $\text{м}/\text{сут}$; h – мощность этого пласта, м ; η – водоотдача, доли единицы; t – время, сут .

В качестве критерия допустимости влияния осушения на прилегающие земли принята величина понижения грунтовых вод (h) на 20 см.

В качестве примера приведем расчетные фильтрационные параметры почво-грунтов, выбранные по данным инженерно-геологических изысканий, исходя из условия максимального снижения уровня грунтовых вод (табл. 2).

Таблица 2. Фильтрационные параметры почвогрунтов прилегающих земель

Table 2. Filtration parameters of soils of adjacent lands

Почвогрунт	$h, \text{м}$	$K_f, \text{м}/\text{сут}$	$h, \text{д. е.}$	$a, \text{м}/\text{сут}$
Песок мелкозернистый	2,0	1,44	0,15	19,2

После преобразования расчетных формул к решаемой задаче получаем:

$$x = 2 \cdot z \cdot \sqrt{a \cdot t} = 1,6\sqrt{19,2 \cdot t}.$$

Функции $\operatorname{erfc}(z) = 0,25$ (при $h = 0,2 \text{ м}$ и $H_0 = 0,8 \text{ м}$) соответствует $z = 0,80$ (табл. 6.1 Рекомендаций...).

Значения x в зависимости от расчетного периода t приведены в таблице 3.

В период эксплуатации торфяных полей определенная нагрузка действует на состояние растительного и животного мира.

Для предотвращения и снижения негативного воздействия рассматриваемой хозяйственной деятельности на состояние растительного и животного мира требуется осуществление ряда природоохранных мероприятий, направленных на предупреждение и устранение возможных негативных последствий для окружающей природной среды, связанных с проведением горных работ.

Для сохранения качества растительного мира и предотвращения воздействия работ по

Таблица 3. Ширина зоны (x) допустимого снижения грунтовых вод на землях, прилегающих к осушительной системе торфяного месторождения
Table 3. Width of the zone (x) of permissible decline in groundwater on lands adjacent to the drainage system of a peat deposit

Продолжительность расчетного периода t , сут	Ширина зоны допустимого снижения УГВ, м	Продолжительность расчетного периода t , сут	Ширина зоны допустимого снижения УГВ, м
365 (1 год)	134	3650 (10 лет)	424
1095 (3 года)	232	7300 (20 лет)	600
2190 (6 лет)	328	10 950 (30 лет)	734

добыче торфа на состояние животного мира необходимо соблюдать следующие требования: вести работы способами, исключающими или ограничивающими негативное воздействие пользования лесным фондом на состояние и воспроизводство лесов, а также на состояние водных и других природных объектов; в период хозяйственной деятельности соблюдать правила пожарной безопасности в лесах и проводить на указанных участках противопожарные мероприятия, а в случае возникновения лесного пожара обеспечивать его тушение; соблюдать мероприятия по предотвращению загрязнения атмосферного воздуха, геологической среды и водных объектов; проводить инструктаж рабочих, заключающийся в запрете на охоту и рыбную ловлю; запрет на сжигание отходов на территории участка землепользования; запрет образования свалок; максимальное сохранение растительного покрова в зоне влияния объекта; выполнить работы по рекультивации земель, нарушенных при проведении работ по добыче торфа.

Создание на месте отработанных карьеров водоемов многоцелевого назначения будет способствовать привлечению водоплавающих птиц.

Проектная документация в отношении участков недр местного значения в соответствии со статьей 23.2 Закона РФ «О недрах» подлежит согласованию с комиссией, которая создается органами государственной власти соответствующих субъектов РФ, в состав которой включаются представители (в том числе и экологи) уполномоченных органов исполнительной власти.

Библиографический список

1. Справочник по торфу / [И.Ф. Ларгин, С.С. Корчунов, Л.М. Малков и др. ... А.В. Лазарев, С.С. Корчунов (науч. редакторы) и др.]. – М.: Недра, 1982.
2. Нормы технологического проектирования предприятий по добыче торфа, ВНТП-19-86, утвержденные приказом по Министерству топливной промышленности РСФСР от 01.07.1986 г. № 123.
3. О проведении рекультивации и консервации земель: Постановление Правительства Рос. Федерации от 10.07.2018 № 800.
4. Водный кодекс Российской Федерации от 03.06.2006 № 74-ФЗ.
5. ГОСТ 17.1.5.05-85 «Охрана природы (ССОП). Гидросфера. Общие требования к отбору проб поверхностных и морских вод, льда и атмосферных осадков».
6. ГОСТ 4979-49 «Вода хозяйственно-питьевого и промышленного водоснабжения. Методы химического анализа. Отбор, хранение и транспортирование проб».
7. ГОСТ 17.1.5.04-81 «Охрана природы (ССОП). Гидросфера. Приборы и устройства для отбора, первичной обработки и хранения проб».
8. ГОСТ 24481-80 Вода питьевая. Отбор проб.
9. СанПиН 2.1.980-00 «Гигиенические требования к охране поверхностных вод». – М., 2000.
10. Рекомендации для гидролого-мелиоративной службы. – Киев, 1980 (одобрено НТС Минводхоза СССР протоколом № 334 от 05.02.80 г.).

УДК [553.97:504.7](470.1/.2)

Шахматов К.Л.

Шахматов Кирилл Леонидович, доцент, к. т. н., Тверской государственный технический университет, Тверь, Академическая, 12, krl81@list.ru

Орлов Т.В.

Орлов Тимофей Владимирович, ведущий научный сотрудник, к. г.-мин. н., Институт геоэкологии им. Е.М. Сергеева РАН (ИГЭ РАН), Москва, Уланский пер., 13, tim.orlov@gmail.com

Суворов Г.Г.

Суворов Геннадий Геннадьевич, старший научный сотрудник, к. б. н., Институт лесоведения РАН, Московская область, с. Успенское, ул. Советская, 21, suvorovg@gmail.com

Чередниченко О.В.

Чередниченко Оксана Владимировна, старший научный сотрудник, к. б. н., Институт лесоведения РАН, Московская область, с. Успенское, ул. Советская, 21, gentiana07@yandex.ru

Фурса Ю.В.

Фурса Юрий Владимирович, генеральный директор ООО «Центр технологий устойчивого развития», Москва, ул. Авиамоторная, д. 50, стр. 2, офис 433, пом. 29/2, yury.fursa@csdt.ru

Моченов С.Ю.

Моченов Семен Юрьевич, младший научный сотрудник, Институт проблем экологии и эволюции имени А.Н. Северцова РАН, Москва, Ленинский проспект, 33, semenum7@gmail.com

Архипова М.В.

Архипова Мария Владимировна, старший научный сотрудник, к. г. н., Институт геоэкологии им. Е.М. Сергеева РАН (ИГЭ РАН), Москва, Уланский пер., 13

Бондарь В.В.

Бондарь Валентина Владимировна, инженер, Институт геоэкологии им. Е.М. Сергеева РАН (ИГЭ РАН), Москва, Уланский пер., 13

Бахтина И.С.

Бахтина Ирина Сергеевна, директор по устойчивому развитию, ОК «РУСАЛ», Москва, ул. Василисы Кожинной, 1

Shakhmatov K.L.

Shakhmatov Kirill L., Associate Professor, PhD, Tver state technical university, Tver, Akademicheskaya, 12, krl81@list.ru

Orlov T.V.

Orlov Timofey V., leading researcher, Candidate of Geologo-Mineralogical Sciences, Sergeev Institute of Environmental Geosciences of Russian Academy of Sciences, Moscow, Ulansky lane, 13, tim.orlov@gmail.com

Suvorov G.G.

Suvorov Gennady G., senior researcher, Candidate of Biological Sciences, Institute of Forest Science of Russian Academy of Sciences (IFS RAS), Moscow region, Uspenskoe v., st. Sovetskaya, 21, suvorovg@gmail.com

Cherednichenko O.V.

Cherednichenko Oxana V., senior researcher, Candidate of Biological Sciences, Institute of Forest Science of Russian Academy of Sciences (IFS RAS), Moscow region, Uspenskoe v., st. Sovetskaya, 21, gentiana07@yandex.ru

Fyrsa Y.V.

Fyrsa Yuriy V., general Director, Centre of Sustainable Development, Moscow, st. Aviamotornaya, 50, b. 2, off. 433, r. 29/2, yury.fursa@csdt.ru

Mochenov S.Y.

Mochenov Semen Y., Junior researcher, A.N. Severtsov Institute of Ecology and Evolution of the Russian Academy of Sciences (IEE RAS), Moscow, Leninsky Prospekt, 33, semenum7@gmail.com

Arhipova M.V.

Arhipova Maria V., senior researcher, Candidate of Geographic Sciences, Sergeev Institute of Environmental Geosciences of Russian Academy of Sciences, Moscow, Ulansky lane, 13

Bondar' V.V.

Bondar' Valentina V., engineer, A.N. Severtsov Institute of Ecology and Evolution of the Russian Academy of Sciences (IEE RAS), Moscow, Ulansky lane, 13

Bakhtina I.S.

Bakhtina Irina S., Director of Sustainable Development of UC RUSAL, Moscow, st. Vasilisa Kozhina, 1

Климов Е.В.

Климов Евгений Владимирович, начальник отдела регулирования выбросов парниковых газов АО «РУСАЛ», Москва, ул. Василисы Кожиной, 1, Evgeniy.Klimov3@rusal.com

Гордеева Е.М.

Гордеева Елена Михайловна, к. ю. н., доцент, Вятский государственной университет, г. Киров, ул. Московская, д. 36, консультант по климатическим проектам АО «РУСАЛ», Москва, ул. Василисы Кожиной, 1, elena.gordeeva2@rusal.com

АПРОБАЦИЯ МЕТОДОВ ПЛОЩАДНОЙ ОЦЕНКИ ЭМИССИИ ПАРНИКОВЫХ ГАЗОВ НА ОСУШЕННЫХ ТОРФЯНИКАХ СЕВЕРО-ЗАПАДА РОССИИ С ПОМОЩЬЮ GEST-ПОДХОДА (НА ПРИМЕРЕ ТОРФЯНИКА ДЕДОВО ПОЛЕ)

Аннотация. В статье рассматривается комплексный подход к оценке выбросов парниковых газов с территорий ранее осушенных торфяных месторождений с помощью косвенных методов, в частности на основе однородных местообитаний, которые могут свидетельствовать об одинаковых уровнях потоков парниковых газов. На первом этапе апробации данного метода была картографирована территория торфяника Дедово поле, каждому однородному классу был присвоен определенный уровень эмиссии согласно опубликованным источникам. На втором этапе были проведены широкомасштабные полевые изыскания, которые включали геоботанические описания, определение остаточной мощности торфа и его основных характеристик, уровня болотных вод и их характеристик, а также непосредственные замеры парниковых газов методом «закрытых камер». Сравнение величин эмиссий по классам GEST, измеренных авторами и полученных из литературы, показало, что для класса GEST № 5 Комплексы открытого или слабозадернованного сильноосушенного торфа (олиготрофного) получено значение 11,5 тСО₂-экв га⁻¹ год⁻¹, при этом оценка по литературе составляет 7,5; для GEST № 7 Комплексы открытого или слабозадернованного

Klimov E.V.

Klimov Evgeniy V., Head of the Greenhouse Gas Regulation Department of UC RUSAL, Moscow, st. Vasilisa Kozhina, 1, Evgeniy.Klimov3@rusal.com

Gordeeva E.M.

Gordeeva Elena M., PhD, Associate Professor, Vyatka State University, Kirov, Moskovskaya st., b. 36, Consultant on solutions to climate change of UC RUSAL, Moscow, st. Vasilisa Kozhina, 1, elena.gordeeva2@rusal.com

APPROBATION OF METHODS FOR AREA ASSESSMENT OF GREENHOUSE GAS EMISSIONS ON DRAINED PEATLANDS IN THE NORTH-WEST OF RUSSIA USING THE GEST APPROACH (ON THE EXAMPLE OF THE DEDOVO POLE PEATLAND)

Abstract. The article discusses an integrated approach to assessing greenhouse gas emissions from areas of previously drained peat deposits using indirect methods, in particular based on homogeneous habitats, which may indicate similar levels of greenhouse gas flows. At the first stage of testing this method, the territory of the Dedovo Pole peat bog was mapped, each homogeneous class was assigned a certain emission level according to published sources. At the second stage, large-scale field surveys were carried out that included: vegetation plots, determination of the residual thickness of peat and its main characteristics, the level of mire waters and their characteristics, as well as direct measurements of greenhouse gases using the “closed chamber” method. A comparison of emission values by GEST classes, measured by the authors and obtained from the literature, showed that for class GEST No. 5 Bare peat dry (oligotrophic) a value of 11.5 tCO₂-eq ha⁻¹ year⁻¹ was obtained, while the estimate from the literature is 7.5; for GEST No. 7 Bare peat wet (oligotrophic) – 2.1 and 1.6; for GEST No. 22 Moderately moist forest and shrubberies – 13.4 and 20; for GEST No. 23 Moist forests and shrubberies – 9.5 and 9.4; for GEST No. 20, Open water/ditches – 36.3 and 3; for GEST No. 16 Wet peat moss lawn – 2.6 and –0.3. The only

влажного торфа (олиготрофного) – –2,1 и 1,6; для GEST № 22 Слабоувлажненные лесные травяные, кустарничковые зеленомошные комплексы – 13,4 и 20; для GEST № 23 Среднеувлажненные сосняки кустарничковые сфагновые – 9,5 и 9,4; для GEST № 20 Комплексы открытой воды на торфе/каналы – 36,3 и 3; для GEST № 16 Пушицевые сфагновые комплексы – –2,6 и –0,3. Единственным существенным отличием по факторам эмиссии, полученным в результате полевых измерений и на основе анализа мирового опыта, является поток парниковых газов по обводненным участкам и каналам. Результаты работы показали высокую сходимость в оценке потоков парниковых газов на основе косвенных методов, что в дальнейшем позволит существенно сократить объемы полевых работ без ущерба в качестве и достоверности итоговых показателей.

Ключевые слова: торф, торфяные месторождения, парниковые газы, GEST-подход, картографирование торфяников.

Введение

Проблема достоверной оценки потоков парниковых газов (ПГ) становится все более актуальной. Это связано с осознанием глобального изменения климата, и в первую очередь за счет антропогенных факторов. В этой связи необходимо разработать эффективные методы для максимально точного определения уровня ПГ, причем на значительных по площади территориях, которыми обладает РФ. В первую очередь интерес представляют такие территории, как леса, сельскохозяйственные угодья, а также водно-болотные угодья (ВБУ). При этом ВБУ, и в частности торфяные болота, по многим оценкам, содержат в несколько раз больше углерода, чем все леса и почвы. Именно этот факт делает их наиболее интересными и актуальными для изучения и эффективного управления. Более того, торфяные болота в своем природном состоянии являются эффективными накопителями углерода, а при их антропогенном использовании для сельского хозяйства, выращивания леса и добычи торфа, наоборот, – источниками ПГ. Вопросу эффективного управления этими территориями, в том числе с помощью их вторичного обводнения, уделяется все большее внимание во всем мире, а за последние 10 лет количество научных работ увеличилось в несколько раз. Россия обладает огромными территориями торфяных болот, примерно 35% от площади всех болот на нашей планете. При этом значительная часть из них была нарушена для целей с/х, лесного хозяйства и добычи торфа. Сейчас эти территории брошены

и являются значительными источниками ПГ, и более того, пожароопасными территориями. С другой стороны, в последнее время развивается мировой рынок углеродных единиц. В России в последние два года этот процесс развивается очень стремительно – принят ряд основополагающих законов, создана инфраструктура для нового рынка, разработаны ключевые методологии. Этот процесс в настоящее время привлекает крупный бизнес, который может способствовать восстановлению торфяников и снижению выбросов ПГ. Таким образом, разработанные методы оценки выбросов ПГ дадут интенсивный толчок для дальнейшего развития этого рынка, а также будут способствовать объективной и точной оценке уровня потоков ПГ для определения на национальном уровне вклада (ОНУВ) в снижение выбросов парниковых газов.

Keywords: peat, peat deposits, green houses gases, GEST-approach, peatlands mapping.

и являются значительными источниками ПГ, и более того, пожароопасными территориями.

За последние 300 лет произошли губительные изменения в общей площади ВБУ на нашей планете, ключевой частью которых и являются торфяные болота. Так, согласно [1], общая площадь ВБУ за этот интервал времени сократилась на 21% (16–23%). При этом торфяные болота хранят около 30% от всего почвенного углерода, который составляет, по современным оценкам, более 600 Гт [2, 3].

Торфяные болота накапливают углерод благодаря превышению его накопления в торфе над выделением в виде CO_2 и CH_4 . Это происходит вследствие того, что в неосушенном слое торфяной залежи создаются анаэробные условия и таким образом замедляются процессы

и являются значительными источниками ПГ, и более того, пожароопасными территориями.

разложения остатков растений и формируется гумус торфа [4].

При оценке взаимодействия торфяных болот с окружающей средой (атмосферным воздухом) необходимо понимать, что торфяники выделяют и поглощают ПГ. Этот процесс можно сравнить с газовым «дыханием» болот. Происходит постоянный газообмен. Для оценки такого обмена вводится понятие баланса ПГ и чистого потока (NEE нетто-экосистемный обмен, или иначе чистый обмен CO_2 , между экосистемой и атмосферой, чистый обмен экосистемы диоксидом углерода, чистый экосистемный обмен).

Тем не менее при различных методах оценки баланса ПГ от торфяных болот, при всем их многообразии и сложности такого «дыхания», большинство исследований сводятся к общему выводу о том, что торфяные болота являются глобальными поглотителями ПГ [5]. И вместе с тем существуют опасения, что активное антропогенное нарушение торфяных болот может способствовать изменению такого баланса и превратить торфяники в значительные источники ПГ [6]. Главным образом антропогенное влияние здесь проявляется в осушении торфяников, что и приводит к созданию аэробных условий, и следовательно, интенсивному разложению торфа и высвобождению в атмосферу накопленного углерода.

Эффективным методом снижения такого явления является вторичное обводнение, которое по своей сути имеет значительное количество положительных сторон. В целом опыт снижения эмиссии ПГ за счет обводнения торфяников в разных природно-климатических зонах подтверждается многими работами, например Калифорния с эмиссии $12,5 \text{ тСО}_2\text{-экв./га}\cdot\text{г}$ до поглощения $14,55 \text{ тСО}_2\text{-экв./га}\cdot\text{г}$ [7]. В Индонезии установлены средние эмиссии углерода $4,5 \text{ тСО}_2\text{-экв./га}\cdot\text{г}$ [8], в бореальной зоне от $5,9$ и $12,9 \text{ тСО}_2\text{-экв./га}\cdot\text{г}$ в различных комплексах [9]. Показано, что при отрицательном водном балансе верховое болото становится источником CO_2 для атмосферы [10, 11].

Приводятся цифры для умеренных широт в $16,1 \pm 5,5 \text{ тСО}_2\text{-экв./га}\cdot\text{г}$, $61,2 \pm 38,5 \text{ тСО}_2\text{-экв./га}\cdot\text{г}$ для тропических торфяников [12, 13].

Существуют опасения, что положительные последствия вторичного обводнения в виде снижения выбросов CO_2 компенсируются отрицательными последствиями в виде увеличения высвобождения в атмосферу CH_4 . Однако было доказано, что итоговый баланс все же имеет перевес в положительную сторону, т. е.

значения сокращения выбросов CO_2 выше, чем увеличение потоков CH_4 [14–16].

При этом существует явный недостаток измерения динамики потоков ПГ с торфяников после их вторичного обводнения в умеренной зоне [17, 18]. Одним из немногочисленных примеров исследований по вопросам выбросов ПГ с осушенных торфяных месторождений являются работы, реализованные в рамках проекта «LifePeat Restore», в основном на торфяниках Прибалтики и Польши [19].

Для болот России, имеющих свою явную специфику в истории нарушений и последующего использования, такие измерения единичны.

Таким образом, следует констатировать несколько важных моментов на основе проанализированных публикаций: 1) возрастающий интерес к вопросу вторичного обводнения торфяников в мире; 2) значительное развитие методов оценки ПГ с торфяников и их отдельных частей; 3) сходимость общих результатов в оценке уровней ПГ в разных регионах планеты и климатических зонах с обособленной вариативностью; 4) возрастающую потребность развития исследований в России.

Целью настоящей работы является реализация комплекса научно-практических работ для верификации камеральных методов для определения уровней эмиссии парниковых газов с территорий осушенных ранее торфяников Северо-Запада России на основе использования косвенных факторов, и в первую очередь таких как растительность, остаточная мощность торфа, уровень болотных вод.

Характеристика объекта

Торфяное месторождение (т/м) Дедово поле расположено на границе Ленинградской и Вологодской областей в Чагодощенском районе Вологодской области. Оно является типичным торфяником для условий северо-запада Российской Федерации, и в том числе для условий Ленинградской области, по следующим соображениям.

1. Это верховое болото с торфом малой и средней степени разложения, имеющее преимущественное озерное образование, характерное для болот северо-запада Российской Федерации, в т. ч. Ленинградской области.
2. Площадь осушенной части составляет 4500 га , что является средним значением, и на такой площади характерно формирование всего типичного набора природно-территориальных комплексов.

3. Хозяйственное использование торфяника типично для всех подобного рода торфяных месторождений: начало добычи торфа относится к 20–30-м гг. XX в., первый способ добычи торфа – машиноформовочный. Начиная с 50-х гг. XX в. торф начали добывать фрезерным способом на всей территории освоенной части торфяника. После 90-х гг. XX в. большая часть территории не использовалась, добыча сохранялась фрагментарно на отдельных картах.

Материалы и методы

Описание GEST-подхода

Модель ГЕСТ (GEST, Greenhouse Gas Emission Site Type) была разработана ведущими европейскими учеными [27, 28]. В соответствии с этой моделью растительность индицирует однородный природно-территориальный комплекс, который, в свою очередь, отвечает однородному состоянию всех факторов, определяющих эмиссию ПГ. Растительность является наиболее подходящим индикатором потоков парниковых газов [27] по следующим причинам:

- растительность – хороший индикатор глубины залегания грунтовых вод и их долгосрочных колебаний, которая, в свою очередь, сильно коррелирует с потоками ПГ;
- на нее воздействуют другие факторы местообитания, которые определяют объем выбросов ПГ от торфяников: наличие питательных веществ, реакция почвы (кислотность) и землепользование (история);
- сама растительность прямо или косвенно ответственна за преобладающую часть выбросов ПГ, т. к. она регулирует обмен CO_2 , поставляя органические вещества (включая корневые выделения) для образования CO_2 и CH_4 , уменьшает влажность торфа и обеспечивает альтернативные пути повышения эмиссии метана через аэренхиму («шунтирующие виды»).

Полевые методы описания растительности, воды и торфа

Геоботанические описания проведены по классическим методикам [20], модифицированным под задачи современного болотоведения, в том числе выделение функционально значимых единиц для определения углеродного баланса. Методика основана на иерархии единиц болотных ландшафтов, разработанной В.В. Мазингом [21] и дополненной другими болотоведами [22, 23]. Сначала были сделаны

геоботанические очерки 5 характерных для этого торфяника классов GEST. Далее для этих классов были определены ключевые участки, для которых были выполнены подробные геоботанические описания на круговых площадках диаметром 20 м. Для учета мозаичности в пределах ключевых участков определены и описаны основные типы микроценозов. Помимо геоботанических описаний в выделенных ключевых участках были проведены измерения уровня болотных вод (УБВ), остаточной мощности торфа и эмиссии парниковых газов.

Измерение потоков CO_2 и CH_4

Потоки CO_2 и CH_4 измерялись в течение трех дней 22–24 августа 2023 года в круглосуточном режиме. На всех пяти классах GEST были выполнены утренние (7:00–12:00), дневные (12:00–18:00) и ночные (21:00–00:00) измерения потоков парниковых газов (ППГ). Из-за удаленности точек измерения в сухом и влажном сосняке утренние измерения на них были смещены на более позднее время.

Для измерения ППГ использовались статические камеры квадратного сечения с площадью основания 0,49 м², высотой 25 и 50 см, объемом 119 и 206 л соответственно. Низкая камера (h = 25 см) использовалась на открытом торфе, высокая (h = 50 см) – на остальных объектах с растительностью. Использовались металлические основания (70 × 70 см) из нержавеющей стали с гидрозатвором из отстоянной водопроводной воды, врезаемые в торф на 5–10 см. Глубина их врезки измерялась рулеткой и учитывалась для конечного расчета объема камер. При установке оснований растительность внутри них оставалась в естественном состоянии. Камеры были изготовлены из прозрачного оргстекла со светопропускной способностью для фотосинтетически активной радиации ≈ 93%, оснащались вентиляторами и съемными светоотражающими чехлами. Измерения прозрачной камерой соответствовали измерению чистого экосистемного обмена напочвенного покрова (NEE). NEE отражает разность двух противоположно направленных процессов – ассимиляции CO_2 экосистемой напочвенного покрова из атмосферы (в результате фотосинтеза) и процесса выделения CO_2 экосистемой напочвенного покрова в атмосферу (в результате ее дыхания). Отрицательные значения NEE соответствуют ассимиляции CO_2 экосистемой из атмосферы, положительные – его выделению в атмосферу. Измерения камерой с чехлом соответствовали

измерению экосистемного дыхания напочвенного покрова (Reco – Ecosystem respiration).

Для измерения потоков с открытой воды картового канала использовались плавающие камеры круглого сечения с площадью основания 0,09 м² и объемом 12 л. При измерениях потоков с водной поверхности вентиляторы внутри камеры не использовались для избежания эффекта «выдувания газа» из воды.

Изменение концентрации CO₂ и CH₄ в камере измерялось портативным газоанализатором LI-7810 (Li-Cor, США) подключаемым к камере по замкнутой схеме. Точность прибора для CO₂ – 3500 млрд⁻¹, для CH₄ – 0,6 млрд⁻¹. Частота измерений – 1 раз в секунду, экспозиция камеры – 3 мин, первые 60 с из которых не учитывались при расчете величины потока (т. н. deadband). Величина потока ПГ в камере рассчитывалась методом наименьших квадратов, исходя из допущения о его линейности в течение экспозиции. При измерении плавающими камерами концентрация газа измерялась внутри камер сразу после установки на воду и спустя 15 минут, таким образом определялся общий поток CO₂ и CH₄ из воды, обусловленный как диффузионным, так и пузырьковым переносом.

При расчете среднесуточного потока было принято допущение, что он характеризуется как среднее арифметическое утреннего, дневного и ночного потока в прозрачной камере. Результаты измерений ППГ камерами с чехлом в данной работе не анализируются.

Температура почвы измерялась термометром HI98509 Checktemp 1 (Hanna Instruments, США) на глубине 10 см рядом с каждым основанием во время замеров ППГ. Фотосинтетически активная радиация, температура и влажность воздуха определялась сенсором Minikin QTH (EMS Brno, Чехия) 1 раз в минуту в течение всего времени выполнения полевых измерений.

Расчет факторов эмиссии

При расчете факторов эмиссии были сделаны следующие допущения:

- гидротермические условия периода измерений парниковых газов на объекте Дедово поле (22–24 августа 2023 г.) в целом характерны для вегетационного периода данного региона и характеризуют его многолетнюю климатическую норму;

- изменение потоков CO₂ и CH₄ в течение вегетационного периода, обусловленное изменением растительного покрова, длины светового дня, температуры почвы и уровня грунтовых вод, отсутствует;
- продолжительность вегетационного периода в районе исследования 130 дней, остальные 235 дней относятся к зимнему периоду, с нулевыми потоками;
- потоки закиси азота (N₂O) для данного типа объекта пренебрежимо малы, и их вклад не учитывается;
- среднесуточный поток ПГ можно рассчитать как среднее арифметическое утреннего, дневного и ночного потока.

Коэффициенты эмиссии для естественно-го болота были получены при допущении, что ночное дыхание в три раза ниже дневного, продолжительность ночи и дня – 7 и 17 ч соответственно, кочки занимают 30% поверхности рельефа, мочажины – 70%.

Среднесуточный поток парникового газа с одного типа поверхности (класса GEST) рассчитывался как среднее арифметическое среднесуточных потоков, измеренных на основных типах растительности данного класса GEST (осока, плаун, береза и т. д.). В свою очередь, среднесуточный поток для типа растительности рассчитывался как среднее арифметическое утреннего, дневного и ночного потока (NEE в случае CO₂). Для пересчета потока CH₄ в CO₂-эквиваленты использовался потенциал глобального потепления метана, равный 28 [29]. Для канала рассчитывалась медиана потоков за все три дня наблюдений (n = 15), т. к. выраженного суточного хода эмиссии CO₂ и CH₄ выявлено не было.

Методы обработки снимков, картографирования

Для картографирования был использован подход полуавтоматической классификации мультиспектрального разносезонного космического снимка среднего разрешения (Sentinel 2).

Картографирование велось в несколько этапов.

1. На основании зимнего снимка отделялись области с различным лесным покровом или подростом.
2. На основании летнего снимка и применения индексов NDWI¹, NDVI² отделялись области

¹ Normalized Difference Water Index.

² Normalized Difference Vegetation Index.

открытого торфа, воды и комплексов, занятых травяной растительностью.

3. Зоны с травяной растительностью разделялись на более сухие луга и обводненные сообщества (тростник, осока).
4. Результаты экспертно верифицировались по снимку сверхвысокого разрешения.

Результаты

На исследованной территории были выделены 5 преобладающих классов GEST.

- GEST № 5 «Комплексы открытого или слабо задернованного сильно осушенного торфа (верхового)» (рис. 1, а).

Этот класс характерен для сильно осушенных фрезерных полей разного возраста с остаточной мощностью торфа 1–2 м. На участках, где торфодобыча прекратилась 10–15 лет назад, преобладает открытый

торф, на более старых – березово-моховые группировки из подроста берез белой и повислой и политрихума можжевельниковидного. Из сосудистых растений наибольшим участием характеризуется пушица влагищная, ее проективное покрытие может достигать 50%.

- GEST № 20 «Комплексы открытой воды на торфе/каналы» (рис. 1, б).

Открытая вода встречается в осушительных каналах, глубина каналов достигает 1,5 м. С краев каналов и на мелководьях поселяются пушицы влагищная и узколистная, а также осока вздутая, могут поселяться погруженные растения – пузырчатка обыкновенная и сфагновые мхи.

- GEST № 7 «Комплексы открытого или слабо задернованного влажного торфа (верхового)» (рис. 2, а).



Рис. 1. а – GEST № 5 «Комплексы открытого или слабо задернованного сильно осушенного торфа (верхового); б – GEST № 20 «Комплексы открытой воды на торфе/каналы»

Fig. 1. а – GEST No. 5 Bare peat dry (oligotrophic); б – GEST No. 20 Open water/ditches



Рис. 2. а – GEST № 7 «Комплексы открытого или слабо задернованного влажного торфа (верхового)»; б – GEST № 22 «Среднеувлажненные лесные травяные, кустарничковые зеленомошные комплексы»

Fig. 2. а – GEST No. 7 Bare peat wet (oligotrophic); б – GEST No. 22 Moderately moist forest and shrubberies

Этот класс GEST объединяет заброшенные фрезерные поля в более влажных условиях по сравнению с классом GEST № 5. На влажных участках развиваются кочкарники из пушицы влагилищной, а также узколистно-пушицевые и вздуто-осоковые группировки. В значительном числе встречается подрост берез белой и повислой и сосны. Моховой ярус слабо развит и представлен одним видом мхов (*Polytrichum juniperinum*).

- GEST № 22 «Среднеувлажненные лесные травяные, кустарничковые зеленомошные комплексы» (рис. 2, б).

Для местообитаний этого класса характерна значительная мощность торфа – 3,5–4 м. Здесь было проведено осушение ориентировочно в 30–40-е годы, но торфодобыча не велась. Микрорельеф слабо выражен, в некоторых случаях представлен приствольными повышениями, моховыми кочками и межкочьями. Древостой сформирован сосной с примесью березы. Сомкнутость крон составляет 30–40%, высота яруса – до 13 м. В травяно-кустарничковом ярусе насчитывается 22 вида сосудистых растений – болотных, лесоболотных и лесных. Мохово-лишайниковый ярус хорошо развит, его общее проективное покрытие составляет 50–70%. В моховом покрове преобладают лесные виды зеленых мхов.

- GEST № 23 «Среднеувлажненные сосняки кустарничковые сфагновые» (рис. 3).

Этот класс объединяет местообитания, где болотная растительность восстановилась в значительной степени, в том числе присут-



Рис. 3. Среднеувлажненные сосняки кустарничковые сфагновые

Fig. 3. Medium-watered forests and shrubberies

ствует сфагновый покров, присутствуют типичные виды верховых болот. Можно выделить такие микроформы, как высокие гряды (40 см высотой), низкие гряды (20 см), мочажины и обводненные мочажины. Древостой (болотные формы сосны, сомкнутость 30%, высота 6 м) приурочен преимущественно к высоким грядам.

Измерения эмиссий

В результате выполненной полевой компании был измерен 101 поток CO₂ и такое же количество потоков CH₄. На основе полученных данных были рассчитаны среднесуточные потоки (г м⁻² сут⁻¹) и факторы эмиссии (тCO₂-экв./га·г), представленные в табл. 1.

Таблица 1. Факторы эмиссии для исследованных классов GEST и промежуточные расчетные значения

Table 1. Emission factors for the studied GEST classes and intermediate calculated values

Класс GEST	Газ	гCO ₂ м ⁻² сут ⁻¹	гCO ₂ -экв м ⁻² сут ⁻¹	тCO ₂ -экв./га·г	тCO ₂ -экв./га·г	тCO ₂ -экв./га·г
5	CO ₂	5,8		7,6		8,2
	CH ₄		0,5		0,6	
7	CO ₂	-8,3		-10,8		-1,1
	CH ₄		7,4		9,7	
22	CO ₂	10,3		13,4		13,4
	CH ₄		-0,03		-0,04	
23	CO ₂	3,8		5,0		10,1
	CH ₄		3,9		5,1	
20	CO ₂	2,0		2,5		40,3
	CH ₄		29,1		37,8	
Естеств. болото (кочка)	CO ₂	3,6		4,7		-2,3*
	CH ₄		5,0		6,5	
Естеств. болото (мочажина)	CO ₂	-6,7		-8,7		
	CH ₄		0,4		0,6	

Полученные факторы эмиссии (ФЭ) логично согласуются между собой. Открытый торф имеет больший ФЭ, чем зарастающая добыча торфа. На зарастающем торфе на порядок увеличивается эмиссия метана, но она компенсируется снижением потока CO_2 . Полученный ФЭ для открытого торфа не учитывает вклад каналов, которые занимают всего 6% площади объекта, но имеют свой значительный ФЭ, в нашем случае 40,3 т CO_2 -экв./га·г. Следовательно, при сложении ФЭ открытого торфа и канала пропорционально доли их площадей на осушенном торфянике – 94% и 6% соответственно – ФЭ для всего данного объекта составляет 10,2 т CO_2 -экв./га·г, что согласуется с данными, приведенными в Пятом оценочном докладе МГЭИК [24] и оценивающими ФЭ для этого типа объектов 10,8 т CO_2 -экв./га·г с учетом вклада каналов.

Сухой сосняк имеет ФЭ 13,4 т CO_2 -экв./га·г, что сопоставимо с открытым торфом при учете, что измерения камерами не учитывают ассимиляцию CO_2 кронами деревьев. Поэтому можно утверждать, что полученные оценки для обоих сосняков сдвинуты в сторону потерь углерода экосистемой, т. к. не включают значительную часть ассимиляционной компоненты. Полученные коэффициенты для двух классов сосняков также логичны: сухой сосняк выделяет CO_2 -эквивалентов больше, чем влажный. Эмиссия метана во влажном сосняке на два порядка больше, чем в сухом, но она компенсируется снижением потока CO_2 .

На основании выполненных однократных измерений и сделанных допущений ФЭ для естественного болота составляет –2,3 т CO_2 -экв./га·г, таким образом, болото является поглотителем углерода из атмосферы, несмотря на значительные потоки CH_4 . Необходимо отметить, что измерения на болоте были выполнены в пасмурную дождливую погоду, что сместило полученные оценки в сторону дыхания – снижения потребления углерода из атмосферы: более продолжительные исследования с охватом всех условий освещенности в теории должны дать бóльшую ассимиляцию углерода данным классом GEST.

Обсуждение

Сравнение величин эмиссий по классам GEST, измеренных авторами и полученных из литературы, показывает следующее.

Для класса GEST № 4 Комплексы открытого или слабозадернованного сильноосушен-

ного торфа (верхового) получены значения 10,2 т CO_2 -экв./га·г, при этом оценка по литературе составляет 7,5; для GEST № 7 Комплексы открытого или слабозадернованного влажного торфа (олиготрофного) – –1,1 и 1,6; для GEST № 22 Слабоувлажненные лесные травяные, кустарничковые зеленомошные комплексы – 13,4 и 20; для GEST № 23 Среднеувлажненные сосняки кустарничковые сфагновые – 10,1 и 9,4; для GEST № 20 Комплексы открытой воды на торфе/каналы – 40,3 и 3; для GEST № 16 Пушицевые сфагновые комплексы – –2,3 и –0,3.

Таким образом, можно сказать, что фактические замеры подтвердили предшествующие измерения [25, 26] и полученные результаты, а также они показали соответствие фактических потоков парниковых газов данным, полученным другими исследователями в других регионах, и в первую очередь с данными, приведенными в Пятом оценочном докладе МГЭИК [29].

Единственным существенным отличием по факторам эмиссии, полученным в результате полевых измерений и на основе анализа мирового опыта, является поток парниковых газов по обводненным участкам и каналам. Надо сказать, что до недавнего времени в практике оценки объемов эмиссии данные по водным объектам на торфе отсутствовали. Так, в частности, в [26] данные по эмиссии по водным объектам на торфе имеют ссылку на устаревшую статью, и в современных данных на них отмечено «No data». Только в последнее время начинают появляться данные о значительной эмиссии метана с водных объектов на торфе, что и подтверждается нашими измерениями.

Величины расхождений по остальным классам GEST остаются в пределах допустимых значений.

Таким образом, в результате проведения полевых измерений всех основных факторов, влияющих на объемы эмиссии парниковых газов, большинство предположений были подтверждены. Это позволяет считать в целом значения, полученные в результате проведения экспресс-метода картографирования осушенных торфяников, справедливыми.

Выводы

В результате реализации комплекса научных работ, проведенных в рамках апробации методов для условий т/м Дедово поле, был выполнен широкий спектр научных исследо-

ваний. В частности, были выполнены следующие работы.

1. Предварительно была составлена карта однотипных мест обитаний.
2. Было показано, что наибольшие площади занимают классы GEST: № 5 Комплексы открытого или слабо задернованного сильно осушенного торфа (верхового), № 7 Комплексы открытого или слабо задернованного влажного торфа (верхового), № 20 Комплексы открытой воды на торфе/каналы, среднеувлажненные лесные травяные, № 22 Кустарничковые зеленомошные комплексы, № 23 Среднеувлажненные сосняки кустарничковые сфагновые.
3. Проведены геоботанические описания во всех однородных классах поверхности, а также подробные геоботанические описания на каждом ключевом участке.
4. Для каждого класса поверхности проведены детальные исследования характеристик торфа и воды, включая уровень болотных вод за весь период проведения исследований.
5. Были проведены фактические замеры выбросов парниковых газов в каждом классе поверхности, которые показали следующие значения: для GEST № 5 – 8,2, для № 7 – «-1,1», для № 22 – 13,4, для № 23 – 10,1, № 20 – 40,3 тСО₂-экв./га·г соответственно.
6. В завершение были проанализированы ряды изменений в сукцессионных процессах однородных классов поверхности и произведен расчет общего сокращения потоков парниковых газов в случае эффективной реализации Климатического проекта в условиях торфяного месторождения Дедово поле Вологодской области.

Таким образом, это первый и единственный проект в Российской Федерации, реализованный для подготовки к реализации Климатического проекта. Данные работы соответствуют Методологии реализации Климатических проектов СРМ № 0016 (ИГКЭ).

Библиографический список

1. *Fluet-Chouinard E., Stocker B.D., Zhang Z. et al.* Extensive global wetland loss over the past three centuries // *Nature*. – 2023. – Vol. 614. – № 7947. – P. 281–286. <https://doi.org/10.1038/s41586-022-05572-6>
2. *Leifeld J., Menichetti L.* The underappreciated potential of peatlands in global climate change mitigation strategies // *Nat. Commun.* – 2018. – № 9. – P. 1071. <https://doi.org/10.1038/s41467-018-03406-6>
3. *Yu Z., Loisel J., Brosseau D.P. et al.* Global peatland dynamics since the Last Glacial Maximum // *Geophysical research letters*. – 2010. – Vol. 37. – L13402. <https://doi.org/10.1029/2010GL043584>
4. *Limpens J., Berendse F., Blodau C. et al.* Peatlands and the carbon cycle: from local processes to global implications – a synthesis // *Biogeosciences*. – 2008. – Vol. 5. – P. 1475–1491. <https://doi.org/10.5194/bg-5-1475-2008>
5. *Kayranli B., Scholz M., Mustafa A. et al.* Carbon Storage and Fluxes within Freshwater Wetlands: a Critical Review // *Wetlands*. – 2010. – Vol. 30. – P. 111–124. <https://doi.org/10.1007/s13157-009-0003-4>
6. *Ise T., Dunn A., Wofsy S. et al.* High sensitivity of peat decomposition to climate change through water-table feedback // *Nature Geosci.* – 2008. – Vol. 1. – P. 763–766. <https://doi.org/10.1038/ngeo331>
7. *Knox S.H., Sturtevant C., Matthes J.H. et al.* Agricultural peatland restoration: effects of land-use change on greenhouse gas (CO₂ and CH₄) fluxes in the Sacramento-San Joaquin Delta // *Glob Change Biol.* – 2015. – Vol. 21. – P. 750–765. <https://doi.org/10.1111/gcb.12745>
8. *Hooijer A.S., Page P., Navratil R. et al.* Carbon emissions from drained and degraded peatland in Indonesia and emission factors for measurement, reporting and verification (MRV) of peatland greenhouse gas emissions – a summary of KFCP research results for practitioners. IAFCP. – Jakarta, Indonesia, 2014. https://www.researchgate.net/profile/Ronald-Vernimmen-2/publication/323616904_Carbon_emissions_from_drained_and_degraded_peatland_in_Indonesia_and_emission_factors_for_measurement_reporting_and_verification_MRV_of_peatland_greenhouse_gas_emissions_-_a_summary_of_KFCP_research_r/links/5d003efd4585157d15a4278a/Carbon-emissions-from-drained-and-degraded-peatland-in-Indonesia-and-emission-factors-for-measurement-reporting-and-verification-MRV-of-peatland-greenhouse-gas-emissions-a-summary-of-KFCP-research.pdf
9. *Вомперский С.Э., Ковалев А.Г., Глухова Т.В., Смагина М.В.* Эмиссия диоксида углерода и метана с поверхности почв лесных и болотных экосистем разной увлажненности в подзоне южной тайги и Европейской территории России // *Национальная*

- конференция с международным участием «Эмиссия и сток парниковых газов на территории северной Евразии», 20–24 ноября, 2000: Тезисы докладов. – Пущино, 2000. – С. 83.
10. *Arneeth A., Veenendaal E.M., Best C. et al.* Water use strategies and ecosystem-atmosphere exchange of CO₂ in two highly seasonal environments // *Biogeosciences*. – 2006. – Vol. 3. – No. 4. – P. 421–437. <https://doi.org/10.5194/bg-3-421-2006>
 11. *Выгодская Н.Н., Курбатова Ю.А., Варлагин А.В. и др.* Потоки CO₂ между атмосферой и бореальными экосистемами южной европейской тайги // Вторая Международная конференция «Эмиссия и сток парниковых газов на территории северной Евразии», 16–20 июня 2003: Тезисы докладов. – Пущино, 2003. – С. 29–30.
 12. *Leifeld J., Wüst-Galley C. & Page S.* Intact and managed peatland soils as a source and sink of GHGs from 1850 to 2100 // *Nat. Clim. Chang.* – 2019. – Vol. 9. – P. 945–947. <https://doi.org/10.1038/s41558-019-0615-5>
 13. IPCC Climate Change 2014: Synthesis Report (eds Core Writing Team, Pachauri R.K. & Meyer L.A.) (IPCC, 2014). <https://www.ipcc.ch/report/ar5/syr/>
 14. *Günther A., Barthelmes A., Huth V. et al.* Prompt rewetting of drained peatlands reduces climate warming despite methane emissions // *Nat. Commun.* – 2020 Apr 2. – Vol. 11 (1). – P. 1644. <https://doi.org/10.1038/s41467-020-15499-z>
 15. *Nugent K.A., Strachan I.B., Roulet N.T. et al.* Prompt active restoration of peatlands substantially reduces climate impact // *Environmental Research Letters*. – 2019. – Vol. 14 (12). – P. 124030. DOI 10.1088/1748-9326/ab56e6
 16. *Evans C.D., Peacock M., Baird A.J. et al.* Overriding water table control on managed peatland greenhouse gas emissions // *Nature*. – 2021. – Vol. 593. – P. 548–552. <https://doi.org/10.1038/s41586-021-03523-1>
 17. *Nugent K.A., Strachan I.B., Strack M. et al.* Multi-year net ecosystem carbon balance of a restored peatland reveals a return to carbon sink // *Glob Change Biol.* – 2018. – Vol. 24. – P. 5751–5768. <https://doi.org/10.1111/gcb.14449>
 18. *Wilson D., Farrell C.A., Fallon D. et al.* Multi-year greenhouse gas balances at a rewetted temperate peatland // *Glob Change Biol.* – 2016. – Vol. 22. – P. 4080–4095. <https://doi.org/10.1111/gcb.13325>
 19. <https://life-peat-restore.eu/en/>
 20. Программа и методика биогеоценотических исследований / Отв. ред. Н.В. Дылис. – М.: Наука, 1974. – 404 с.
 21. *Мазинг В.В.* Актуальные проблемы классификации и терминологии в болотоведении // Типы болот СССР и принципы их классификации. – Л.: Наука, 1974. – С. 8.
 22. *Минаева Т.Ю., Сирин А.А.* Биологическое разнообразие болот и изменение климата // *Успехи современной биологии*. – 2011. – Т. 131. – № 4. – С. 393–406.
 23. *Minayeva T.Y., Bragg O., Sirin A.A.* Towards ecosystem-based restoration of peatland biodiversity // *Mires and Peat*. – 2017. – Т. 19. – № 1. – С. 1–36. DOI:10.19189/Map.2013.OMB.150
 24. IPCC, 2013: Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [T.F. Stocker, D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex and P.M. Midgley (eds.)]. – Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA. – 1535 pp.
 25. *Чистотин М.В., Сирин А.А., Дулов Л.Е.* Сезонная динамика эмиссии углекислого газа и метана при осушении болота в Московской области для добычи торфа и сельскохозяйственного использования // *Агрохимия*. – 2006. – № 6. – С. 54–62.
 26. *Jarašius L. et al.* Handbook for assessment of greenhouse gas emissions from peatlands. Applications of direct and indirect methods by LIFE Peat Restore // Lithuanian Fund for Nature. – Vilnius, 2022. – 201 p.
 27. *Couwenberg J., Thiele A., Tanneberger F. et al.* Assessing greenhouse gas emissions from peatlands using vegetation as a proxy // *Hydrobiologia*. – 2011. – Vol. 674. – 67–89 с.
 28. *Швиль Ш., Хаберль А., Штраус А.* Выбросы парниковых газов из болот. Методика оценки климатической значимости на примере болота Целау. – Грейфсвальд, 2010. – 20 с.
 29. IPCC/TEAP, 2005: Special Report on Safeguarding the Ozone Layer and the Global Climate System: Issues Related to Hydrofluorocarbons and Perfluorocarbons [Metz B. et al. (eds.)]. – Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA. – 488 pp.

УДК 622.331:691.168

Мисников О.С.

Мисников Олег Степанович, д. т. н., зав. кафедрой «Горное дело, природообустройство и промышленная экология» ФГБОУ ВО «Тверской государственный технический университет», Тверь, Академическая, 12, oleg.misnikov@gmail.com

Перевалова О.С.

Перевалова Ольга Святославовна, магистрант кафедры «Горное дело, природообустройство и промышленная экология», ФГБОУ ВО «Тверской государственный технический университет», Тверь, Академическая, 12, Olenka-perevalova@bk.ru

Шилова О.Г.

Шилова Ольга Геннадьевна, старший преподаватель кафедры иностранных языков, ФГБОУ ВО «Тверской государственный технический университет», Тверь, Академическая, 12, shilovaolga71@yandex.ru

Башилова Е.В.

Башилова Екатерина Валерьевна, магистрант кафедры «Горное дело, природообустройство и промышленная экология», ФГБОУ ВО «Тверской государственный технический университет», Тверь, Академическая, 12, baw_2711@bk.ru

АНАЛИЗ ПЕРСПЕКТИВ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ МОДИФИЦИРУЮЩИХ ДОБАВОК НА ОСНОВЕ ТОРФА В ЩЕБЕНОЧНО- МАСТИЧНЫХ АСФАЛЬТОБЕТОНАХ

Аннотация. В статье приведен анализ стабилизирующих и модифицирующих органических и минеральных добавок, используемых при производстве щебеночно-мастичных асфальтобетонов. Их применение улучшает физико-механические свойства органического вяжущего (нефтебитума) и всего асфальтобетона в целом. Рассмотрен состав отечественных и зарубежных добавок основных торговых марок, представленных на рынке Российской Федерации. Проведено сравнение технико-экономических показателей при их использовании в промышленном производстве. Особое внимание

Misnikov O.S.

Misnikov Oleg S., Doctor of Engineering, Head of Mining, Nature Management and Industrial Ecology Department, Tver State Technical University, Tver, Akademicheskaya, 12, oleg.misnikov@gmail.com

Perevalova O.S.

Perevalova Olga S., Undergraduate of Mining, Nature Management and Industrial Ecology Department, Tver State Technical University, Tver, Akademicheskaya, 12, Olenka-perevalova@bk.ru

Shilova O.G.

Shilova Olga G., Senior Lecturer of Foreign Language Department, Tver State Technical University, Tver, Akademicheskaya, 12, shilovaolga71@yandex.ru

Bashilova E.V.

Bashilova Ekaterina V., Undergraduate of Mining, Nature Management and Industrial Ecology Department, Tver State Technical University, Tver, Akademicheskaya, 12, baw_2711@bk.ru

ANALYSIS OF PROSPECTS FOR THE USE OF MODIFYING ADDITIVES BASED ON PEAT IN CRUSHED STONE- MASTIC ASPHALT CONCRETE

Abstract. The article presents an analysis of stabilizing and modifying organic and mineral additives used in the production of crushed stone-mastic asphalt concrete. Their application improves physical and mechanical properties of organic binder (petroleum bitumen) and the asphalt concrete as a whole. The composition of domestic and foreign additives of the primary trademarks represented on the market of the Russian Federation is studied. The comparison of technical and economic performance when used in industrial production is made. Special attention is paid to scientific research on the development of new types of dispersed and granular

уделено научным исследованиям по разработке новых видов дисперсных и гранулированных модифицирующих добавок на основе торфяного сырья. Показана перспектива их использования в производстве щебеночно-мастичных асфальтобетонов.

Ключевые слова: стабилизирующие и модифицирующие добавки, щебеночно-мастичный асфальтобетон, целлюлоза, модификаторы, битум, воск, торф, торфяная добавка, грануляция.

Одной из основных причин сокращения сроков эксплуатации асфальтобетонных покрытий автомобильных дорог, переездов, путепроводов и других транспортных коммуникаций является появление и развитие различных видов повреждений. К ним относятся: появление колеи на проезжей части, пластические деформации, выбоины, трещины и другие дефекты дорожного полотна. В случае использования для формирования дорожных покрытий щебеночно-мастичного асфальтобетона (ЩМА) эти проблемы возникают вследствие применения низкокачественных нефтяных битумов. В то же время ЩМА должен обладать высокими прочностными характеристиками, стойкостью к износу при колебании температур в различное время года, стабильностью своих свойств, высокой устойчивостью к пластической деформации (колея, наплыв, сдвиг), повышенным звукопоглощением, а также оптимальным коэффициентом трения (шероховатостью).

С каждым годом наблюдается тенденция к ужесточению требований к физико-механическим свойствам органических вяжущих (битумов). В связи с этим специалистам, работающим в области строительства дорог, постоянно ставятся задачи, связанные с проблемой разработки и модификации битумов для достижения основной цели – повышения физико-механических свойств ЩМА. Одним из путей решения этой проблемы является использование в составе битумного вяжущего и (или) рецептуре ЩМА различного рода добавок и модификаторов [1–5]. Увеличение концентрации активированного битума в составе ЩМА по сравнению с обычным асфальтобетоном (при незначительном увеличении стоимости) позволяет полностью компенсировать производителям затраты за счет надежности и долговечности качественного дорожного покрытия.

modifying additives based on peat raw materials. The prospect for their application in the production of crushed stone-mastic asphalt concrete is illustrated.

Keywords: stabilizing and modifying additives, crushed stone-mastic asphalt concrete, cellulose, modifiers, bitumen, wax, peat, peat additive, granulation.

Таким образом, целью работы является анализ основных видов добавок и модификаторов, применяемых совместно с битумным вяжущим в щебеночно-мастичных асфальтобетонах, а также оценка перспектив применения в этом качестве торфяных модифицирующих компонентов.

Наиболее распространенной в настоящее время стабилизирующей добавкой в структуре битумного вяжущего ЩМА является целлюлоза. Волокна этого полисахарида способствуют увеличению адгезионного сцепления между минеральными (песок и щебень) и органическим (битум) компонентами. Теоретически возможен дополнительный эффект – связывание воды, попадающей в асфальт, и снижение тем самым негативного воздействия ее замерзания и последующего расширения льда.

Целлюлоза вносится в виде целлюлозного волокна или специальных гранул на его основе. Наилучшие результаты достигаются, если целлюлозное волокно имеет ленточную структуру нитей (длина от 0,1 до 2,0 мм), является однородным и не содержит пучков и скопленных нераздробленного материала (посторонних включений). Допускается применение полимерных и других волокон длиной от 0,1 до 10,0 мм, способных сорбировать битумное вяжущее в температурных режимах производства ЩМА. Однако они не должны оказывать отрицательное воздействие на вяжущее и минеральные смеси.

Добавки на основе целлюлозы отличаются друг от друга по содержанию чистой целлюлозы (рис. 1), а также используемого для ее гидрофобной обработки органического компонента: воска или битума (табл. 1).

В связи со сравнительно небольшим ассортиментом модифицирующих добавок, применяемых на производстве, возникает необходимость увеличения их ассортимента.

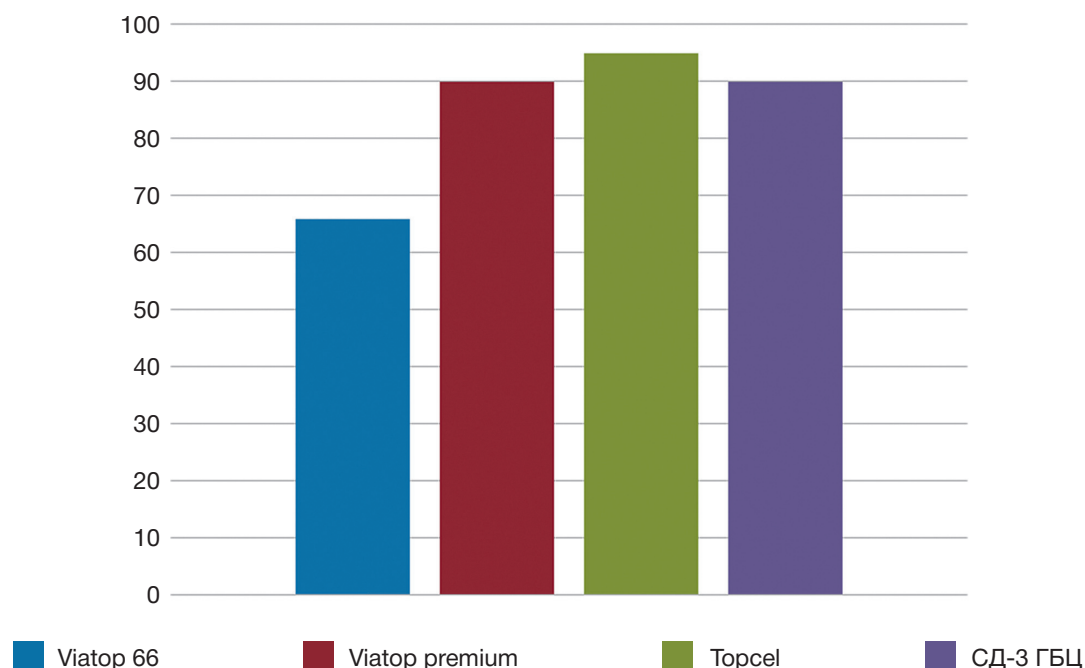


Рис. 1. Процентное содержание целлюлозы в добавках различных торговых марок

Fig. 1. Percentage of cellulose in additives of various trademarks

Таблица 1. Классификация стабилизирующих добавок в щебеночно-мастичные асфальтобетоны

Table 1. Classification of stabilizing additives in crushed stone-mastic asphalt concrete

Основные составляющие компоненты		Наименование добавки (торговая марка)	Страна-производитель
Целлюлоза	Гранулы из обработанных битумом целлюлозных волокон	СД-3 ГБЦ	Россия, г. Екатеринбург
		VIATOP	Германия
	Гранулы из обработанных воском целлюлозных волокон	TOPCEL	Германия
Асбест	Гранулы на основе природного волокнистого материала	ХРИЗОТОП	Россия, г. Екатеринбург
Смесь асбеста и базальта	Гранулы на основе природного волокнистого материала	СТИЛОБИТ	Россия, г. Екатеринбург
Резина	Гранулы или порошок на основе девулканизированной резины	УНИРЕМ	Россия, г. Подольск
Полимеры	Высокопрочные акриловые волокна	DOLANIT	Испания

Здесь необходимо принять во внимание, что кроме улучшения свойств ЩМА определенной перспективой по использованию в качестве добавок (или сырья для их получения) к органическому вяжущему обладают и трудно утилизируемые промышленные отходы (нефтяные шламы, каменноугольные флюсы, шлаки).

Анализ современных литературных и патентных источников [3, 6–8] показывает наиболее перспективные направления в науке и технике по разработке и производству добавок-модификаторов, которые применяются в производстве материалов для дорожных покрытий или находятся на стадии опытно-конструкторских разработок (таблица 1). К ним кроме целлюлозы относятся модификаторы

на основе асбеста, смеси асбеста и базальта, резины и полимеров.

Асбест является минералом с тонковолокнистой структурой (агрегаты состоят из тончайших гибких волокон), принадлежащим к классу силикатов. Этот минерал отличается высокой огнестойкостью, сопротивлением растяжению. Его структура не впитывает капельножидкую влагу, поэтому материал относится к классу влагостойких, его свойства не изменяются при колебании температур (в том числе высоких), и на него не оказывают влияния другие параметры окружающей среды. Благодаря этим положительным характеристикам он нашел широкое применение в производстве строительных материалов. Однако асбест не является экологически безопасным,

поэтому в странах, входящих в Европейский союз, он был запрещен в 2005 году.

Базальт – негорючая каменная порода вулканического происхождения. Он в отличие от асбеста является экологически безопасным и имеет высокую прочность. Базальтовый шнур при термическом воздействии не выделяет токсичных веществ, а также не содержит канцерогенов и смол. Есть сведения о вытеснении асбеста с рынка базальтом [8].

Поскольку на рынке представлен достаточно широкий ассортимент стабилизирующих добавок и модификаторов (табл. 1), которые различаются по форме выпуска и физико-химическому составу, актуальной является задача по комплексной оценке их основных характеристик [8–10]. Во-первых, это касается показателя экономичности при расходе стабилизатора, а во-вторых, сравнения по средней стоимости добавок в расчете на одну тонну асфальтобетона (табл. 2).

Из анализа данных, приведенных в таблице 2, следует, что минимальные концентрации в смеси ЩМА имеют добавки хризотоп и стилобит, а максимальные значения у модификатора Viator 66. Добавки других торговых марок имеют промежуточные значения концентраций, что, в принципе, соответствует заданным параметрам технических требований к таким видам продукции.

С учетом средней стоимости модификаторов на рынке и требуемых концентраций необходимо в первую очередь выделить образцы отечественной продукции, актуальность применения которых в настоящее время приобретает все большее значение. Это в первую очередь связано с постоянно нарастающим санкционным давлением недружественных стран. А главное – необходимость модернизации и развития промышленности Российской Федерации.

В этой связи хочется особо отметить перспективы использования гидрофобно-модифицирующих добавок на основе торфяного сырья, поскольку это позволяет не только получать высококачественный щебеночно-мастичный асфальтобетон, но и расширить ассортимент продукции, выпускаемой отечественной торфоперерабатывающей промышленностью.

Использование торфа в качестве модифицирующей и активирующей добавки в асфальтобетоне было предложено в работах ученых Белорусского национального технического университета [11–14]. Теоретической основой такой возможности является процесс низкотемпературной термической деструкции торфяного сырья с получением твердых, жидких и газообразных продуктов. Более точным здесь является трактование этого процесса как предпирилизного, поскольку температурный режим в данных работах варьировал в диапазоне 190–210 °С. В результате этого газообразная фаза удалялась из смесителя, твердая выполняла функцию активирующего адсорбента, а жидкая фаза оседала на зернах минеральных наполнителей. При этом, в частности, создавались дополнительные условия для гидрофобной модификации минеральных наполнителей и в целом всей асфальтобетонной смеси. Необходимо отметить, что научное обоснование этого процесса достаточно подробно было ранее проведено в работе [15] при изучении процесса гидрофобной модификации минеральных вяжущих материалов добавками из торфяного сырья.

Основным результатом научных исследований в данном направлении является разработка технологии одновременной активации асфальтобетонной смеси, в состав которой вводится торфяная добавка. Однако при анализе

Таблица 2. Средняя стоимость добавки, необходимой для приготовления одной тонны смеси щебеночно-мастичного асфальтобетона

Table 2. The average cost of the additive required to prepare one ton of a mixture of crushed stone-mastic asphalt concrete

Стабилизирующая добавка	Средний расход, кг/т	Средняя стоимость (на 01.05.23 г.), руб./кг	Стоимость на тонну ЩМА, руб.
Viator 66	4,5	62	279
Viator premium	3	75	225
Topcel	2,8–3,2	92	258–294
Хризотоп	2–5 (3')	57	114–285 (171)
Стилобит	2–5 (3')	56	112–280 (168)
СД-ЗГБЦ	3–4	61	183–244

проведенных исследований [11–14] выявлено достаточно большое количество недостатков, связанных с поверхностным отношением к сырьевой базе торфа. В исследованиях не учитывались виды торфа (низинный и верховой типы торфа были определены как виды [16]), степень их разложения, зольность и фракционный состав. При этом степень разложения во многом будет определять групповой химический состав органического вещества, зольность будет влиять на точность дозировки, а дисперсность – на сорбционные свойства твердой фазы – основной показатель эффективности модифицирующей добавки.

Кроме того, вызывает обоснованные сомнения предложенная авторами физическая модель процессов, протекающих в сушильно-нагревательном барабане. Вполне возможно допустить повышение температуры торфа по сравнению с минеральными материалами. Однако это может относиться только к мелкодисперсным частицам торфа, находящимся в потоке горячих газов, и не имеет отношения к более крупным частицам, находящимся в смеси с минеральными материалами. А их количественной оценки не проводилось.

Далее, при температуре 200–300 °С действительно происходит возгорание торфа, однако его полное сжигание с образованием минерального остатка (золы) будет происходить только при достаточном объеме кислорода в зоне горения. Вероятнее всего, таких условий в барабане создаваться не будет и основную массу твердой фракции будет составлять компонент, близкий по своим свойствам к торфяному бертинату. Авторы [14] сделали предположение, что диспергирование торфа при перемешивании будет способствовать ускорению процессов горения и окончания его температурной деструкции, но все же окислительный фактор здесь будет определяющим. В связи с этим тезис о полной замене функций минерального порошка торфяной золой также дискуссионен.

И наконец, частичная конденсация (адсорбция) ингредиентов продуктов термолитиза на поверхностях минеральных компонентов ЩМА возможна только до температуры 200 °С. А при дальнейшем увеличении температуры до 300 °С эффективность гидрофобизации минеральных частиц за счет адсорбции торфяных битумов будет минимальной [15].

Тем не менее позитивный эффект применения торфяных наполнителей при производ-

стве ЩМА не вызывает сомнения. Здесь, по всей вероятности, основную роль будет играть сорбционная емкость торфяных частиц различной степени термоактивации, которые сами будут удерживать битум и способствовать его удержанию на поверхности минеральных компонентов ЩМА. В этой связи необходимо отдавать предпочтение низкоразложившимся видам верхового торфа с получением из него сыпучего волокнистого материала либо сферических или цилиндрических гранул. Верховой торф с высокой и средней степенью разложения, как правило, отличается достаточно высоким содержанием битумных компонентов в составе органического вещества. Это также является позитивным фактором, однако объемы добычи такого торфа в нашей стране и за рубежом относительно невысоки. Тем не менее предварительные расчеты показывают ожидаемую стоимость модифицирующих добавок из торфа в диапазоне 15–25 руб. за килограмм, что в 2–6 раз ниже представленных на рынке.

Экспериментальный образец дисперсной комплексной стабилизирующей гидрофобно-модифицирующей добавки обладает следующими характеристиками: относительная влажность – не более 12%, термостойкость при температуре 220 °С – не более 10%, суммарное содержание волокнистой части (целлюлоза, лигнин и т. п.) длиной от 0,1 до 5,0 мм – не менее 70%. Волокнистая часть (рис. 2) обладает ленточной структурой, однородна, не содер-



Рис. 2. Фото дисперсной комплексной стабилизирующей гидрофобно-модифицирующей добавки на основе торфа в ЩМА

Fig. 2. Photo of a dispersed complex stabilizing hydrophobic-modifying additive based on peat in SMA



Рис. 3. Фото гранулированных комплексных стабилизирующих гидрофобно-модифицирующих добавок на основе торфа в ЩМА: цилиндрические гранулы (слева); сферические гранулы (справа)

Fig. 3. Photos of granular complex stabilizing hydrophobic modifying additives based on peat in the SMA: cylindrical granules (left); spherical granules (right)

жит посторонних конгломератов и других включений.

Комплексная торфяная стабилизирующая гидрофобно-модифицирующая добавка способна сорбировать и удерживать битум в технологическом температурном диапазоне, используемом при производстве асфальта. Она оказывает положительное воздействие на вяжущие и другие компоненты асфальтной смеси. Кроме того, гидрофобно-модифицирующая добавка обеспечивает активацию вяжущего за счет присутствия в ее составе поверхностно-активных веществ. Повышенное содержание активированного битума в составе щебеночно-мастичных асфальтобетонов по сравнению с обычным асфальтобетоном позволяет при незначительном увеличении стоимости полностью компенсировать издержки за счет надежности и долговечности качественного дорожного покрытия.

В работе [17] приведено описание технологической схемы по комплексной переработке торфяного сырья с получением широкого спектра гидрофобно-модифицирующих добавок. В ней достаточно большое внимание уделено использованию в ЩМА отходов промышленного производства. Такой подход вызван тем, что их образуется более 50% от общего количества исходного торфяного сырья. Получаемые отходы являются высококачественной модифицирующей добавкой в ЩМА, поскольку в них преобладают частицы с большой целлюлозной и лигнинной составляющей.

Экспериментальные образцы (рис. 3) гранулированных гидрофобно-модифицирую-

щих добавок представляют собой цилиндрические или сферические гранулы диаметром до 5 мм, получаемые методом экструзии или окатывания. Они обладают всеми вышеуказанными физико-техническими характеристиками и таким же групповым химическим составом.

Применение того или иного способа грануляции определяется технико-экономическими показателями, а также прочностными характеристиками частиц добавки. Как правило, сферические гранулы, получаемые методом окатывания, имеют более низкую прочность, поэтому они достаточно легко разрушаются в сушильно-нагревательном барабане при физическом контакте с минеральными компонентами ЩМА и распределяются в объеме материала. Разрушение цилиндрических гранул будет происходить при более высоких нагрузках, и это надо учитывать при оптимизации дозировки компонентов и выборе их размеров (гранулометрического состава).

Таким образом, основная часть представленных на рынке стабилизирующих добавок производится на основе целлюлозных волокон и модифицированного битума. Доля других видов модификаторов из резины, полимеров, асбеста и базальта относительно невелика. Перспективным является научно-техническое направление по получению гидрофобно-модифицирующих добавок и использованию их в рецептурах щебеночно-мастичных асфальтобетонов по сочетанию факторов «цена – качество».

Библиографический список

1. Мухаметханов А.М. Способ получения стабилизирующей добавки для щебеночно-мастичной асфальтобетонной смеси / А.М. Мухаметханов, О.К. Нугманов, В.И. Гаврилов // Вестник Казан. технол. ун-та. – 2010. – № 6. – С. 204–210.
2. Нугманов О.К. Целлюлоза. Начало нашей эры / О.К. Нугманов, Н.А. Лебедев // Химический журнал. – 2009. – № 12. – С. 30–33.
3. Мухаметханов А.М. Стабилизирующая добавка для щебеночно-мастичной асфальтобетонной смеси и способ ее получения на основе травяной полуцеллюлозы / А.М. Мухаметханов, О.К. Нугманов // Дорожно-транспортный комплекс: состояние и перспективы развития: сбор. докл. и сообщ. III межрегиональной науч.-практич. конф. Чебоксары, апрель 2009 г. – Чебоксары: Волжский филиал МАДИ (ГТУ), 2009. – С. 54–56.
4. Мухаметханов А.М. Отработка способа получения полуцеллюлозы на основе льняного сырья / А.М. Мухаметханов, О.К. Нугманов // Научному прогрессу – творчество молодых: сбор. докл. и сообщ. международной науч. студенческой. конф. по естественно-научным и техническим дисциплинам. Йошкар-Ола, апрель 2008 г.: ч. 1. – Йошкар-Ола: МарГТУ, 2008. – С. 119–120.
5. Stone Mastic Asphalt URL: <https://www.breedongroup.com/products-and-services/ie/our-products/asphalt/stone-mastic-asphalt> (дата обращения: 03.05.2023).
6. Способ получения полуцеллюлозы [текст]: пат. 2343240 Рос. Федерация: МПК7 D 21 C 5/00, D 21 C 1/06, D 21 B 1/16, D 01 C 1/02 / Нугманов О.К.; заявитель и патентообладатель ООО «НПО «Нефтепромхим». – № 2007115320/12; заявл. 12.04.07; опубл. 10.01.09. Бюл. № 14 (II ч.). – 3 с.: ил.
7. Кларк Дж. Технология целлюлозы / Дж. Кларк. – М.: Лесная промышленность, 1983. – С. 221–222.
8. Стабилизатор для щебеночно-мастичного асфальтобетона [пат]: пат. 2348662 Рос. Федерация, МКП7 C 08 L 1/02, C 08 L 23/12, C 04 B 16/02, C 04 B 16/06 / Киселев М.А.; заявитель и патентообладатель ООО «Фирма «ГБЦ». – № 2007107626/04; заявл. 28.02.07; опубл. 10.03.09. Бюл. № 14 (II ч.). – 3 с.
9. Integrating Cellulose Fibers to Asphalt Pavement Mixtures // South Dakota State University URL: <https://www.newswise.com/articles/integrating-cellulose-fibers-to-asphalt-pavement-mixtures> (дата обращения: 03.05.2023).
10. Рыбьев И.А. Строительные материалы на основе вяжущих веществ. – М.: Высш. шк., 1978. – 310 с.
11. Будниченко С.С. Применение торфа как активизирующей добавки в асфальтобетоне / С.С. Будниченко, Я.Н. Ковалев // Строительная наука и техника. – 2009. – № 3. – С. 12–16.
12. Будниченко С.С. Применение торфа в асфальтобетоне / С.С. Будниченко, Я.Н. Ковалев // Автомобильные дороги и мосты. – 2010. – № 1. – С. 59–66.
13. Будниченко С.С. Активация минеральных материалов при производстве асфальтобетонных смесей / С.С. Будниченко, Я.Н. Ковалев // Автомобильные дороги и мосты. – 2010. – № 2. – С. 31–38.
14. Будниченко С.С. Новые методы активации минеральных заполнителей асфальтобетона / С.С. Будниченко, Я.Н. Ковалев // Наука и техника. – 2012. – № 5. – С. 55–58.
15. Мисников О.С. Физико-химические основы гидрофобизации минеральных вяжущих материалов добавками из торфяного сырья // Теоретические основы химической технологии. – 2006. – Т. 40. – № 4. – С. 455–464.
16. Будниченко С.С. Дорожный асфальтобетон на основе торфоактивированных минеральных заполнителей и стабилизирующей торфодобавки: автореф. дис. ... канд. тех. наук. – Минск, 2015. – 25 с.
17. Misnikov O.S. Technological Scheme of Complex Peat Processing for Obtaining Multifunctional Hydrophobic and Hydrophilic Powders // E3S Web of Conferences «Vth International Innovative Mining Symposium». – 2020. – Vol. 174. – P. 01024.

УДК 629.113

Петров А.А.

Петров Александр Александрович, конструктор-изобретатель болотно-шагающих технологических машин, лауреат Всероссийского конкурса «Инженер года», внештатный научный сотрудник кафедры технологических машин и оборудования, Тверской государственный технический университет, Тверь, Академическая, 12, tverotk@mail.ru

Зюзин Б.Ф.

Зюзин Борис Федорович, д. т. н., профессор, лауреат Премии Правительства Российской Федерации в области науки и техники, заведующий кафедрой технологических машин и оборудования, Тверской государственный технический университет, Тверь, Академическая, 12, zbfu@yandex.ru

СВОЙСТВА И ПОКАЗАТЕЛИ ПРОХОДИМОСТИ БОЛОТОХОДНЫХ ШАГАЮЩИХ МАШИН ПРИ ПЕРЕДВИЖЕНИИ ПО НЕОСУШЕННЫМ ТОРФЯНЫМ БОЛОТАМ

Аннотация. В статье отражена проблема создания высокопроходимых болотоходных машин для их применения в условиях неосушенных торфяных болот, приведены требования, которые должны предъявляться к таким машинам в указанных условиях, в том числе их способность эффективно передвигаться не только по деятельному слою (по трясине), но и во внедорожных условиях (на подступах к болотам) и по открытым водным участкам (по водным окнам в мочажинах и по небольшим озерам). На основании критического анализа критериев оценки проходимости болотоходных машин приведена структура понятия проходимости болотоходного шагающего движителя при его передвижении по неосушенному торфяному болоту, включающая основные свойства и показатели проходимости.

В соответствии с указанной структурой при изучении и оценке проходимости болотоходных шагающих машин целесообразно в совокупности рассматривать их опорные и тягово-цепные свойства, поворотливость, способность в преодолении пре-

Petrov A.A.

Petrov Alexander A., designer and inventor of mire-walking technological machines, freelance researcher at the Chair of Technological Machines and Equipment of the Tver State Technical University, Tver, Akademicheskaya, 12, tverotk@mail.ru

Zyuzin B.F.

Zyuzin Boris F, Dr. Sc., Prof., Head of the Chair of Technological Machines and Equipment of the Tver State Technical University, Tver, Akademicheskaya, 12, zbfu@yandex.ru

PROPERTIES AND INDICATORS OF PATENCY OF MIRE- WALKING MACHINES WHEN MOVING THROUGH THE UNDRIED PEAT MIRES

Abstract. The article reflects the problem of creating high-passable mire-walking machines for their use in conditions of undried peat mires, the requirements that should be imposed on such machines in these conditions, including their ability to move efficiently not only through the active layer (through the quagmire), but also in off-road conditions (on the approaches to mire) are given and on open water areas (on water windows in holes and on small lakes). On the basis of a critical analysis of the criteria for assessing the patency of mire-walking machines, the structure of the concept of patency of a mire-walking mover when it moves through an undrined peat mire, including the main properties and indicators of patency, is introduced.

In accordance with this structure, when studying and evaluating the patency of mire-walking machines, it is advisable to collectively consider their supporting and traction properties, agility, ability to overcome obstacles, as well as buoyancy and stability. At the same time, the most important properties of buoyancy and stability and their evaluation indicators are described in the most detail, as well as the calculation methodology and

пятствий, а также плавучесть и остойчивость. При этом наиболее подробно изложены, как наиболее важные, свойства плавучести и остойчивости и показатели их оценки, а также приведена методика расчета и расчет поперечной остойчивости шагающего болотохода.

Ключевые слова: болотоходная шагающая машина, шагающий болотоход, неосушенное торфяное болото, оценка проходимости машин, структура понятия проходимости, свойства проходимости, показатели проходимости, плавучесть, остойчивость.

Проблема разработки болотоходных машин

Рассмотрение геоботанических и стратиграфических особенностей торфяных болот показывает, что они в большинстве своем являются болотами верхового типа.

При этом значительная их территория, особенно в Западной Сибири, занята сильнообводненными и труднопроходимыми грядово-озерными и грядово-мочажинными комплексами.

Из характеристики болот, изучением которых занимались ученые С.Н. Тюремнов, И.Ф. Ларгин, Л.С. Амарян, Е.Т. Базин и многие другие, следует, что грядово-озерный комплекс состоит из гряд, которые чередуются с озерами.

Озера имеют ширину 5–10 м и более, а длину – несколько десятков метров.

А для грядово-мочажинного комплекса кроме высокой влажности торфяной залежи характерен сильно расчлененный рельеф, состоящий из удлиненных гряд (бугров) и разделенных ими вытянутых мочажин (межбугровых понижений).

В соответствии с макроструктурной схемой профессора Л.С. Амаряна наиболее сложными по проходимости являются сильнообводненные торфяные залежи I и II типов [1].

Представителями торфяной залежи I типа являются задернованные озера или сплавины, деятельный слой которых расположен на водяной линзе или слое сапропеля.

Представителями торфяной залежи II типа являются мочажины, которые на отдельных участках могут быть незаросшими.

Сильнообводненные торфяные болота имеют слабую несущую способность, высокую влажность (96% и более) и являются непроходимыми для большинства колесных и гусеничных машин, выполненных в болотном исполнении.

calculation of the transverse stability of a floating mire walker are given.

Keywords: mire-walking machine, undrilled peat mire, assessment of the patency of machines, the structure of the concept of patency, patency properties, patency indicators, buoyancy, stability.

Гусеничные и колесные болотоходные машины вязнут и тонут в болотах с указанными выше грядово-мочажинными и грядово-озерными комплексами растительности, а вездеходы, которые обладают плавучестью, могут передвигаться по растительному покрову болота, но при его разрушении (прорыве) теряют свою проходимость из-за недостаточного сцепления их движителей с болотной почвой [2].

При разработке высокопроходимых болотоходных машин, в том числе с шагающим движителем, конструкторам следует ориентироваться не только на наиболее распространенные и наиболее сложные по проходимости сильнообводненные торфяные залежи, соответствующие I и II типам в соответствии с макроструктурной схемой профессора Л.С. Амаряна, которые характеризуются наличием деятельного слоя, покоящегося на разжиженном слое торфа, не обладающего заметной связностью, или на слое связанной влагонасыщенной залежи, которая по своим механическим свойствам приближается к грунтовой массе.

Исходя из рассматриваемых условий, конструкторам следует также ориентироваться и на возможность их передвижения по открытым водным участкам.

Исходя из физико-механических свойств сильнообводненной торфяной залежи к болотоходным машинам, в том числе шагающим, наряду с общими требованиями должен предъявляться ряд специфических требований, характеризующих их проходимость, в том числе требования обеспечения плавучести и остойчивости [2].

Таким образом, проблема создания высокопроходимых болотоходных машин, способных эффективно передвигаться и работать на сильнообводненных торфяных болотах и

обладающих свойствами плавучести и устойчивости, не потеряла своей актуальности.

Напротив, она в настоящее время становится более значимой, особенно с началом проведения широких работ по рекультивации нефтезагрязненной поверхности неосушенных болотных почв, а также с началом широкого освоения труднопроходимых болот, в недрах которых находятся не только значительные запасы торфа, но и крупные запасы нефти и газа.

Критерии оценки проходимости болотоходных машин

Понятие проходимости болотоходных машин связано с оценкой их способности передвигаться и выполнять полезную работу в условиях деформируемого торфяного грунта на заданных скоростях движения.

Вопросы проходимости болотоходных машин с традиционными колесным и гусеничным движителями при их передвижении по осушенной торфяной залежи изложены в многочисленных работах Ф.А. Опейко, С.Г. Солопова, С.С. Корчунова, Л.С. Амаряна, М.В. Мурашова, В.А. Скотникова, М.М. Танклевского и других ученых.

Взаимодействию движителей болотоходных машин с неосушенным торфяным болотом (торфяной залежью) посвящено небольшое количество работ.

Одним из критериев оценки проходимости машин по торфяной залежи невзирая на степень ее осушенности является показатель ее несущей способности, то есть способности выдерживать вертикальные нагрузки от воздействия ходовых устройств.

Иными словами, под несущей способностью торфяной залежи понимают наибольшее давление движителя на грунт P_A , при котором еще не происходит его полного провала [3, 4].

Выбор допускаемого давления на грунт определяется прочностью поверхностного слоя залежи. С увеличением давления и деформации возрастает энергия, затрачиваемая на преодоление сопротивления мятию грунта, поэтому выгодно уменьшать давление, увеличивая опорную площадь движителя, насколько это представляется возможным. Экспериментальное определение допускаемого давления на грунт и наблюдения за поведением машин позволили обнаружить, что на несущую способность влияют физико-механические свойства грунта, а также форма и размер опорной части движителя [4].

Профессор А.Д. Далин в качестве показателя для оценки проходимости машин по критерию несущей способности грунта для верховой неосушенной залежи рекомендует допускаемое давление 10 кПа, для низинной неосушенной залежи – 15 кПа, для верховой осушенной залежи – 20–25 кПа, для низинной осушенной залежи – 25–30 кПа [5].

Однако пользоваться данными А.Д. Далина затруднительно, так как неизвестно, при какой площади опорной поверхности рекомендуемое давление соответствует действительному состоянию грунта.

Профессор С.С. Корчунов, исследуя несущую способность низинной торфяной залежи вдавливанием штампов различной формы, установил, что торф под нагрузкой работает на сжатие и срез. При этом полная осадка залежи происходит после ее среза.

Таким образом, нагрузка на штамп или вес движителя G могут быть выражены формулой:

$$G = A_0 \cdot F + B_0 \cdot \Pi,$$

где A_0 – сопротивление торфа сжатию; B_0 – сопротивление торфа срезу по периметру штампа; Π – периметр штампа; F – площадь штампа.

А предельное значение давления, или несущая способность залежи будет равна:

$$P_A = A_0 + B_0 \cdot \Pi / F.$$

Осадку залежи h под опорной поверхностью выражается уравнением:

$$h = -k \cdot \ln [(1 - P / (A_0 + B_0 \cdot \Pi / F))].$$

где P – давление на грунт; k – коэффициент, характеризующий деформируемость торфяной залежи.

Эта зависимость показывает, что вдавлению штампа противодействуют сопротивление торфа сжатию и среза, а с увеличением отношения периметра штампа к площади несущая способность залежи увеличивается.

Профессор Ф.А. Опейко на основании анализа уравнения С.С. Корчунова подчеркивает высокую точность его опытов, но замечает, что относительная сложность уравнения явилась результатом желания автора охватить опытные точки общим уравнением на всем диапазоне изменения давлений [6].

Усматривая из опытных данных, что при давлении в пределах 0–30 кПа наблюдается пропорциональность давления деформации

грунта, Ф.А. Опейко предложил ограничиться для рабочего участка расчетным уравнением:

$$P = \bar{P} \cdot \frac{\Pi}{F} \cdot h,$$

где \bar{P} – среднее давление при $\Pi h = F$.

Для выяснения механического смысла множителя \bar{P} Ф.А. Опейко приводит формулы, выражающие зависимость деформации упругого полупространства от среднего сжимающего напряжения под жестким цилиндрическим штампом радиуса R :

$$h = \frac{1 - \mu^2}{2} \cdot \frac{Q}{RE}; Q = \pi R^2 \cdot P,$$

$$\text{откуда: } P = \frac{2E}{\pi (1 - \mu^2)} \cdot \frac{h}{R},$$

где E – модуль Юнга упругого полупространства; μ – коэффициент Пуассона; Q – усилие сжатия штампа.

Но для круга $\frac{2}{R} = \frac{2\pi R}{\pi R^2} = \frac{\Pi}{F}$, поэтому

предыдущую формулу для круглого штампа Ф.А. Опейко приводит к виду:

$$P = \frac{E}{\pi (1 - \mu^2)} \cdot \frac{\Pi \cdot h}{F}.$$

Таким образом, $\bar{P} = \frac{E}{\pi (1 - \mu^2)}$.

На основании проведенных расчетов Ф.А. Опейко установлено, что множитель \bar{P} при малых деформациях меняется незначительно, что свидетельствует о высокой точности опытов С.С. Корчунова и дает основание рекомендовать формулу для круглого штампа $P = f(h)$ также для опорных площадей, отличных от круга, но имеющих одинаковые размеры в двух взаимно перпендикулярных направлениях.

Заменив отношение $\frac{\Pi}{F}$ для прямоугольника выражением $\frac{1}{4} \sqrt[3]{L \cdot b^2}$, Ф.А. Опейко придает рассматриваемой формуле окончательный вид:

$$P = \frac{4E}{\pi (1 - \mu^2)} \frac{h}{\sqrt[3]{L \cdot b^2}},$$

где L и b – размеры прямоугольного штампа, причем $L > b$.

Предложенное уравнение согласуется с теорией упругого полупространства и содержит

общепринятые характеристики упругости деформируемого тела.

Формула, полученная Ф.А. Опейко, позволяет определить допустимое давление в пределах пропорциональности, если известны допустимая деформация грунта, размеры опорной площади и постоянные E и μ торфяной залежи.

А.Г. Гинцбург, исследуя распределение опытных точек и сопоставляя явления, сопровождающие осадку штампа, пришел к выводу, что зависимость $h = f(P)$, предложенную С.С. Корчуновым, можно выразить в виде ломаной прямой линии с точками A и B , которым соответствуют критические давления P_A и P_B [7].

Точки A и B указывают не только на количественные, но и на качественные изменения характера деформации.

При давлении P_A в коре залежи по периметру штампа появляются видимые трещины. Если $P < P_A$, то допускается многократное движение машины по следу.

При давлении P_B штамп тонет, а при значениях $P_A < P < P_B$ при прохождении машины в залежи появляется глубокий исчезающий след, по которому повторное движение недопустимо.

Давление P_A называют пределом длительной несущей способности, а P_B – пределом временной несущей способности.

При определении давлений P_A и P_B можно пользоваться эмпирическими формулами:

$$P_A = 0,4 + 3,75 \frac{\Pi}{F}; P_B = 0,4 + 9 \frac{\Pi}{F},$$

где давление измеряется в $[\text{кг}/\text{см}^2]$, периметр штампа в $[\text{см}]$, а его площадь в $[\text{см}^2]$.

Чтобы обеспечить гарантированную проходимость торфяных машин по торфяной залежи, максимально допустимые давления принимают на 25–30% меньше предела длительной несущей способности, т. е.:

$$[P] = \left(\frac{2}{3} \div \frac{3}{4}\right) P_A.$$

Осадка штампа (h) может быть вычислена по формуле

$$h = \frac{P}{k},$$

где k – коэффициент упругости залежи, зависящий от площади штампа.

Для залежи эксплуатационной влажности величину коэффициента упругости принимают равной:

$$k = \frac{6,8}{\sqrt{F}}, \text{ кг/см}^3.$$

Однако для учета разнообразия торфяных залежей и изменения их прочности, например, в процессе осушения, необходимо определять коэффициенты, учитывающие механические свойства залежи в каждом конкретном случае.

Для оценки проходимости движителей по заболоченной местности Л.Н. Павловым под руководством Л.С. Амаряна при исследовании торфов слабой, средней и сильной степеней разложения, а также заторфованных грунтов в районе г. Нижневартовска Тюменской области получены следующие эмпирические зависимости по определению первой P_A и второй P_B критических нагрузок [8].

Первая критическая нагрузка для всех исследуемых торфяных грунтов:

$$P_A = A_{q1} \cdot \bar{q} + B_{\tau1} \cdot \bar{\tau} \cdot \frac{\Pi}{F}.$$

Вторая критическая нагрузка для торфа слабо-разложившегося и среднеразложившегося:

$$P_B = A_{q2} \cdot \bar{q} + B_{\tau2} \cdot \bar{\tau} \cdot \frac{\Pi}{F}.$$

Вторая критическая нагрузка для торфа сильно-разложившегося и для заторфованных грунтов:

$$P_{B1} = A_{q2} \cdot \bar{q} + B_{\tau2} \cdot \bar{\tau} \cdot \frac{\Pi}{F} + \bar{\tau}.$$

В этих зависимостях коэффициент A_q представляет собой отношение сопротивления торфа сжатию под штампом к сопротивлению грунта погружению конуса зонда; B_τ – отношение сопротивления торфа срезу по периметру штампа к сопротивлению вращательному срезу по крыльчатке; \bar{q} – средневзвешенное значение сопротивления грунта погружению конуса зонда по глубине залежи; $\bar{\tau}$ – средневзвешенное значение сопротивления грунта вращательному срезу по глубине залежи; Π – периметр штампа; F – площадь штампа.

Влажность грунтов, изучаемых Л.Н. Павловым, колебалась в пределах от 280 до 1400%, сопротивление погружению конуса – от 40 до

500 кПа, предельное сопротивление грунта сдвигу – от 3 до 40 кПа.

Приведенные выше зависимости, по мнению Л.Н. Павлова, позволяют обоснованно оценивать проходимость техники по заболоченной местности с учетом коэффициентов A_{q1} , A_{q2} , $B_{\tau1}$ и $B_{\tau2}$ (табл. 1).

Таблица 1. Коэффициенты, входящие в эмпирические зависимости Л.Н. Павлова

Table 1. Coefficients included in the empirical dependences of L.N. Pavlov

Грунт	A_{q1}	A_{q2}	$B_{\tau1}$	$B_{\tau2}$
Слаборазложившийся торф	0,05	0,12	12	35
Среднеразложившийся торф	0,10	0,18	10	30
Сильно-разложившийся торф и заторфованный грунт	0,15	0,20	8	10

Следует отметить, что коэффициенты A_{q1} , A_{q2} , $B_{\tau1}$ и $B_{\tau2}$ даны вне зависимости от влажности, хотя ее величина оказывает влияние на проходимость машин.

Кроме того, формулы Л.Н. Павлова не учитывают плавучесть деятельного слоя и выталкивающую силу воды, действующую на штамп.

Созданные Л.С. Амаряном портативные приборы типа СК позволили провести широкие исследования прочностных свойств торфяных залежей в естественном залегании [1].

При этом для оценки проходимости машин Л.С. Амаряном предложена такая классификация прочностных свойств торфяной залежи, в основу которой положена величина сопротивления сдвигу.

Для предварительной оценки проходимости машин торфяная залежь разбита Л.С. Амаряном на следующие интервалы:

- $\tau = 2-6$ кПа – непроходимая залежь;
- $\tau = 6-8$ кПа – мало-проходимая залежь;
- $\tau = 8-12$ кПа – проходимая залежь;
- $\tau > 12$ кПа – устойчивая залежь.

Приведенные значения величины сопротивления сдвигу τ относятся ко всей торфяной залежи, а не к ее верхнему слою, от прочности которого в значительной степени зависит проходимость машин.

Понятие «проходимость машины» является довольно широким.

Многие авторы считают недостаточным оценивать проходимость машин только одним допускаемым давлением.

В самом деле, на сильнодеформируемых грунтах с увеличением осадки давление движителя на грунт для колесного хода снижается, а проходимость, между тем, ухудшается, что является своего рода парадоксом.

Определенный интерес в связи с этим представляет методика сравнительного анализа ходовых устройств по условиям проходимости, разработанная М.М. Танклевским [9].

По этой методике устанавливается ряд основных требований к проходимости, которым должен удовлетворять движитель.

По условной шкале оценивается степень удовлетворения каждого требования движителю и находится обобщенный критерий совершенства K_c по определенной формуле.

Чем ниже величина K_c , тем более пригоден движитель для конкретного класса машин.

Однако значительное несоответствие движителя хотя бы одному из оценочных признаков сводит на нет его другие достоинства, определяемые остальными показателями, что означает непригодность движителя для данных условий.

Развивая дальше вопросы теории проходимости, С.С. Корчунов, О.Н. Абакумов и В.Г. Селеннов предложили комплексный показатель оценки проходимости движителей на торфяной залежи (P_0) [10]:

$$P_0 = \sqrt[3]{P_{н.с.} \cdot P_{сц} \cdot P_x} = \sqrt[3]{\left(1 - \frac{P'}{P_0}\right) \cdot \left(1 - \frac{P_{п}}{P_{сц}}\right) \cdot \left(1 - \frac{N_{п}}{N_x}\right)},$$

где $P_{н.с.}$ – показатель проходимости по несущей способности залежи; $P_{сц}$ – показатель проходимости по сцеплению движителя с основанием; P_x – показатель проходимости по установленной мощности двигателя; P' – среднее давление под опорной поверхностью; P_0 – несущая способность (допускаемое давление); $P_{п}$ – сила сопротивления передвижению; $P_{сц}$ – сила сцепления движителя с основанием; $N_{п}$ – мощность, затрачиваемая на передвижение; N_x – установленная для передвижения мощность.

На основании вышеприведенной формулы, характеризующей комплексный показатель проходимости, под понятием «проходимость» для болотоходной гусеничной машины следует понимать возможность ее движения по заданному маршруту, которая обеспечивается, когда:

- несущая способность основания превышает среднее давление под опорной поверхностью движителя;

- сцепление движителя с основанием больше сопротивления движению;
- установленная для передвижения мощность превышает ее затраты на движение.

Для увеличения комплексного показателя проходимости P_0 надо стремиться к увеличению каждого из входящих в него показателей.

При выполнении двух последних условий проходимость оценивается по несущей способности залежи $P_{н.с.}$.

Категория проходимости в этом случае определяется по величине $P_{н.с.}$ согласно табличным данным (табл. 2).

Таблица 2. Определение категории проходимости торфяной залежи по ее несущей способности

Table 2. Determination of the category of patency of a peat deposit by its bearing capacity

Величина $P_{н.с.}$	Категория проходимости
<0,3	Проходимость отсутствует
0,3–0,5	Плохая проходимость
0,5–0,75	Удовлетворительная проходимость
>0,75	Хорошая проходимость

При использовании рассматриваемого метода оценки проходимости движителя определенные сложности представляет определение величины несущей способности торфяной залежи.

Исследуя особенности неосушенной торфяной залежи, А.С. Амарян, И.Ф. Ларгин и Е.Т. Базин предложили ее несущую способность определять по сопротивлению деятельного слоя растяжению, без учета сопротивления сжатию нижележащих слоев грунта [1].

Некоторые исследователи в качестве одного из показателей оценки проходимости выделяют величину буксования движителя.

Из наблюдения за поведением болотоходных машин следует, что одни из них имеют относительно низкое давление, но вязнут и тонут в болоте, так как не обладают достаточной плавучестью, другие находятся на плаву, но не могут передвигаться из-за недостаточного сцепления ходовой части с грунтом и высокого буксования, достигающего 100%.

По мнению В.И. Персикова, при оценке проходимости движителей в условиях сильнообводненной торфяной залежи необходимо учитывать кроме прочностных свойств деятельного слоя еще и взвешивающее воздействие жидкой фазы [11].

Дальнейшее свое развитие эта идея получила у В.К. Кириллова [12].

Исследования В.И. Персикова и В.К. Кириллова показали, что на неосушенной торфяной залежи основными оценочными показателями проходимости для колесного движителя, колеса которого представляют собой арочные шины низкого давления, являются сила сцепления, сила сопротивления передвижению и глубина погружения колес. Колесный движитель на арочных шинах с радиусом колеса R_k при осадке в грунт, равной $1,04 \cdot R_k - 1,2 \cdot R_k$, теряет проходимость на неосушенной торфяной залежи из-за полного буксования, так как сопротивление ее передвижению превышает сцепление движителя с грунтом.

Кроме того, в это время происходит нарушение деятельного слоя грунта с образованием трещин и разрывов.

По мнению В.А. Скотникова, при оценке проходимости болотоходной машины рекомендуется определять его опорные и тягово-сцепные свойства, а также оценивать поворотливость и другие свойства [13].

Ю.С. Роффе считает, что проходимость болотоходных машин на неосушенной торфяной залежи не определяется только запасом давления на грунт.

Критерием оценки проходимости должен быть показатель плавучести [14].

Плавучесть болотоходной машины, по мнению Ю.С. Роффе, может быть обеспечена только в том случае, если ее плавучая часть будет заключена непосредственно в движителе, например в гусеницах.

По аналогии с вышеприведенным комплексным показателем Π_0 по оценке проходимости движителей на торфяной залежи, предложенным С.С. Корчуновым, О.Н. Абакумовым и В.Г. Селенновым [10], В.Н. Александров на основании своих исследований [15] предлагает в условиях сильнообводненной торфяной залежи верхового типа производить оценку проходимости шагающего движителя в соответствии со спецификой его движения по комплексному показателю Π'_0 по формуле:

$$\Pi'_0 = \sqrt{\left(1 - \frac{N_{\Pi}}{N_x}\right) \cdot \left(1 - \frac{P_{\Pi}}{P_{\text{сц}}}\right) \cdot \left(1 - \frac{A}{P}\right) \cdot \left(1 - \frac{\beta}{2\alpha}\right)},$$

где A – выталкивающая сила жидкой фазы, действующая на шагающий движитель; P – сила тяжести шагающего движителя; α – угол скоса средней опоры (конструктивный пара-

метр); β – угол смещения средней опоры под воздействием поворачивающего момента; а параметры N_{Π} , N_x , P_{Π} , $P_{\text{сц}}$ расшифрованы выше в формуле С.С. Корчунова и др., предложивших свой комплексный показатель проходимости (Π_0) [10].

Таким образом, в формулу С.С. Корчунова введены параметры P и A , учитывающие взвешивающее воздействие жидкой фазы, а также угловые величины α , β , характеризующие способность шагающей машины передвигаться на повороте.

При этом сила сцепления движителя с грунтом $P_{\text{сц}}$ в последней рассматриваемой формуле названа тангенциальной реакцией торфа.

В.Н. Александровым экспериментально установлено, что несущая способность сильнообводненной торфяной залежи влажностью 95% и выше обратно пропорциональна площади деформатора и не зависит от его периметра при предельном напряжении грунта на сдвиг τ менее 6 кПа.

При этом в формуле комплексного показателя проходимости Π'_0 отсутствует показатель проходимости по несущей способности залежи.

А на основании анализа формулы комплексного показателя проходимости Π'_0 предложена классификация верховой залежи по проходимости для шагающего движителя [15].

Производить оценку проходимости шагающего движителя по комплексному показателю проходимости (Π'_0) с практической точки зрения достаточно сложно в условиях сильнообводненной торфяной залежи из-за разнородности и изменчивости ее физико-механических свойств, а также из-за сложности вычисления угла смещения средней опоры β под воздействием поворачивающего момента, который зависит от нормального и касательного напряжения на днищах опор, геометрических размеров опор, коэффициента трения опор относительно грунта, коэффициента смещения центра поворота, определяемого по методике Н.А. Забавникова для гусеничных движителей, а также максимальной осадки опор в грунт и дорожного просвета [15].

При этом дорожный просвет переносимых опор не постоянен, а постепенно уменьшается от их носовой части к хвостовой (кормовой).

Анализ литературы показал отсутствие единого мнения относительно выбора пока-

зателя для оценки проходимости болотоходных машин с гусеничным, колесным и другими типами движителей, предназначенными для передвижения по неосушенной, а тем более сильнообводненной торфяной залежи, что обусловлено разнообразием конструкции их ходовой части и различными условиями эксплуатации.

Все приведенные выше основные критерии имеют право на существование, и их можно использовать с теоретической точки зрения для анализа и оценки проходимости болотоходных машин с конкретным типом движителя и в конкретных условиях.

Структура понятия проходимости болотоходной шагающей машины

Для обеспечения проходимости болотоходные шагающие машины должны успешно передвигаться не только по деятельному слою (по болотной трясине), но и на подступах к болоту во внедорожных условиях, преодолевая встречаемые на пути препятствия, а также по открытой водной поверхности сильнообводненного торфяного грунта.

Поэтому понятие проходимости болотоходных шагающих машин необходимо рассматривать как комплексное понятие, характеризующее их подвижность и эффективность использования в условиях неосушенных торфяных болот.

В структуру понятия проходимости болотоходных шагающих машин должны входить как общие свойства и показатели, рекомендуемые для оценки проходимости колесных и гусеничных машин, так и специфические, которые учитывают особенности проходимости нетрадиционного шагающего движителя в рассматриваемых условиях.

В соответствии с вышеизложенным при изучении проходимости болотоходных шагающих машин и оценке их проходимости целесообразно рассматривать их опорные и тягово-сцепные свойства, поворотливость, способность в преодолении препятствий, а также плавучесть и остойчивость.

При этом для эффективной и надежной работы болотоходной шагающей машины в условиях жидкого торфяного грунта, свойства которого близки к свойствам воды, два последние показателя (плавучесть и остойчивость) являются наиболее важными.

Основные свойства и показатели проходимости болотоходной шагающей машины, или

болотоходного шагающего движителя, могут быть представлены схематично (рис. 1).

Опорные свойства характеризуют несущую способность грунта в основании движителя и определяются средним и максимальным давлениями шагающих опор на грунт P_0 и P_{max} , коэффициентом смещения центра давления ν , размерами и формой опорной части движителя, максимальной осадкой опор h_{max} , периодом взаимодействия движителя с грунтом $t_{во}$ и другими показателями.

Указанные показатели опорных свойств P_0 , P_{max} , ν , $t_{во}$, а также коэффициент упругости k_y , характеризующий деформационные свойства (жесткость) грунта, определяют максимальную осадку движителя h_{max} – обобщенный показатель рассмотренных свойств.

Причем коэффициент смещения центра давления ν характеризует распределение давлений опор на грунт и осадку опор в грунт.

Чем меньше ν , тем равномернее при прочих равных условиях эпюра давлений под опорой (под опорами).

При прямоугольной эпюре давлений центр давления болотоходной шагающей машины располагается посередине опоры (опор), то есть смещение центра давления равно нулю. Изменяя положение центра давления, можно регулировать величину осадки и сопротивление движению машины от минимального значения до наибольшего при одном и том же среднем давлении.

При этом значение коэффициента упругости k_y , служащего для расчета давлений под опорами P_0 и P_{max} , осадки опор в грунт h и других показателей проходимости, приведено в литературе [16, 17].

А из зависимости времени взаимодействия опор с грунтом $t_{во}$ от теоретической скорости движения шагающего болотохода W_T следует, что при его рабочей скорости, например, 1,35 км/ч, или 0,376 м/с, средняя опора или сдвоенные боковые опоры взаимодействуют с грунтом всего лишь 5 секунд (рис. 2).

При увеличении скорости движения шагающей машины время взаимодействия опоры с грунтом $t_{во}$ становится еще меньше. Из-за малого времени взаимодействия опор с грунтом в процессе шагания влиянием величины $t_{во}$ на осадку h можно пренебречь.

Опорные свойства болотоходной шагающей машины в той или иной степени влияют на тягово-сцепные свойства и другие свойства проходимости.

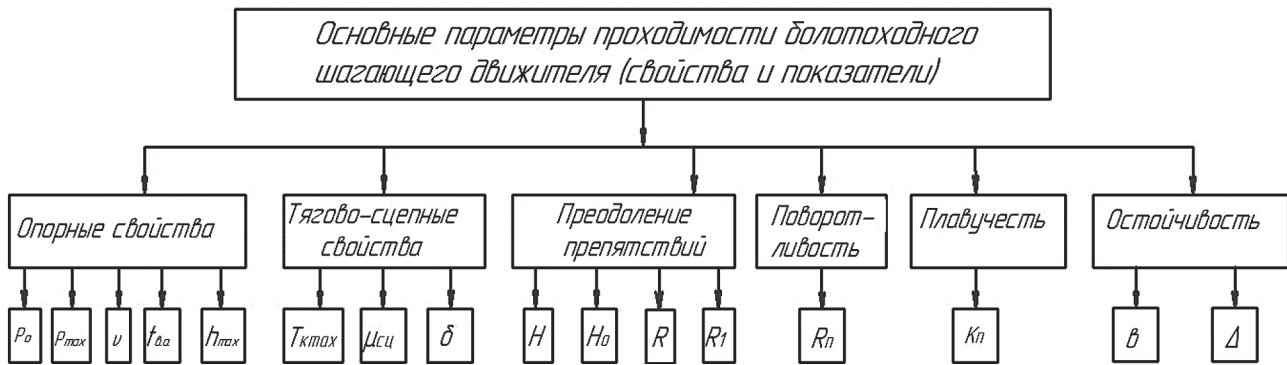


Рис. 1. Основные параметры проходимости болотоходного шагающего движителя (свойства и показатели) в условиях сильнообводненного торфяного болота: P_0 и P_{\max} – среднее и максимальное давления шагающих опор на грунт; ν – коэффициент смещения центра давления; $t_{\text{вo}}$ – время взаимодействия движителя с грунтом; h_{\max} – максимальная осадка опор в грунт; $T_{\text{кmax}}$ – максимальное тяговое усилие; $\mu_{\text{сц}}$ – коэффициент сцепления движителя с грунтом; δ – коэффициент буксования; H – высота подъема опоры в ее задней части (клиренс); H_0 – высота подъема опоры в ее передней части; R – радиус проходимости вдоль выпуклого цилиндрического препятствия; R_1 – радиус проходимости вдоль вогнутого цилиндрического препятствия; R_n – наименьший радиус поворота; k_n – относительный запас плавучести (коэффициент запаса плавучести); b – метacentрический радиус (метacentрическая высота); Δ – эксцентриситет

Fig. 1. The main parameters of the patency of a mire-walking mover (properties and indicators) in conditions of a heavily watered peat bog: P_0 and P_{\max} – average and maximum pressure of walking supports on the ground; ν is the coefficient of displacement of the center of pressure; $t_{\text{вo}}$ – the time of interaction of the mover with the ground; h_{\max} – the maximum draft of the supports into the ground; $T_{\text{кmax}}$ – the maximum traction force; $\mu_{\text{сц}}$ – the coefficient of adhesion of the mover with the ground; δ – the coefficient skidding; H – the height of lifting the support in its rear part (clearance); H_0 – the height of lifting the support in its front part; R – the radius of patency along convex cylindrical obstacle; R_1 – the radius of patency along the concave cylindrical obstacle; R_n – the smallest turning radius; k_n – relative buoyancy margin (buoyancy margin coefficient); b – metacentric radius (metacentric height); Δ – eccentricity

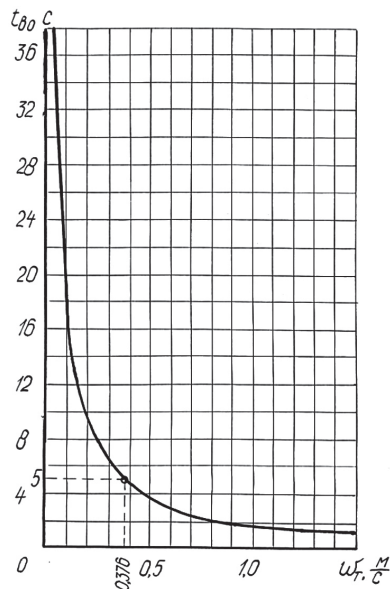


Рис. 2. Зависимость времени взаимодействия шагающей опоры (опор) с грунтом $t_{\text{вo}}$ от теоретической скорости движения шагающего болотохода W_t

Fig. 2. Dependence of the interaction time of the walking support (supports) with the ground $t_{\text{вo}}$ on the theoretical speed of the mire walker W_t

Обоснование рациональной формы опор шагающей болотоходной машины приведено в литературе [18, 19].

Тягово-сцепные свойства болотоходной шагающей машины оцениваются ее максимальным тяговым усилием $T_{\text{кmax}}$, а также коэффициентами сцепления $\mu_{\text{сц}}$ и буксования δ . Экспериментальные исследования тягово-сцепных свойств натурального образца шагающего болотохода в условиях неосушенной торфяной залежи верхового типа проведены с использованием метода тензометрии.

В результате тензометрических исследований получена серия осциллограмм с записью параметров машины без нагрузки и с нагрузкой на крюке, а также при полном буксовании.

Для шагающего болотохода получены зависимости коэффициента буксования δ от скорости передвижения W_t и тягового усилия на крюке T_k , а также зависимость коэффициента сцепления $\mu_{\text{сц}}$ от осадки h , которые аппроксимированы с помощью метода наименьших квадратов соответствующими эмпирическими формулами [20–22].

Эти формулы могут быть использованы в расчетах при определении силы сцепления неподвижной опоры с грунтом $T_{сц.н.}$, силы сопротивления передвижению переносимой опоры $T_{с.п.}$ и тягового усилия T_k на крюке.

Также установлено, что применение активных грунтозацепов с их автоматическим управлением значительно повышает тягово-сцепные свойства болотоходной шагающей машины, особенно в условиях сильнообводненного торфяного болота [23].

Под проходимость болотоходной шагающей машины по препятствиям следует понимать ее способность преодолевать встречаемые на пути неровности рельефа и древесную растительность при передвижении по болоту и во внедорожных условиях (на подступах к болоту). Преодоление препятствий шагающей машиной характеризуется ее способностью передвигаться во внедорожных условиях без создания «бульдозерного эффекта». Проходимость болотоходной шагающей машины по препятствиям зависит как от конструкции ее движителя, так и от характера препятствий, их размеров, формы и расположения. На способность преодолевать те или иные препятствия влияют такие конструктивные параметры шагающей машины, как высота подъема ее опоры в передней (носовой) части H_0 , высота подъема опоры в ее задней части H (клиренс), радиус проходимости вдоль выпуклого цилиндрического препятствия R , радиус проходимости вдоль вогнутого цилиндрического препятствия R_1 и ряд других параметров.

Результаты исследования основных свойств проходимости болотоходной шагающей машины по препятствиям и оценка проходимости по препятствиям приведены в литературе [24].

Поворотливость болотоходной шагающей машины – это ее способность изменять направление движения и описывать своими шагающими опорами при повороте траектории заданной кривизны (способность двигаться по криволинейному пути).

При повороте шагающая машина одновременно вращается вокруг своей вертикальной оси и движется по криволинейной траектории. Поворотливость оценивается наименьшим радиусом поворота R_{π} , при котором не происходит потери проходимости машины из-за существенного ухудшения тягово-сцепных свойств при повышенном буксовании. На поворотливость шагающей машины ока-

зывают влияние геометрические параметры ее опорной части, тяговое усилие на его крюке и другие нагрузки от рабочего оборудования, а также физико-механические свойства торфяной залежи.

Например, чем выше влажность залежи и ниже ее прочность, тем больше осадка опор в грунт, тем больше сопротивление повороту опор со стороны грунта и тем больше радиус поворота R_{π} .

Минимальный радиус поворота R_{π} болотоходной шагающей машины для сильнообводненной торфяной залежи верхового типа можно определять по теоретической формуле [15]:

$$R_{\pi} = \frac{L \cdot (1 - 0,5 \cdot \delta)}{2 \sin\left(\frac{2\alpha - \beta}{2}\right)},$$

где L – длина шага опоры.

Однако данная формула сложна для ее применения в практических расчетах из-за сложности определения угла смещения средней опоры β , о котором было сказано выше при рассмотрении показателя проходимости шагающего движителя Π'_0 .

Поэтому с практической точки зрения для приближенной оценки поворотливости болотоходной шагающей машины на неосушенной торфяной залежи с прочностью грунта на сдвиг 6 кПа и более при относительно малой величине буксования δ рекомендуется применение упрощенной формулы [25]:

$$R_{\pi} = \frac{1}{4} L \cdot \text{Ctg} \frac{\alpha}{2},$$

а при наличии буксования δ , которое возникает, например, за счет появления нагрузки на крюке, можно производить оценку поворотливости по формуле:

$$R_{\pi} = \frac{1}{4} L \cdot \frac{(100 - \delta)}{100} \text{Ctg} \frac{\alpha}{2}.$$

Исследованиями также установлено, что поворотливость болотоходной шагающей машины значительно возрастает, если в ее конструкции применить автоматическое устройство управления процессом поворота [26, 27].

Как было отмечено выше, болотоходные шагающие машины должны удовлетворять требованиям хорошей поворотливости, способности в преодолении встречаемых на пути препятствий и обладать высокими тягово-сцепными свойствами.

В условиях сильнообводненных торфяных болот такие машины наряду с прочими требованиями должны удовлетворять требованиям плавучести и устойчивости, что имеет особенно важное значение в рассматриваемых условиях [2].

Однако до появления в технике болотоходных машин, обладающих свойством плавучести, их создателями уделялось мало внимания рассмотрению этого свойства, а также рассмотрению свойства устойчивости.

Плавучесть болотоходной шагающей машины

Плавучесть болотоходной шагающей машины – это ее способность держаться на воде (плавать) при заданной нагрузке.

Плавучесть должна сохраняться и при нагружении машины.

Болотоходная шагающая машина в спокойном состоянии находится на воде в равновесии под действием двух сил: силы веса, направленной вертикально вниз, и силы давления воды на ее подводную часть, а именно на среднюю и боковые шагающие опоры. Сила давления направлена вертикально вверх.

Сила давления на подводную часть шагающей машины называется силой плавучести.

В соответствии с законом Архимеда сила плавучести, действующая на машину, равна весу воды, вытесненной ее шагающими опорами.

При рассмотрении плавучести шагающего болотохода к нему применимы основные понятия из теории плавания (рис. 3).

К ним относятся:

- плоскость плавания – плоскость свободной поверхности жидкости, пересекающая шагающие опоры;
- ватерлиния – линия пересечения плоскости плавания и поверхности шагающих опор;
- осадка h – глубина погружения нижней точки шагающих опор, то есть расстояние самой углубленной точки подводной части шагающих опор от поверхности воды;
- водоизмещение – вес воды, вытесненный опорами;
- центр водоизмещения t . D – центр тяжести водоизмещения, через который проходит линия действия выталкивающей силы A ;
- ось плавания OO_1 – линия, проходящая через центр тяжести шагающего болотохода t . C и через центр водоизмещения t . D при равновесии машины. Для сохранения равновесия ось плавания OO_1 должна находиться в вертикальном положении;
- диаметральной плоскости – вертикальная продольная плоскость шагающего болотохода, представляющая собой плоскость его симметрии. Эта плоскость проходит через всю длину средней опоры и делит шагающий болотоход на две симметричные части;
- длина по ватерлинии – расстояние между точками пересечения переднего и заднего торцов шагающих опор с плоскостью воды, измеряемое в диаметральной плоскости;
- ширина по ватерлинии – расстояние между крайними точками опор (без учета выступающих частей), измеренное перпендикулярно диаметральной плоскости.

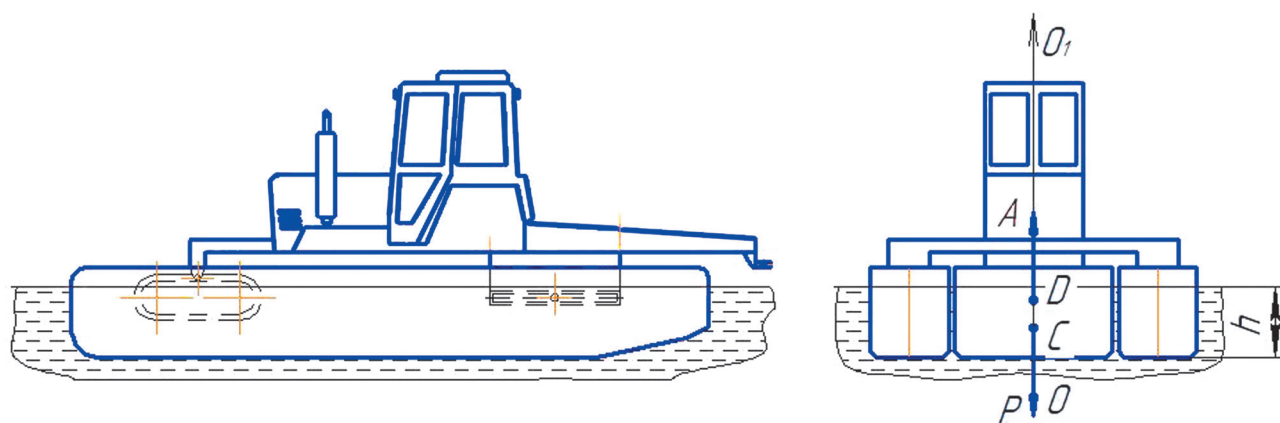


Рис. 3. Виды слева и спереди на шагающий болотоход. Условие равновесия шагающей машины в плавающем положении

Fig. 3. Left and front views of a mire walker. The equilibrium condition of a walking machine in a floating position

Плаву́честь шагающей болотоходной машины определяется неравенством $\Sigma P_i \leq A$, где ΣP_i – суммарная сила тяжести машины с учетом дополнительной нагрузки.

При плавании в погруженном состоянии $\Sigma P_i = A$.

Зная осадку шагающего болотохода h , трудно определить объем части его опор, погруженных в воду V_h , измеряемый в m^3 .

В общих случаях выталкивающая сила (A), которую удобно измерять в ньютонах, может быть вычислена через объем V_h части шагающих опор, погруженных в воду, по формуле:

$$A = V_h \cdot \rho \cdot g, [H],$$

где ρ – плотность воды, измеряемая в kg/m^3 , приблизительно равная $1000 kg/m^3$; g – ускорение свободного падения, равное $9,81 H/kg$.

Выполнив дополнительные расчеты, можно определить, будет ли болотоходная шагающая машина плавать или станет тонуть.

Для этого нужно найти выталкивающую силу, действующую на машину, опоры которой полностью погружены в воду.

А затем найти силу тяжести машины по формуле: $P = m \cdot g, [H]$, где m – масса машины, kg .

Если выталкивающая сила окажется больше силы тяжести, то шагающий болотоход будет плавать.

Если же сила тяжести больше выталкивающей силы, то машина будет тонуть.

Если рассматриваемые силы будут равны, то болотоходная шагающая машина будет обладать так называемой «нейтральной плавучестью».

Водоизмещение является мерой плавучести машины и одной из ее основных технических характеристик.

В то же время водоизмещение не полностью характеризует плавучесть машины и безопасность плавания.

Главную роль для сохранения плавучести при нагрузке играет высота надводной части шагающих опор.

Если машину полностью загрузить каким-либо грузом, то она сядет в воду глубже, и ее водоизмещение станет больше.

Разница между весовыми водоизмещениями груженой и порожней машины является ее грузоподъемностью.

Для обеспечения безопасного движения по сильнообводненной торфяной залежи с мочажинами и открытыми водяными линзами в них, а также по открытым водным преградам в

виде карьеров и озер болотоходная шагающая машина должна обладать определенной потенциальной плавучестью, то есть запасом плавучести, который характеризуется величиной непроницаемого для воды объема опор, расположенного выше действующей ватерлинии.

Запасом плавучести можно считать то количество грузов, которое машина может принять на себя сверх уже находящегося на ней груза до полной потери плавучести.

Запас плавучести болотоходной шагающей машины может быть выражен в процентах от ее водоизмещения с полным грузом.

Такой запас плавучести является относительным.

Обозначим надводный объем шагающих опор через V_n .

Тогда относительный запас плавучести k_n выразится отношением:

$$k_n = \frac{V_n}{V} \cdot 100,$$

где V – полный объем шагающих опор, то есть объем опор при полном их погружении в воду.

Относительный запас плавучести k_n является коэффициентом запаса плавучести и критерием оценки плавучести.

По этому показателю можно сравнивать между собой величину плавучести различных болотоходных машин.

По приведенной выше формуле выполнялся расчет запаса плавучести шагающих болотоходов без учета перевозимого на них груза. При таком расчете запас плавучести составлял от 33 до 40%. Понятно, что относительный запас плавучести шагающих болотоходов с учетом находящихся на них грузов будет меньше.

Достаточный запас плавучести в процессе проектирования достигается рядом конструктивных мероприятий, к числу которых относится обеспечение необходимой высоты надводного борта. Высоту надводного борта болотоходной шагающей машины также можно принять в качестве измерителя запаса плавучести.

Испытание шагающих болотоходов БШ-1 и БТ-1 на плавучесть проводилось в Тверской области на торфяных карьерах торфяного месторождения Галицкий Мох, а болотоходов БШМ и БШМ-1 – на торфяном озере (рис. 4) и в противопожарном канале (рис. 5) вблизи торфопредприятия «Емельяновское».

Передвижение шагающих болотоходов по воде осуществлялось за счет взаимодействия



Рис. 4. Испытание шагающего болотохода БШМ-1 на плавучесть в Тверской области вблизи торфопредприятия «Емельяновское» на торфяном озере глубиной 2,5–3 м

Fig. 4. Test of the mire walker БШМ-1 for buoyancy in the Tver Region near the peat enterprise “Yemelyanovskoye” on a peat lake with a depth of 2,5–3 m



Рис. 5. Испытание шагающего болотохода БШМ на плавучесть в противопожарном канале: а – движение машины по воде за счет использования активных грунтозацепов; б – движение машины по воде за счет работы фрезы, используемой в качестве водяного движителя

Fig. 5. Testing of a walking mire walker БШМ for buoyancy in a fire-fighting channel: a – movement of the machine through the water due to the use of active ground hooks; b – the movement of the machine through the water due to the operation of the milling cutter used as a water mover

с ней его шагающих опор, оснащенных активными грунтозацепами.

При использовании активных грунтозацепов шагающий болотоход передвигался по

воде со скоростью 0,5 км/час, что было вполне достаточно для преодоления водных преград.

Экстремальные испытания шагающего болотохода БШМ и болотоходов других модифи-

каций проводились в их плавающих положениях в противопожарном канале глубиной до 3 м.

Болотоходы передвигались по воде с помощью активных грунтозацепов со скоростью около 0,5 км/час, а с использованием фрезы для рекультивации болотной почвы, применяемой в качестве водяного движителя, – со скоростью 1 км/час и выше.

Болотоходы всех модификаций, включая БШМ и БШМ-1, для повышения плавучести и боковой устойчивости на воде в условиях топких болот были оснащены двумя съёмными понтонами (модулями плавучести, или «поплавками»), правым и левым, которые присоединены соответственно к правой и левой боковым опорам.

При испытаниях осадка болотоходов БШ-1 и БШ-2, находящихся на плаву, при среднем положении опор составляла 0,55 м и 0,6 м при конструктивной высоте опор соответственно 0,9 м и 1,0 м.

Исходя из практического опыта применения болотоходных шагающих машин с высотой бортов 0,9–1,0 м, можно утверждать, что для обеспечения достаточной плавучести необходимо иметь высоту надводной части опор 0,3–0,4 м.

Остойчивость болотоходной шагающей машины

Остойчивость, как было отмечено выше, одно из важнейших качеств проходимости болотоходной шагающей машины при ее передвижении по сильнообводненному торфяному болоту, свойства которого близки к свойствам воды.

Под устойчивостью болотоходной шагающей машины как плавучего средства следует понимать ее способность противостоять внешним силам, вызывающим дифферент или крен (поперечный дифферент), и возвращаться в состояние равновесия по окончании возмущающего воздействия.

А равновесием считается положение машины на сильнообводненном болоте или на воде с допустимыми величинами углов дифферента и крена (в частном случае, близкими к нулю).

Болотоходная шагающая машина, отклоненная от положения равновесия, стремится вернуться к равновесию.

То есть устойчивость машины проявляется только тогда, когда появляются условия для ее выведения из равновесия.

Остойчивость бывает статическая и динамическая. В связи с тем что шагающая машина

не является речным судном, а передвигается по воде лишь для преодоления водной преграды с относительно малой скоростью, при ее расчетах будет достаточным рассматривать только статическую устойчивость.

Если расчетная ватерлиния в продольном направлении не параллельна действительной, то болотоходная шагающая машина имеет дифферент на один край (передний или задний).

Дифферент является следствием неверного расчета машины или неправильного распределения грузов по ее длине.

Особенность шагающей машины состоит в том, что при ее передвижении центры тяжести рамы и опор, а стало быть, и общий центр тяжести, изменяют свое положение. В результате смещения центра тяжести при передвижении по неосушенной торфяной залежи или по воде машина будет иметь небольшой дифферент, изменяющийся по величине в процессе движения.

Определение дифферента и крена шагающего болотохода БТ-1 производилось на неосушенной торфяной залежи прочностью грунта на сдвиг $\tau = 6$ кПа и на чистой воде в торфяном карьере глубиной около 4 м [28], а болотоходов более поздней модификации БШМ и БШМ-1 – на торфяном озере.

Измерения дифферента и крена шагающего болотохода БТ-1 производились в пяти положениях переднего катка рамы относительно передней направляющей опоры.

Перемещению катка от первого до пятого положения соответствовало перемещение опоры на величину одного шага. В первом и пятом крайних положениях катка болотоход опирался одновременно на все три опоры. Максимальная величина дифферента болотохода БТ-1 на воде составила $58' \approx 1^\circ$, а на неосушенной торфяной залежи $1'57''$ (наклон вперед).

Незначительная величина дифферента свидетельствует о рациональном положении центра тяжести шагающей машины, который был рассчитан еще на стадии ее проектирования.

Максимальная величина крена шагающего болотохода БТ-1 на воде составила $25'$ (наклон влево), а на неосушенной торфяной залежи всего лишь $53''$ (наклон влево).

Величина крена на воде близка к 0° , что свидетельствует о симметричности конструкции машины относительно диаметральной плоскости.

Длина опорной части шагающего болотохода примерно в 2 раза больше ее ширины,

поэтому в продольном направлении шагающий болотоход имеет высокую остойчивость, значительно большую, чем в поперечном направлении.

В связи с этим в дальнейшем целесообразно рассматривать не продольную, а поперечную статическую остойчивость шагающей болотоходной машины.

Поперечная остойчивость шагающего болотохода – это его способность противостоять крену в поперечном направлении и возвращаться в нормальное положение по прекращению действия кренящих сил.

У шагающего болотохода при отсутствии килля остойчивость в значительной степени зависит от площади опорной поверхности.

Когда шагающий болотоход стоит на воде при нулевом крене (без крена), он находится в равновесии под действием силы плавучести A и своего веса P (рис. 3).

Точка приложения силы тяжести P шагающего болотохода со всеми его частями и грузами находится в центре тяжести $t. C$, а точка приложения силы плавучести A находится в $t. D$ – в центре тяжести вытесненной опорными объемами воды.

Эта точка называется центром водоизмещения или центром давления.

Центр водоизмещения $t. D$ одновременно является точкой приложения всех гидростатических сил, выталкивающих плавающее тело на поверхность. Иначе говоря, это воображаемая точка приложения равнодействующей сил плавучести.

Если грузы на шагающем болотоходе неподвижны и их не перемещают и сам болотоход не перемещается, то при любом положении его опор центр тяжести $t. C$ сохраняет свое положение.

Однако центр водоизмещения $t. D$ при крене перемещается из-за изменения формы подводной части шагающих опор.

Если все грузы на шагающем болотоходе размещены симметрично относительно диаметральной плоскости, то центр тяжести $t. C$ также будет расположен в диаметральной плоскости.

Если шагающий болотоход накренится, то центр водоизмещения $t. D$ переместится по горизонтали в сторону крена в $t. D_1$ вследствие изменения формы подводной части опор, так как одна из боковых опор вытеснит больший объем воды по сравнению с другой боковой опорой (рис. 6).

При крене ось плавания OO_1 повернется относительно центра тяжести $t. C$, линия действия выталкивающей архимедовой силы (A) пройдет через новый центр водоизмещения D_1 .

Сила тяжести P и сила плавучести A уже не будут расположены в одной плоскости и образуют пару сил, стремящуюся возвратить шагающий болотоход в нормальное положение. Остойчивость болотохода в этом случае обеспечена.

Такая остойчивость называется положительной.

Мерой остойчивости шагающего болотохода, как и любого плавсредства, является момент статической остойчивости M_k (рис. 6), который равен произведению весового водоизмещения на плечо остойчивости l_0 . В свою очередь, плечо остойчивости l_0 равно расстоянию между векторами силы веса P и силы плавучести A .

При угле крена $20-35^\circ$ остойчивость может достигнуть максимального значения. При дальнейшем увеличении угла крена остойчивость постепенно уменьшается.

Наступает такое положение, когда вектор силы веса P приходит в одну плоскость с вектором силы плавучести A . В этом случае снова

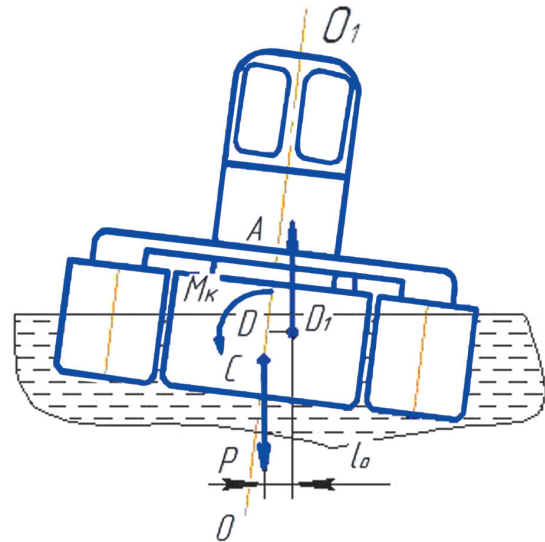


Рис. 6. Крен шагающего болотохода. Вариант расположения центра тяжести ($t. C$) ниже центра водоизмещения ($t. D$): M_k – момент статической остойчивости; l_0 – плечо остойчивости

Fig. 6. The roll of a walking swamp walker. A variant of the location of the center of gravity ($t. C$) below the displacement center ($t. D$): M_k is the moment of static stability; l_0 is the stability shoulder

наступает положение равновесия. Если шагающему болотоходу придать больший крен (угол крена $50-60^\circ$), то действие пары сил будет уже стремиться опрокинуть его. Равнодействующая силы веса P и силы плавучести A образуют момент, стремящийся увеличить угол крена болотохода. Болотоход будет не устойчив. Будет иметь место отрицательная устойчивость.

Устойчивость шагающего болотохода зависит от взаимного положения центра тяжести машины $t. C$ и центра водоизмещения $t. D$.

Здесь имеют место несколько вариантов.

Первый вариант: центр тяжести $t. C$ находится ниже центра водоизмещения $t. D$.

При надводном плавании при первом варианте шагающий болотоход будет всегда устойчив, так как возникающий при крене крутящий момент M_k всегда направлен в сторону, противоположную крену.

Второй вариант: центр тяжести $t. C$ расположен выше центра водоизмещения $t. D$. В данном случае шагающий болотоход может быть устойчивым или неустойчивым, то есть у второго варианта есть два подварианта. Расчеты показывают, что центр тяжести шагающего болотохода лежит выше центра водоизмещения.

В таком случае необходимо выяснить, будет ли машина устойчива на воде или нет.

Перед рассмотрением этих двух подвариантов приведем определения некоторых понятий, таких как метацентр ($t. M$), метацентрический радиус b (метацентрическая высота) и эксцентриситет (Δ), которые следует относить

к основным показателям устойчивости болотоходной шагающей машины.

В соответствии с теорией плавания метацентром называют точку пересечения архимедовой силы (A) с осью плавания OO_1 , а метацентрическим радиусом b – радиус окружности, частью которой является дуга, по которой центр давления перемещается в метацентр.

При крене шагающего болотохода центр водоизмещения $t. D$ смещается по горизонтали в сторону крена в $t. D_1$, так как одна боковая опора вытесняет больший объем воды, чем другая боковая опора. Тогда линия действия выталкивающей силы (A) пройдет через новый центр водоизмещения $t. D_1$ и пересечется с осью плавания в метацентре $t. M$.

При этом расстояние от метацентра до нового центра водоизмещения, то есть отрезок MD_1 , будет являться метацентрическим радиусом b , а расстояние от центра масс до центра водоизмещения, то есть отрезок CD_1 , называют эксцентриситетом Δ (рис. 7).

При малых углах крена метацентрический радиус $b = MD_1$ называют метацентрической высотой.

Условие устойчивости шагающей болотоходной машины, как и любого плавающего тела, будет состоять в следующем:

- если его метацентрический радиус b больше эксцентриситета Δ , то есть $b > \Delta$, то машина устойчива;
- если его метацентрический радиус b меньше эксцентриситета Δ , то есть $b < \Delta$, то машина не устойчива.

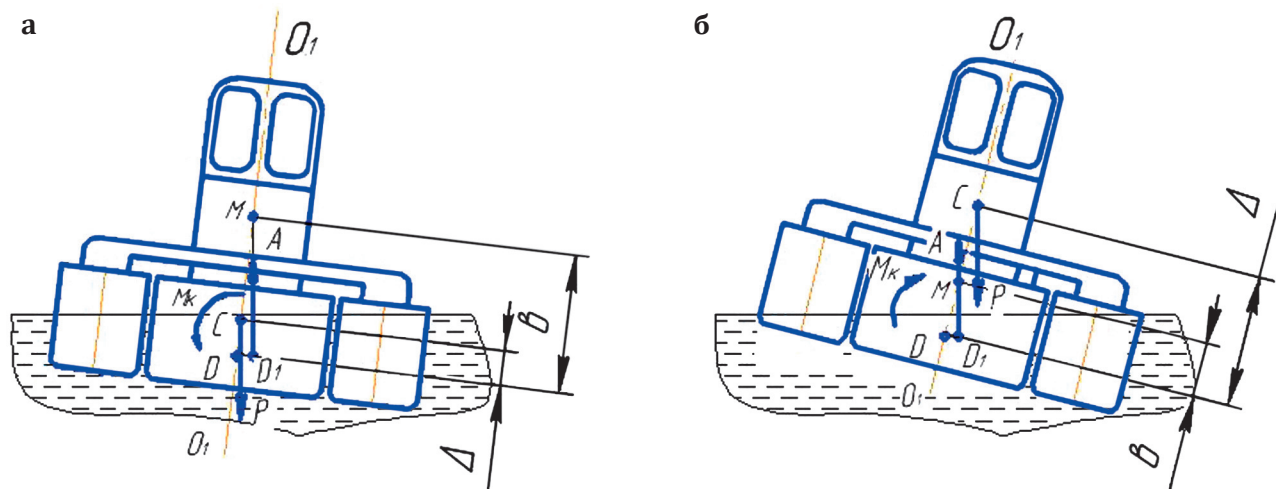


Рис. 7. Крен шагающего болотохода. Два варианта расположения центра тяжести ($t. C$) выше центра водоизмещения ($t. D$): а – болотоходная шагающая машина устойчива ($b > \Delta$); б – машина не устойчива ($b < \Delta$)

Fig. 7. The roll of a walking swamp walker. Two options for the location of the center of gravity ($t. C$) above the displacement center ($t. D$): а – the mire-walking machine is stable ($b > \Delta$); б – the machine is not stable ($b < \Delta$)

Выше приведена графическая интерпретация условия остойчивости болотоходной шагающей машины (рис. 7), из которой следует, что, если метacentр т. М лежит выше центра масс т. С, то положение машины будет остойчивым, а если ниже – нестойчивым.

При малых углах крена величина метacentрического радиуса b определяется по формуле:

$$b = I_0 / V',$$

где I_0 – центральный момент инерции площади плавания относительно продольной оси, заключенной в ватерлинии, [см⁴]; V' – объем той части шагающих опор, которая погружена в воду [см³].

Методика расчета и пример расчета на поперечную остойчивость

Для примера приведем расчет на поперечную остойчивость реальной шагающей болотоходной машины БШ-2 с ее реальным весом 9540 кг (9 540 000 г) и реальными размерами опор (рис. 8).

В продольном направлении центр тяжести болотохода расположен посередине его опор-

ной поверхности при среднем положении опор, что было достигнуто в процессе проектирования шагающей машины.

Поскольку шагающий болотоход БШ-2 симметричен в поперечном направлении, то его центр тяжести т. С лежит в диаметральной плоскости на оси плавания OO_1 .

Высота центра тяжести шагающей машины Z_0 относительно опорной поверхности при поднятой средней опоре была определена расчетным путем по известной формуле из курса торфяной механики [29]. При поднятой средней опоре относительно боковых опор на 200 мм (20 см) центр тяжести шагающего болотохода т. С расположился на высоте 946 мм.

Высоту h_1 в см от днища боковых опор до ватерлинии (осадку боковых опор в воде) легко определить исходя из веса машины и геометрических размеров ее опорной части по закону Архимеда из уравнения: $9\,540\,000 = 2 \cdot b_1 \cdot h_1 L_1 + b_2 (h_1 - 20) L_2$, или уравнения: $9\,540\,000 = 2 \cdot b_1 \cdot h_1 L_1 + b_2 (h_1 - 20) L_2$, откуда $h_1 = 63$ см, или 630 мм (рис. 8), где: L_1 и L_2 – длина соответственно боковой и средней опор, причем $L_1 = L_2 = 600$ см; b_1 и b_2 – ширина соответственно

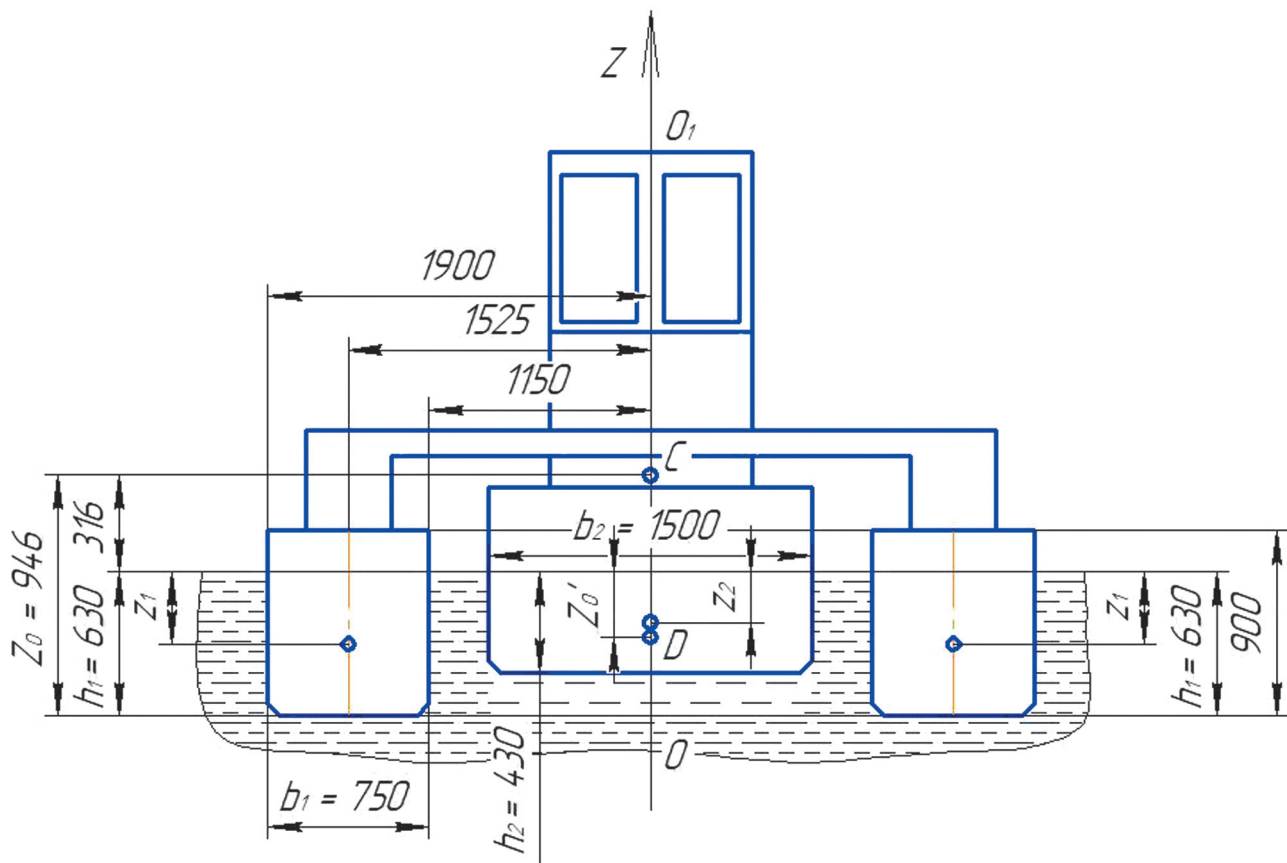


Рис. 8. К расчету шагающего болотохода БШ-2 на поперечную остойчивость

Fig. 8. To the calculation of the mire walker БШ-2 for transverse stability

боковой и средней опоры; h_2 – глубина погружения в воду средней опоры.

Определим для рассматриваемого случая центр водоизмещения Z_0^1 из уравнения:

$$Z_0^1 = (2V_1 \cdot Z_1 + V_2 \cdot Z_2) / (2V_1 + V_2),$$

где Z_1 – положение центра водоизмещения боковой опоры; Z_2 – положение центра водоизмещения средней опоры, V_1 – объем жидкости, вытесненный одной боковой опорой; V_2 – объем жидкости, вытесненный средней опорой.

$$V_1 = F_1 \cdot L_1 = b_1 \cdot h_1 L_1 = 75 \text{ см} \cdot 63 \text{ см} \cdot 600 \text{ см} = 2,835 \cdot 10^6 \text{ см}^3;$$

$$V_2 = F_2 \cdot L_2 = b_2 \cdot h_2 L_2 = 150 \text{ см} \cdot 43 \text{ см} \cdot 600 \text{ см} = 3,87 \cdot 10^6 \text{ см}^3.$$

Положения центров водоизмещения опор прямоугольного сечения Z_1 и Z_2 равны:

$$Z_1 = h_1 / 2 = 63 / 2 = 31,5 \text{ см};$$

$$Z_2 = h_2 / 2 = 43 / 2 = 21,5 \text{ см}.$$

Из приведенного выше уравнения центр водоизмещения Z_0^1 будет равен:

$$Z_0^1 = (2 \cdot 2,835 \cdot 10^6 \cdot 31,5 + 3,87 \cdot 10^6 \cdot 21,5) / (2 \cdot 2,835 \cdot 10^6 + 3,87 \cdot 10^6) = 27,5 \text{ см}.$$

В соответствии с расчетами центр водоизмещения (т. D) находится ниже уровня воды на расстоянии 27,5 см.

Центр тяжести (т. C) находится выше уровня воды на расстоянии: $946 - 630 = 316 \text{ мм} = 31,6 \text{ см}$ (рис. 8).

В таком случае эксцентриситет Δ (расстояние от центра тяжести до центра водоизмещения) будет равен: $\Delta = 27,5 + 31,6 = 59,1 \text{ см}$.

Определим метацентрический радиус b шагающего болотохода, для чего найдем I_0 – центральный момент инерции площади плавания относительно оси поворота.

Поскольку площади плавания боковых опор и средней опоры в упрощенном варианте имеют форму прямоугольников, то: $I_0 = 2 \cdot (I_1 + a^2 \cdot S_1) + I_2$, где I_1 – момент инерции площади боковой опоры в плоскости плавания относительно своей продольной оси симметрии; S_1 – площадь боковой опоры в плоскости плавания; a – расстояние от продольной оси площади боковой опоры в плоскости плавания до оси плавания OO_1 ; I_2 – момент инерции площади плавания средней опоры относительно оси поворота.

$$I_1 = L_1 \cdot b_1^3 / 12; I_2 = L_2 \cdot b_2^3 / 12; S_1 = L_1 \cdot b_1;$$

$$I_0 = 2 \cdot (L_1 \cdot b_1^3 / 12 + a^2 \cdot L_1 \cdot b_1) + L_2 \cdot b_2^3 / 12 = 2(600 \cdot 75^3 / 12 + 152,5^2 \cdot 600 \cdot 75) + 600 \cdot 150^3 / 12 = 4160,25 \cdot 10^6 \text{ см}^4;$$

$$V' = (2V_1 + V_2) = (2 \cdot 2,835 \cdot 10^6 + 3,87 \cdot 10^6) = 9,54 \cdot 10^6 \text{ см}^3;$$

$$b = I_0 / V' = 4160,25 \cdot 10^6 / 9,54 \cdot 10^6 = 241,5 \text{ см}.$$

Из сравнения полученных значений метацентрического радиуса b и эксцентриситета Δ следует: $b = 241,5 \text{ см} > \Delta = 59,1 \text{ см}$.

Таким образом, расчет показал, что условие поперечной остойчивости для данного шагающего болотохода выполнимо. Шагающий болотоход остойчив на воде, несмотря на то что его центр тяжести (т. C) располагается выше центра водоизмещения (т. D).

При этом для сравнения следует отметить, что практически все более-менее остойчивые военные вездеходы проектируются с метацентрическим радиусом b от 100 до 150 см. И чем больше величина b , тем выше остойчивость машины.

В процессе движения шагающей машины ее опоры меняются местами.

Средняя опора опускается, а боковые опоры, наоборот, приподнимаются.

Остойчивость болотохода практически не изменится в положении, когда боковые опоры приподняты, например, на те же 200 мм по отношению к средней опоре, так как объем водоизмещения и вес двух боковых опор равен объему водоизмещения и весу средней опоры.

Центр тяжести болотохода при изменении положения опор остается примерно на той же самой высоте, и величина момента инерции площади плавания будет та же, что и в рассмотренном первом положении, когда боковые опоры были опущены, а средняя опора приподнята на 200 мм.

Пути и средства увеличения плавучести и остойчивости

Исходя из условия плавучести следует, что для ее увеличения следует стремиться проектировать такие болотоходные шагающие машины, которые обладают меньшей массой и большим водоизмещением.

Исходя из условия остойчивости следует, что для ее повышения надо стремиться проектировать машины с пониженным расположением центра тяжести.

При этом центр тяжести машины должен располагаться в его диаметральной плоскости.

Поскольку общий центр тяжести шагающего болотохода находится выше центра водоизмещения, то для обеспечения боковой устойчивости необходимо, чтобы метацентрический радиус b был больше эксцентриситета Δ .

При этом необходимо стремиться к уменьшению эксцентриситета и к увеличению метацентрического радиуса [30].

Уменьшение эксцентриситета Δ достигается понижением общего центра тяжести машины, а увеличение метацентрического радиуса b достигается за счет увеличения центрального момента инерции I_0 площади плавания относительно продольной оси, заключенной в ватерлинии, который зависит от размеров опор и расстояния между ними.

Для повышения плавучести и боковой устойчивости шагающего болотохода его необходимо оснащать двумя дополнительными съемными понтонами (поплавками), которые присоединяются снаружи к каждой боковой опоре.

Для повышения боковой устойчивости рекомендуется каждую боковую опору шагающего болотохода в поперечной плоскости выполнить увеличивающейся по высоте по мере удаления от ее внутреннего борта к внешнему с наклоном палубы, параллельным ватерлинии при допуске бокового крена [31].

То же касается и конструкции дополнительных съемных понтонов.

Для повышения боковой устойчивости каждый съемный понтон в поперечной плоскости рекомендуется выполнять увеличивающимся по высоте по мере удаления от его внутреннего борта к внешнему борту.

При такой конструкции ходовой части при значительном боковом крене, когда ватерлиния приближается к палубе дополнительного съемного понтона, а тем более к палубе боковой опоры, в работу вступают дополнительные объемы соответствующих понтонов, и появляется дополнительная выталкивающая сила, от которой создается дополнительный восстанавливающий момент от бокового опрокидывания, повышающий боковую устойчивость.

Заключение

Для эффективного передвижения и работы болотоходных машин в условиях неосушенных торфяных болот к их проектированию наряду с требованиями общего характера должны предъявляться следующие специальные требования:

- низкое давление опорной части на грунт (10 кПа и менее) и небольшая осадка, кото-

рые зависят от массы машины, площади ее опорной поверхности и физико-механических свойств грунта;

- высокие тягово-сцепные свойства; определяемые силой сцепления движителя с грунтом, а со стороны грунта – малым лобовым сопротивлением передвиганию машины;
- хорошая поворотливость, определяемая минимальным радиусом поворота (10–12 м и менее);
- способность передвигаться не только по неосушенной торфяной залежи, но и при подъезде к ней в различных внедорожных условиях, в том числе способность преодолевать встречаемые на пути препятствия в виде древесной растительности и неровностей рельефа поверхности (бугры, канавы и т. п.);
- плавучесть с определенным относительным запасом плавучести 30–40%, не менее, причем плавучесть машины должна быть обеспечена за счет плавучей части, которая заключена не в ее корпусе, а непосредственно в ходовой части движителя, элементы которой должны быть полностью герметизированы;
- устойчивость, то есть способность возвращаться в состояние равновесия после получения допустимого крена, причем для обеспечения устойчивости ее показатель – метацентрический радиус b по величине всегда должен быть больше эксцентриситета Δ .

На основании критического анализа критериев оценки проходимости болотоходных машин по неосушенной торфяной залежи в статье приведена структура понятия проходимости болотоходного шагающего движителя.

Она включает в себя основные параметры проходимости (свойства и показатели).

К параметрам проходимости отнесены опорные и тягово-сцепные свойства, способность преодоления различных препятствий, поворотливость, плавучесть и устойчивость. Рассмотрены показатели, характеризующие те или иные свойства проходимости болотоходного шагающего движителя.

При этом отмечается, что в условиях сильнообводненных торфяных болот удовлетворение высокопроходимых болотоходных машин требованиям плавучести и устойчивости имеет особенно важное значение.

При рассмотрении плавучести шагающей болотоходной машины к ней примени-

мы основные понятия из теории плавания, к которым относятся плоскость плавания, ватерлиния, осадка, водоизмещение, центр водоизмещения, ось плавания, диаметральной плоскость, длина и ширина по ватерлинии.

Для обеспечения плавучести шагающей болотоходной машины ее суммарная сила тяжести с учетом дополнительной нагрузки должна быть меньше выталкивающей (архимедовой) силы.

Водоизмещение является мерой плавучести машины и одной из ее основных технических характеристик.

Кроме водоизмещения мерой плавучести, обеспечивающей безопасность плавания, является величина относительного запаса плавучести k_n , или коэффициента запаса плавучести, который характеризуется отношением надводного объема шагающих опор V_n к полному их объему V , выраженного в процентах.

Коэффициент запаса плавучести является критерием оценки плавучести.

По коэффициенту запаса плавучести можно сравнивать между собой величину плавучести различных болотоходных машин.

При расчетах шагающего болотохода на плавучесть рекомендуется относительный запас плавучести k_n принимать равным 30–40%, не менее.

При этом высоту надводной части опор для шагающего болотохода, из практического опыта, достаточно иметь равной 0,3–0,4 м при высоте опор 0,9–1,0 м.

При рассмотрении устойчивости болотоходного шагающего движителя к нему применены такие понятия из теории плавания, как центр водоизмещения, метацентр, центр тяжести или центр масс, момент статической устойчивости и др., а также основные показатели устойчивости – метацентрический радиус b или метацентрическая высота (при малом крене) и эксцентриситет Δ .

Устойчивость шагающего болотохода будет зависеть от относительного расположения центра тяжести и центра водоизмещения.

Если центр тяжести находится ниже центра водоизмещения, то шагающая болотоходная машина будет всегда устойчива, так как возникающий при крене крутящий момент всегда направлен в сторону, противоположную крену.

Если центр тяжести находится выше центра водоизмещения, то машина может быть устойчивой или неустойчивой.

Расчеты показывают, что центр тяжести шагающего болотохода находится выше центра водоизмещения. В таком случае для обеспечения поперечной устойчивости шагающего болотохода в его статическом положении должно выполняться неравенство $b > \Delta$, то есть метацентрический радиус b по величине должен быть больше эксцентриситета Δ . В качестве примера приведена методика расчета и сам расчет на поперечную устойчивость шагающего болотохода с его реальными размерами и реальным весом.

Выполненные расчеты и испытания показали, что шагающие болотоходы обладают достаточной плавучестью и устойчивостью.

При этом их плавучая часть заключена непосредственно в движителях, в отличие, например, от плавающих гусеничных машин.

Приведены пути и средства увеличения плавучести и устойчивости болотоходных шагающих движителей.

Испытания натуральных образцов болотоходных шагающих движителей в условиях неосушенных торфяных болот, в том числе в условиях топких болот Западной Сибири, позволили выявить ряд их преимуществ по сравнению с другими типами движителей по проходимости, включая тягово-сцепные свойства, способность в преодолении препятствий во внедорожных условиях, поворотливость, плавучесть и устойчивость [32].

Библиографический список

1. Амарян Л.С. Прочность и деформируемость торфяных грунтов. – М.: Недра, 1969. – 191 с.
2. Кафедра технологических машин и оборудования ТвГТУ: история, достижения, перспективы развития / Б.Ф. Зюзин, Л.В. Копенкина. – Тверь: ТвГТУ, 2022. – С. 36–38.
3. Базин Е.Т. Физико-механические свойства торфяных залежей: учеб. пособие. – Калинин: КПИ, 1982. – 84 с.
4. Солопов С.Г. Торфяные машины и комплексы: учеб. пособие для вузов по специальностям «Технология и комплексная механизация разработки торфяных месторождений» и «Торфяные машины и комплексы». – М.: Недра, 1973. – 389 с.
5. Далин А.Д. Фрезер на освоении лугов и болотных земель. – М.: Сельхозгиз, 1938. – 148 с.
6. Опейко Ф.А. Колесный и гусеничный ход. – Минск: Изд-во Акад. с.-х. наук БССР, 1960. – 228 с.

7. *Гинцбург А.Г.* Устойчивость вертикального откоса и некоторые общие зависимости механики торфяной залежи: автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук. – М.: МТИ, 1953. – 19 с.
8. *Павлов Л.Н.* Оценка проходимости техники по заболоченной местности // Строительство трубопроводов. – 1976. – № 9. – С. 15–16.
9. *Танклевский М.М.* Теоретические и экспериментальные исследования и метод расчета параметров взаимодействия ходовых устройств торфяных машин с залежью: автореферат диссертации на соискание ученой степени доктора технических наук. – Калинин: КПИ, 1970. – 64 с.
10. *Корчунов С.С.* О возможности повышения проходимости гусеничных торфяных машин / С.С. Корчунов, О.Н. Абакумов, В.Г. Селеннов // Труды ВНИИТП. – Л.: ВНИИТП, 1978. – Вып. 40. – С. 60–68.
11. *Персигов В.И.* Исследование взаимодействия колесного движителя на арочных шинах с неосушенной торфяной залежью верхового типа: диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук. – Калинин: КПИ, 1974. – 180 с.
12. *Кириллов В.К.* Исследование и расчет предельных условий передвижения колесного движителя по сильнообводненной торфяной залежи верхового типа: диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук. – Калинин: КПИ, 1986. – 166 с.
13. *Скотников В.А.* Проходимость машин. – Минск: Наука и техника, 1982. – 328 с.
14. *Роффе Ю.С.* Одноковшовый понтонно-гусеничный экскаватор // Дорожные и строительные машины. – 1962. – № 12. – С. 1–3.
15. *Александров В.Н.* Обоснование параметров проходимости шагающего движителя по сильнообводненной торфяной залежи верхового типа: автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук. – Калинин: КПИ, 1999. – 20 с.
16. Деформационные свойства неосушенной торфяной залежи / В.Ф. Сеницын, А.А. Петров, Л.Ф. Коровицын // Торфяная промышленность. – 1986. – № 4. – С. 15–16.
17. Исследование деформационных свойств неосушенной торфяной залежи методом статистического моделирования / В.Ф. Сеницын, Н.В. Герцева, А.А. Петров, В.Б. Тулупов // Торфяная промышленность. – 1988. – № 4. – С. 12–13.
18. Обоснование формы опор шагающего болотохода / А.А. Петров, Л.Ф. Коровицын. – Калинин: КПИ, 1983. – 8 с. – Рукопись деп. в ЦБНТИ МТП РСФСР 13.07.83 г., № 4, тп – Д 83.
19. О величине зазора между опорами шагающего болотохода / А.А. Петров, Л.Ф. Коровицын // Технология и комплексная механизация торфяного производства. – Калинин: КГУ, 1983. – С. 75–79.
20. *Петров А.А., Коровицын Л.Ф.* Определение коэффициента буксования шагающего движителя // Торфяная промышленность. – 1987. – № 9. – С. 19–20.
21. *Коровицын Л.Ф., Петров А.А.* Проходимость шагающего болотохода // Механизация и электрификация сельского хозяйства. – 1987. – № 4. – С. 20–22.
22. Способы увеличения тягово-сцепных свойств шагающих болотоходных машин и устройства для их осуществления / А.А. Петров, Б.Ф. Зюзин // Труды ИНСТОРА. – 2022. – № 25 (78). – С. 24–44.
23. Исследование процесса передвижения активных грунтозацепов шагающей болотоходной машины и определение оптимальных моментов их включения и выключения для автоматического управления / А.А. Петров, Б.Ф. Зюзин // Труды ИНСТОРА. – 2021. – № 23 (76). – С. 34–47.
24. Проходимость шагающего болотохода по препятствиям / А.А. Петров, Л.Ф. Коровицын // Торфяная промышленность. – 1986. – № 6. – С. 20–23.
25. Основные параметры поворота шагающего болотохода / А.А. Петров, Л.Ф. Коровицын. – Калинин: КПИ, 1983. – 7 с. Рукопись деп. в ЦБНТИ МТП РСФСР 13.07.83 г., № 3, тп – Д 83.
26. Исследование процесса передвижения опор шагающей болотоходной машины на повороте и определение оптимальных моментов включения и выключения привода их поворота для автоматического управления / А.А. Петров, Б.Ф. Зюзин // Труды ИНСТОРА. – 2021. – № 24 (77). – С. 37–52.
27. Поворотливость шагающих болотоходных машин на неосушенной торфяной залежи и устройства для автоматического управления их поворотом / А.А. Петров, Б.Ф. Зюзин // Труды ИНСТОРА. – 2022. – № 26 (79). – С. 26–44.

-
28. Испытать опытный образец шагающего болотного тягача в условиях неосушенного болота: отчет о НИР (промежуточ.) / КПИ, рук. Ковровицын Л.Ф.; ответств. исполн. Петров А.А. – Калинин, 1987. – 64 с. № ГР 01860121409. Инв. 02880043024.
29. Сборник задач по теории и расчету торфяных машин / Под. ред. С.Г. Солопова. – М.: Недра, 1966. – 132 с.
30. Маломерные суда на водоемах России / В.В. Антонов, В.В. Романов. – М.: Водный путь, 2006. – 423 с.
31. А.с. 1110066 СССР, МПК В62D 57/02. Ходовой механизм шагающего транспортного средства / А.А. Петров, Л.Ф. Ковровицын, Н.П. Васильев и др. (СССР). № 3447436/11; заявл. 07.06.82; опубл. 28.07.20, Бюл. № 22.
32. *Петров А.А.* Результаты производственных испытаний шагающей машины в условиях болот Западной Сибири / Тез. докл. НТК «Перспективы комплексного использования торфа и продуктов его переработки». – Калинин, 1990. – С. 58–59.

УДК 622.331.(09)

Копенкина Л.В.

Копенкина Любовь Владимировна, к. т. н., доцент кафедры технологических машин и оборудования Тверского государственного технического университета, Тверь, Академическая, 12, lvkopenkina@mail.ru

**ТОРФЯНОЙ МУЗЕЙ
В РОССИИ**

Аннотация. В статье представлена история создания торфяного музея в России, способствующего распространению знаний о торфяных месторождениях, торфе, способах и технике его разведки, добычи и переработки, применении торфяной продукции. Рассмотрены отделы и экспонаты торфяных музеев, представляющих образовательный и научный потенциал торфяного дела.

Ключевые слова: история торфяного дела, торфяной музей, торфяное месторождение, добыча торфа.

Kopenkina L.V.

Kopenkina Lubov V., Dr., Associate Professor of the Chair of Technological Machinery and Equipment of the Tver State Technical University, Tver, Akademicheskaya, 12, lvkopenkina@mail.ru

**PEAT MUSEUM
IN RUSSIA**

Abstract. The article presents the history of the creation of a peat museum in Russia, which contributes to the spread of peat deposits, peat, methods and techniques for its exploration, extraction and processing, and the use of peat products. The departments and exhibits of peat museums representing the educational and scientific potential of peat business were considered.

Keywords: history of peat industry, peat museum, peat deposit, peat extraction.

Для развития торфяного дела в России важным фактором было изучение природы торфа, поиска и разведки торфяных месторождений, разработка технологий его добычи и переработки в конце XIX – начале XX в., а затем распространение знаний о применении торфа в сельском хозяйстве и как топлива, создание первого торфяного музея.

21 декабря 1882 г. при Департаменте земледелия и сельской промышленности Министерства государственных имуществ была учреждена особая торфмейстерская часть для исследования торфяных болот, которые отдаются потом в арендное содержание. В этой части была образована должность заведующего разработкой казенных торфяных болот с целью их повсеместного исследования и оказания помощи местным жителям в разработке болот [1].

Заведующим разработкой казенных торфяных болот стал Леонид Аполлонович Сытин (1832–1913), работавший торфмейстером по приглашению Министерства государственных имуществ с 1859 года, изучавший долгое время добычу и переработку торфа за рубежом.

Л.А. Сытин организовал торфоразработки под Москвой, на Урале. Он предложил методы добычи торфа с использованием специального оборудования, а также комплексное использование торфа.

С 1868 года Сытин занимался особенностями применения торфа для сжигания в топках железнодорожных локомотивов. В 1869 году в журнале Главного управления путей сообщения он писал об исследовании торфяных залежей по Курско-Киевской железной дороге.

Сытин неоднократно выезжал за границу для изучения торфяного дела. В 1872–1875 гг. он изучал вопросы добычи и переработки торфа в Германии, Нидерландах, Франции, Швейцарии [2]. По возвращении в Россию Сытин основал под Брянском первое государственное торфяное предприятие и стал его директором. Был назначен управляющим Пальцевого торфяного завода в Орловской губернии (1875).

В 1882 году Сытин представил коллекцию образцов торфа из Карачевского уезда Орловской губернии, образцов и продуктов сухой перегонки торфа, планы разработки торфа, орудия исследования торфяных залежей, модель печи для комнатного отопления торфом на Всероссийской художественно-промышленной выставке в Москве [3].

1 марта 1894 года была создана торфмейстерская часть Отдела земельных улучшений. Одной из задач, стоящих перед нею, было распространение сведений о торфе и торфодобычании среди населения путем выставок, лекций, специальных изданий [4].

Л.А. Сытин принимал большое участие в организации торфяной экспозиции на Всероссийской выставке в Нижнем Новгороде (1896).

Совместно с Г.И. Танфильевым он составил первую в нашей стране библиографию «Указатель главнейшей литературы о болотах и торфяниках Европейской России и их утилизации в сельском хозяйстве и промышленности» [5].

В 1900 году Сытиным был написан раздел «Торфяное производство» в сборнике «Россия в конце XIX века», изданном Комиссией по заведению устройства Русского отдела на Всемирной выставке в Париже в 1900 году [6]. Торфмейстерская часть участвовала с экспозицией образцов торфа и оборудования по торфодобычанию России, получив золотую медаль.

С 1909 года торфмейстерская часть стала лучше финансироваться, возникли показательные разработки торфа для ознакомления населения с использованием торфа как топлива и подстилки и курсы для подготовки специалистов по торфу.

В 1910 году был напечатан «Краткий очерк развития торфяного дела в России» Сытина, в 1912 году вышла его работа «Основания оценки торфяных болот». Многие статьи Л.А. Сытина посвящены вопросам разведки торфяных месторождений, применения торфа в промышленности и сельском хозяйстве в России и за рубежом.

В 1909–1913 гг. были созданы торфяные отделы на сельскохозяйственных выставках в Омске, Царском селе, Костроме, Пензе, Симбирске, Москве (на Северном мелиоративном съезде) и др.

Поскольку подготовка к выставкам занимала много труда и времени, в 1912 году Л.А. Сытин и его помощник Е.С. Меншиков (1883–1926) в Петербурге начали организовывать передвижной торфяной музей для поездок на выставки с целью ознакомления населения с различными способами улучшения сельского хозяйства [7].

Евгений Степанович Меншиков окончил в 1910 году химическое отделение Императорского Московского технического училища (МВТУ имени Н.Э. Баумана), получив квалификацию инженера-технолога.

В 1910 году Меншиков поступил на службу в Министерство земледелия и вместе с другими специалистами по торфу был командирован Министерством земледелия за границу для изучения торфяного дела в Германии, Австрии, Голландии, Дании и Швеции.

При механико-строительной группе Общества содействия улучшению и развитию мануфактурной промышленности Меншиков организовал торфяную комиссию с целью использования торфа как топлива. В «Трудах Комиссии по изучению торфяного дела» им были представлены сводки данных о торфоразработках в России, качестве и составе торфов разрабатываемых болот, разных системах машин.

В 1912 году в Москве по инициативе Меншикова и при его содействии группой специалистов-торфяников была создана Техническая контора «Торфяное дело» для обеспечения торфоразработок последними новинками торфяной техники.

В 1913 году по приглашению акционерного общества «Электропередача» Меншиков работал помощником заведующего торфоразработками первой в России электростанции на торфе. В 1914 году то же общество поручило ему составить проект торфоразработок в Тверской губернии.

Меншиков открыл химическую лабораторию при Московском обществе научного изу-

чения и использования болот (1914), при этом выполнял всю техническую работу, выпускал журнал «Известия Московского общества изучения и использования болот».

В 1914 году Меншиков был приглашен для преподавания торфоведения и организации торфяной специальности в Московском сельскохозяйственном институте (Тимирязевской сельскохозяйственной академии). В инженерном корпусе института был создан кабинет по торфяному делу, в котором Меншиков разместил образцы торфа, диапозитивы, учебные пособия.

Таким образом, на основе работы Л.А. Сытина и Е.С. Меншикова был создан постоянный музей из собранных коллекций зарубежных и отечественных приборов, инструментов для добычи и переработки торфа, образцов торфа [8].

Постепенно были организованы отделы.

1. Естественно-исторический отдел.

В первой части – «Образование болот, классификация торфа» размещались альбомы флоры борового, лугового, мохового болот, коллекция торфообразующих растений, фото, классификация мхов (Германии, Швеции и др.), различных видов торфа в естественном состоянии (Камышловского уезда Пермской губернии), включения в торфе, планы, разрезы и рельефы болот (рис. 1).



Рис. 1. Естественно-исторический отдел. Часть 1. Образование болот, классификация торфа

Fig. 1. Natural History Department. Part 1. Bog formation, peat classification

Во второй части – «Исследование торфяных болот» размещались зонд Сытина, зонд голландский, бур Гиллера (малый), немецкий бур, планы исследования болот с профилями зондировки.

В третьей части – «Анализ и свойства торфа» находились устройства и таблицы для определения водопоглотительной способности различных подстилочных материалов, мхов, торфа, удельного веса торфа по способу Бременской болотной опытной станции, химический состав торфа, свойства торфа как топлива.

2. Отдел «Добывание торфа».

В первой части – «Общая» были представлены модели дренажей для осушения торфяных болот, орудия для культуры болот, план осушения болота.

Во второй части – «Различные способы добывания торфа» размещались российские и зарубежные орудия для резки торфа (рис. 2), оборудование для формования торфа.

В третьей части – «Сушка торфа» находились модели, фото и оборудование разных способов укладки торфа для сушки.

3. Отдел «Подстилка и порошок, их производство и употребление».

В этом отделе находились образцы зарубежной торфяной подстилки, порошка из Голландии, Англии, Швеции, Баварии.

Также здесь были изделия из торфа – бумага, картон, изоляционные кирпичи и др. Представлены модели оборудования для производства торфяной подстилки и торфяного порошка.

4. Отдел «Переработка торфа».

В первой части – «Брикетирование торфа» были представлены образцы торфяных брикетов Ириновского брикетного завода, заводов Германии, Голландии и др.

Во второй части – «Коксование торфа и продукты сухой перегонки» размещались продукты сухой перегонки – уксусная кислота, пара-

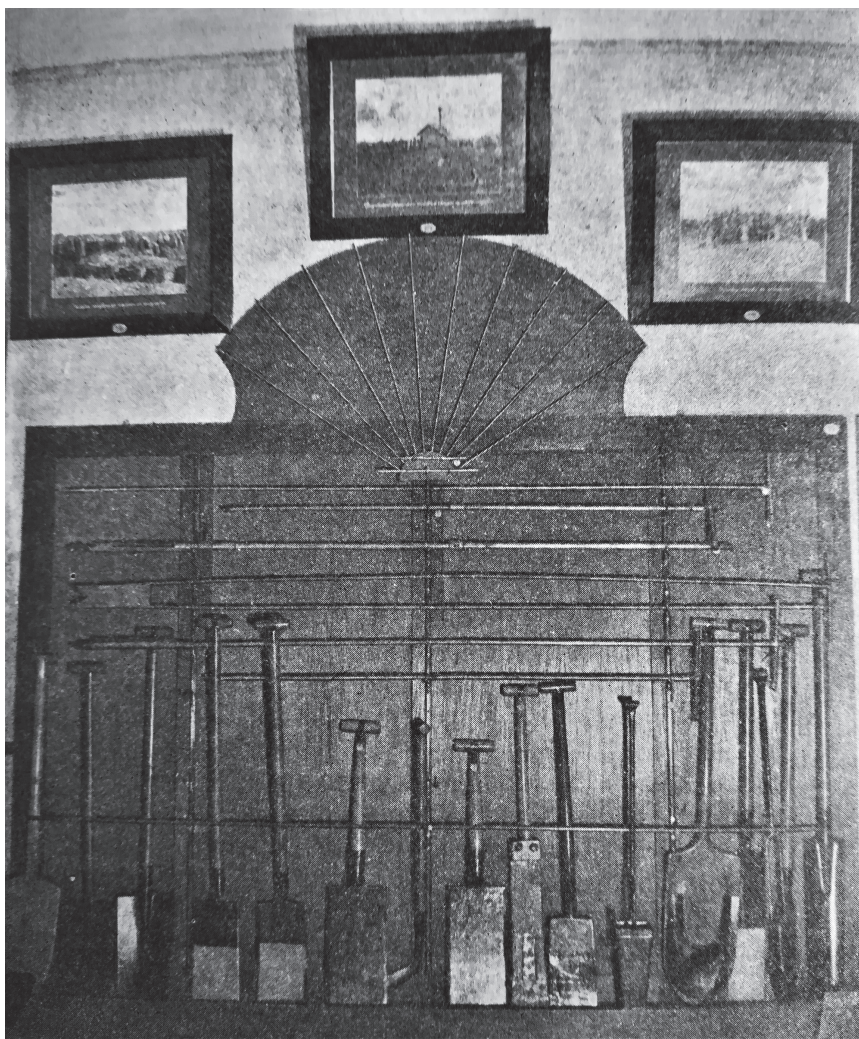


Рис. 2. Буровые инструменты и ручные орудия для исследования болот и добывания торфа

Fig. 2. Drilling tools and hand tools for the study of bogs and peat extraction

фин, спирт и др., образцы торфяного угля и кокса Выксунских горных заводов.

В третьей части – «Новейшие способы производства и сжигания торфа» были образцы торфа и продукты переработки по способам Франке, Бакла, Виланда, Экелунда.

В четвертой части – «Сжигание торфа» были печи Богданова, Воскресенского, Лукашевича, Рейтарова, Богородско-Глуховской мануфактуры, топки Ковальского, Строганова, Дербишера, Рейтарова, Богданова, Бочарова, газогенератор Кертинга.

В пятой части – «Производство и сжигание торфяной пыли» находились образцы, диаграммы теплопроизводительности, фото добытия и обработки.

5. Отдел «Машины».

В первой части – «Модели ручных, конно-приводных машин» были представлены модели машин для получения формовано-наливного торфа систем Богданова, Коломенского завода, плиточного торфа систем Богданова, Рейтарова, перерабатывающих машин Шликейзена, Дольберга, передвижной машины на рельсах (рис. 3).

Во второй части – «Паровые машины» размещались чертежи торфяных паровых машин

Анрепа, Дольберга, Шликейзена, Рейтарова, Сормовского завода, Мальцевского завода, Воскресенского, Ляуданского, Гендуне, Рогова, Беляева-Титова, Зеленая, Нармина, Рауш-фон Трауберга, Гейнена, Лухта, товариществ Кувшинова, Саввы Морозова.

В отделе имелись фото багеров Штрэнге, Виланда и Экелунда для добычи торфа, а также этапов производства машинного торфа – забрасывание в элеватор, погрузка и отвозка торфяных плиток в вагонетках, расстилка торфяных плиток.

6. Отдел «Образцы торфа».

В отделе было две части. В первой части – «Торф, выработанный ручными способами» размещались образцы резного торфа, добываемого для производства торфяной подстилки и торфяного порошка в России, Германии, Голландии, Швеции.

Во второй части – «Торф, выработанный машинным способом» находились образцы машинного торфа, выработанного машинами Дениса, Косцельского, Богданова, Шликейзена и др.

Также в торфяном музее был большой набор диапозитивов по торфодобытию.



Рис. 3. Модели машин для добывания торфа, печей для отопления торфом и коллекции переработанного торфа

Fig. 3. Models of peat extraction machines, peat heating furnaces and a collection of processed peat

Полный каталог экспонатов первого торфяного музея в России был опубликован Иваном Ивановичем Вихляевым (1879–1965), заведующим разработкой казенных болот и торфмейстерской частью Отдела земельных улучшений с 1914 года, в журнале «Вестник торфяного дела» [8].

В 1908 году Вихляев окончил Богородицкое среднее сельскохозяйственное училище Тульской области. В 1909 году он поступил работать в торфяную часть Отдела земельных улучшений Министерства земледелия.

После окончания в 1911 году Тимирязевской сельскохозяйственной академии И.И. Вихляев был командирован Министерством земледелия за границу.

В результате изучения торфяного дела в Германии, Голландии, Финляндии, Швеции, Дании, Австрии и Англии Вихляевым были написаны работы «Торфяные болота, использование их в технике и сельском хозяйстве» (1914), «Торфяное дело в Швеции» (1916) и др.

В 1914 году И.И. Вихляев был назначен заведующим разработкой казенных болот и торфмейстерской частью Отдела земельных улучшений Министерства земледелия.

В период Первой мировой войны Вихляев организовал 81 торфоразработку по снабжению торфом военно-полевых железных дорог. Под его руководством была создана научно-исследовательская лаборатория по изучению торфа, начал издаваться журнал «Вестник торфяного дела», проводилась работа по пропаганде и внедрению торфа в сельское хозяйство.

Музей постоянно пополнялся новыми экспонатами.

Создание первого торфяного музея в России способствовало развитию торфяного дела в стране, подготовке квалифицированных специалистов торфяного профиля, решению топливных проблем в моменты энергетических кризисов.

Торфяной музей в дальнейшем входил в состав Центральной торфяной станции (ЦТС) Наркомзема, основанной 1 января 1923 года.

В Положении о Центральной торфяной станции было отмечено, что «Торфяной музей, помимо демонстрации моделей предметов оборудования торфоразработок, плакатов и рисунков, характеризующих отдельные типы торфяников, экспонатов всестороннего применения торфа в технике и сельском хозяйстве, ведает снабжением местных Губземуправлений диапозитивами и волшебными фонарями,

имеющими значение при устройстве чтений; ведает делом изготовления новых моделей, плакатов, диаграмм и др. наглядных пособий, характеризующих новейшие достижения в области торфяного дела; принимает участие в устройстве специальных отделов на выставках, съездах, докладах и в устройстве популярных бесед и чтений, снабжая их соответствующим материалом для демонстрирования, и наглядно освещает вопросы, касающиеся торфопромышленности и торфодобычи» [9].

В 1924 году Центральной торфяной станцией был организован подвижной Торфяной музей, который участвовал в организации сельскохозяйственных выставок в селе Талицы Сергиевского уезда Московской губернии, в селе Милет Богородского уезда, в г. Орехово-Зуеве, на выставках в Центральном доме крестьянина.

На этих выставках демонстрировались плакаты, чертежи, диаграммы, карты и модели, иллюстрирующие естественные виды торфяных болот, исследование болот, способы добычи торфа, сушку торфа, переработку торфа, сжигание, способы производства торфяной подстилки и порошка, применение их в сельском хозяйстве.

Для участия специалистов по торфу в энергетическом съезде в Лондоне в 1924 году работниками Торфяного музея был изготовлен графический материал, характеризующий торфяной фонд СССР [9].

В 1924 году ввиду недостатка помещения в здании Центральной торфяной станции часть экспонатов Торфяного музея была передана в Политехнический музей, где был организован постоянный отдел по торфяному делу [9].

В 1928 году на Торфяной опытной станции был создан единственный в стране и крупнейший в мире Музей Инсторфа [10].

С момента открытия музея и до осени 1941 года фонды его постоянно пополнялись новыми экспонатами, отображая достижения в торфяной промышленности страны. Но за два месяца оккупации фашистские захватчики уничтожили музей со всеми экспонатами [11].

Музей торфяной промышленности был восстановлен в 1955 году и стал центром научно-технической пропаганды науки, техники, технологии в области торфяного дела. Ежегодно музей посещали школьники, студенты, преподаватели, специалисты торфяной и других отраслей промышленности, туристы.

Здесь проводились семинары, курсы для работников торфопредприятий. С экспозицией Музея знакомились иностранные делегации, специалисты в области торфяного производства, в период проведения международных конференций, симпозиумов.

Фонды музея были уникальны. Они включали фотографии, документы, картины, плакаты, макеты, модели, натуральные образцы торфа и продукцию из него, патентный фонд, литературу по торфу, фильмотеку [11].

Музей торфяной промышленности занимал более 400 кв. м площади (рис. 4).

Музей имел 10 отделов:

- «Вводный»;
- «В.И. Ленин и торфяная промышленность»;
- «Подготовка торфяных месторождений к эксплуатации»;
- «Фрезерный торф»;
- «Гидроторф»;
- «Экскаваторный торф»;
- «Транспорт торфа»;
- «Торф в сельском хозяйстве»;
- «Механическая переработка торфа»;
- «Химическая переработка торфа».

Во вводном отделе размещались:

- стенды с натурными образцами торфов, классификацией торфа;
- картины болот;
- стратиграфические разрезы торфяных залежей;
- инкрустированная ценными породами дерева карта, на которой показаны основные торфяные месторождения и запасы торфа в стране, электростанции на торфяном топливе (рис. 5);
- портреты великих русских ученых М.В. Ломоносова, Д.И. Менделеева, их высказывания о торфе;
- фотопортреты деятелей торфяной отрасли, лауреатов государственных премий за создание новых машин и методов осушения, разработку конструкций машин для добычи кускового и фрезерного торфа, Героев Социалистического Труда;
- патентные грамоты и авторские свидетельства на важнейшие изобретения в области торфодобыwania;
- приборы, разработанные и применяемые в торфяном производстве (влагомеры, про-

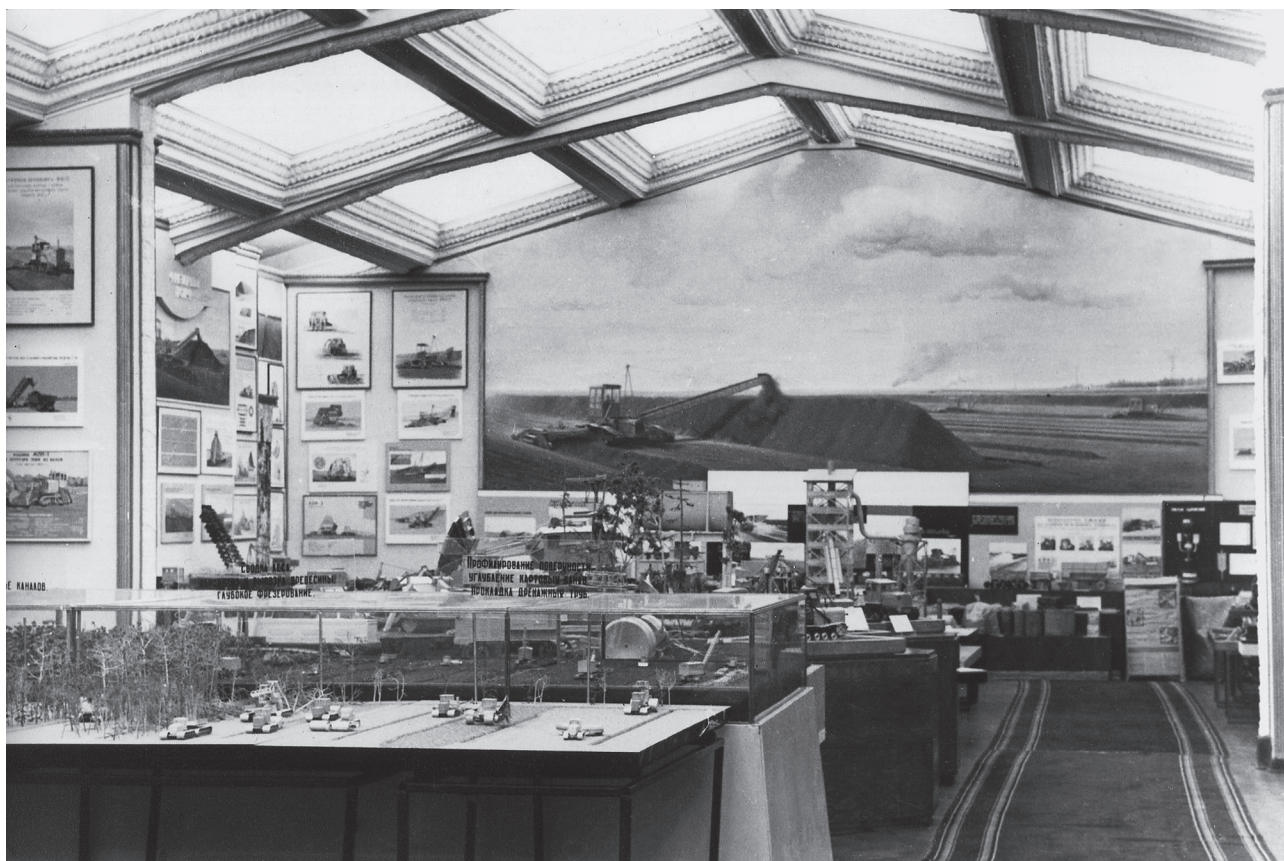


Рис. 4. Центральный зал музея торфяной промышленности

Fig. 4. Central Hall of the Peat Industry Museum



Рис. 5. Инкрустированная карта торфяных месторождений СССР

Fig. 5. Inlaid map of peat deposits of the USSR

боотборники, почвенный испаритель, влагопотенциометры и другие);

- историческая литература по торфу;
- альбомы по развитию торфяной промышленности, брошюры, проспекты, плакаты.

В отделе «В.И. Ленин и торфяная промышленность» находились фотокопии писем, декретов, документов, подшивки газет 1920–1940-х годов.

Экспонировались также карта электрификации России с отмеченными на ней электростанциями на торфяном топливе, построенными по плану ГОЭЛРО, панно Шатурской ГРЭС, первой электростанции на торфяном топливе в советской стране (рис. 6).

В этом же отделе находилась мемориальная выставка «И.И. Радченко, основатель торфяной промышленности» с фотографиями, документами, личными и служебными письмами И.И. Радченко.

В разделе «Подготовка торфяных месторождений к эксплуатации» были представлены плакаты, макеты технологического процесса подготовки полей, применяемых машин и механизмов – экскаваторов, машин для сводки леса, корчевки пней, профилирования поверхности, сбора пней, машин для прочистки каналов, дренажных машин и других, коллекции дренажных труб.

В разделе «Фрезерный торф» имелись большие панно фрезерного способа добычи тор-

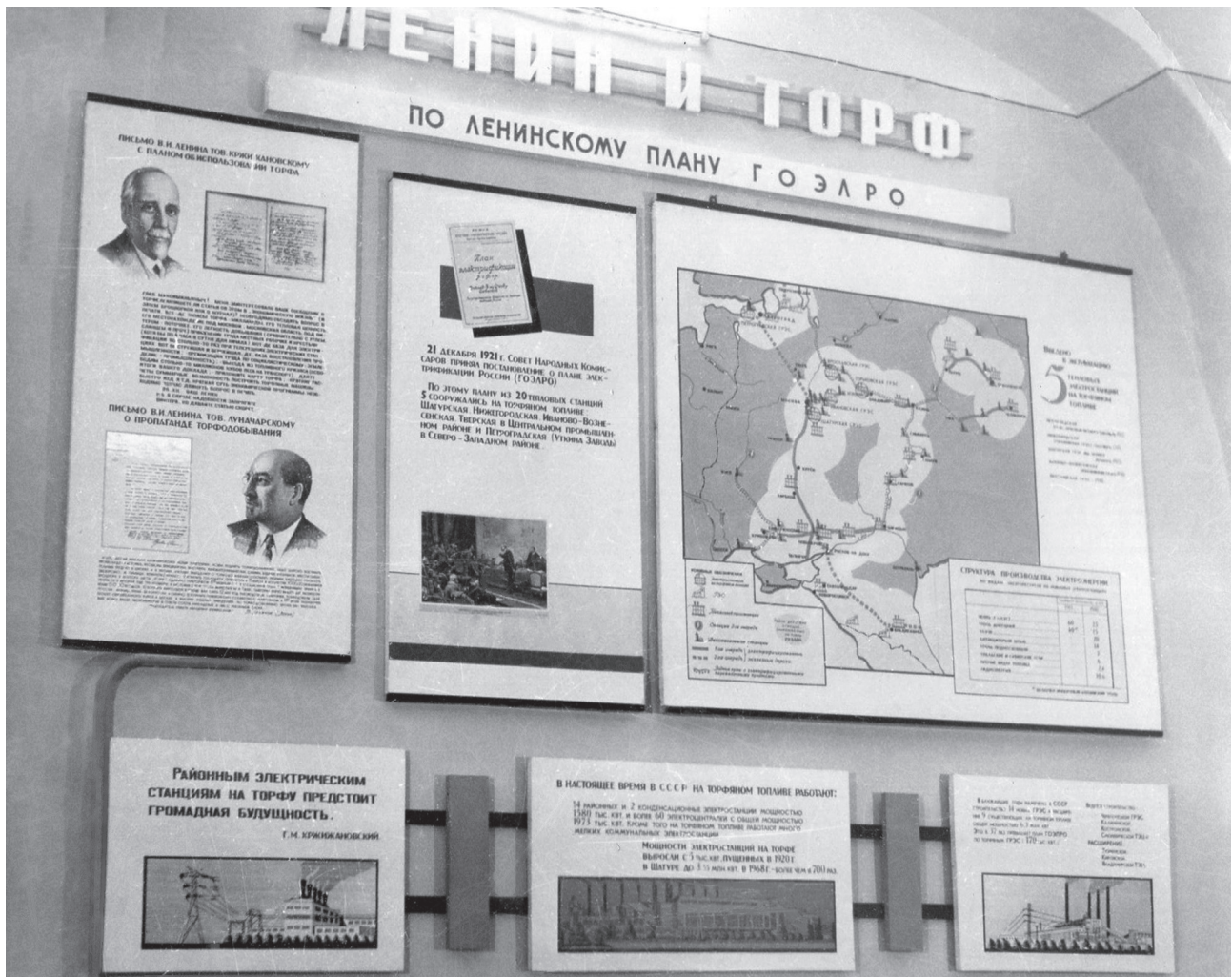


Рис. 6. Ленинский план электрификации в отделе «Ленин и торф»

Fig. 6. Lenin electrification plan in the Lenin and Peat Department

фа, витражи на стекле, технические плакаты, крупноразмерные диапозитивы, многочисленные модели, макеты машин и оборудования для добычи и уборки фрезерного и гранулированного торфа (рис. 7).

В отделе «Гидроторф» центральное место занимала диорама технологической схемы добычи торфа гидравлическим способом (рис. 8).

В отделе «Экскаваторный способ добычи торфа» были представлены панно, плакаты, модели багеров, багерно-элеваторных машин, экскаваторов, стилочных, фрезерно-формовочных машин для добычи кускового торфа (рис. 9).

В отделе «Транспорт торфа» были модели и плакаты, на которых представлены торфоперегрузчики, погрузочные машины, машины и механизмы по ремонту железнодорожных путей узкой колеи, локомотивы, тепловозы,

вагоны, саморазгружающиеся вагоны, локомотивно-вагонное депо.

В отделе «Торф в сельском хозяйстве» экспонировались работы по изучению применения торфа в сельском хозяйстве, начиная с XVIII века, макеты разбрасывателей удобрений, скрепера-бульдозера, контейнеров, цистерн, натурные образцы продукции из торфа для использования в сельском хозяйстве – подстилка, питательные брикеты, горшочки, ростовые вещества и другие, макет первого завода по производству торфяных удобрений.

В отделе «Механическая переработка торфа» были представлены уникальные макеты торфобрикетного завода, пресса, факельно-слоевой топки, сушилки, установки для производства изоляционных плит из торфа, натурные образцы торфяных брикетов, продукции завода по изготовлению теплоизоляционных плит.



Рис. 7. Отдел «Фрезерный торф»

Fig. 7. Milling Peat Department



Рис. 8. Отдел «Гидроторф»

Fig. 8. Department «Hydrotorf»



Рис. 9. Отдел «Экскаваторный торф»

Fig. 9. Excavator Peat Department

В отделе «Химическая переработка торфа» находились данные о заводе торфяного воска, натурные образцы продукции химической переработки торфа – спирт, фенолы, воск, целлюлоза, дрожжи, кислоты, парафин и другие.

После закрытия музея больше 20 лет назад часть экспонатов была передана в школьный музей пос. Радченко.

В 2010 году на базе Томского государственного педагогического университета был организован Музей торфа [12].

В 2016 году на основе части экспозиции музея геологии и природных ресурсов Тверской области Тверского государственного технического университета открыт новый музей торфяного дела [13].

Экспонаты и материалы музея по различным направлениям торфяного дела служат

образовательным и научным потенциалом специалистов по торфу.

Библиографический список

1. РГИА. Торфмейстерская часть Отдела земельных улучшений (ОЗУ) Министерства земледелия. Фонд № 425.
2. Ежегодник Отдела земельных улучшений / Министерство земледелия, Отдел земельных улучшений. – Петроград: типография В.Ф. Киршбаума, 1912. – С. 715.
3. Иллюстрированное описание Всероссийской художественно-промышленной выставки в Москве. – 1882. – 270 с.
4. Сытин Л.А. Торфяное дело за границей / Л.А. Сытин // Известия Министерства земледельческих и государственных имуществ. – 1895. – № 27. – С. 469–470.

5. *Сытин Л.А., Танфильев Г.И.* Указатель главнейшей литературы о болотах и торфяниках Европейской России и их утилизации в сельском хозяйстве и промышленности. – СПб., 1896. – 38 с.
6. *Сытин Л.А.* Торфяное производство // Сборник «Россия в конце XIX века» / Под общей ред. В.И. Ковалевского. – СПб.: Издательство Министерства финансов, 1900. – С. 233–236.
7. Ежегодник Отдела земельных улучшений / Министерство земледелия, Отдел земельных улучшений. – Петроград: типография В.Ф. Киршбаума, 1913. – С. 227–231.
8. Музей по торфодобыванию при Торфмейстерской части Отдела земельных улучше-
ний // Вестник торфяного дела. – 1914. – № 3. – С. 312–333.
9. *Бахтеев Ф.Я.* Центральная торфяная станция. – М., 1925. – 96 с.
10. *Руфин И.И.* Музей Инсторфа (заметки для посетителей). – Калинин, 1935. – 26 с.
11. Музей торфяной промышленности (проспект). – М.: ЦБНТИ, 1975. – 44 с.
12. [https://: torfmuseum \(tilda.ws\)](https://torfmuseum(tilda.ws)) (дата обращения: 8.11.2023).
13. [https://:new.tstu.tver.ru/about/museum//?ysclid=loq58ur27q189386379](https://:new.tstu.tver.ru/about/museum/?ysclid=loq58ur27q189386379) (дата обращения: 8.11.2023).

УДК 622.331(09)

Копенкина Л.В.

Копенкина Любовь Владимировна, к. т. н., доцент кафедры технологических машин и оборудования Тверского государственного технического университета, Тверь, Академическая, 12, lvkopenkina@mail.ru

ПРОФЕССОР В.Ф. СИНИЦЫН (к 85-летию со дня рождения)

Аннотация. В статье отмечается вклад профессора Синицына В.Ф. в развитие образования и науки в области проектирования торфяных машин.

Ключевые слова: история торфяного дела, торфяное образование, торфяные машины, проектирование, В.Ф. Синицын.

Kopenkina L.V.

Kopenkina Lubov V., Dr., Associate Professor of the Chair of Technological Machinery and Equipment of the Tver State Technical University, Tver, Akademicheskaya, 12, lvkopenkina@mail.ru

PROFESSOR V.F. SINITSYN (on the 85th anniversary of his birth)

Abstract. The article notes the contribution of Professor Sinitsyn V.F. to the development of peat education and science in the field of peat machine design.

Keywords: history of peat industry, peat education, peat machines, design, Sinitsyn V.F.

Вячеслав Федорович Сеницын (рис. 1) – профессор, доктор технических наук, педагог, ученый, разработавший новые методы проектирования торфяных машин с помощью компьютерного расчета.

Вячеслав Федорович Сеницын родился 12 октября 1938 года в городе Шацке Рязанской области в многодетной семье служащего Ф.Л. Сеницына (1897–1982) (рис. 2), уроженца деревни Новенькое Конаковского района Тверской области.

До 1930 года его родители были крестьянами. Отец, Федор Лаврентьевич Сеницын – участник первой мировой и гражданской войн как рядовой в артиллерийской батарее по стрельбе по воздушным целям (рис. 3).

В детские и школьные годы Сеницына семья проживала в деревне Новенькое, торфопредприятиях имени В.В. Воровского (станция Храпуново), Осаново-Дубовое, Рязановское Московской области, где работал отец в отделе рабочего снабжения Министерства электростанций.



Рис. 1. В.Ф. Сеницын (1983)

Fig. 1. V.F. Sinitsyn (1983)



Рис. 2. Ф.Л. Сеницын с женой и детьми (1930)

Fig. 2. F.L. Sinitsyn with the wife and childrens (1930)



Рис. 3. Ф.Л. Сеницын (1916)

Fig. 3. F.L. Sinitsyn (1916)

В 1956 году В.Ф. Сеницын окончил среднюю школу в поселке Рязановка Шатурского района Московской области. В 1957 году поступил на специальность «Разработка торфяных месторождений» механико-технологического факультета Московского торфяного института (МТИ), который окончил в 1962 году уже в Калининне (в связи с переездом института) с присвоением квалификации инженер-механик.

С 1962 года он стал работать инженером отдела научно-исследовательских работ Калининского торфяного института (рис. 4).

В 1964–1967 гг. обучался в аспирантуре Калининского торфяного (политехнического с 1965 года) института на кафедре торфяной механики (позднее торфяных машин и оборудования).

В 1970 году он защитил кандидатскую диссертацию на тему «Исследование процесса сообщения скорости срезаемому материалу и некоторых вопросов энергетики резания при фрезеровании торфяной залежи». Научным

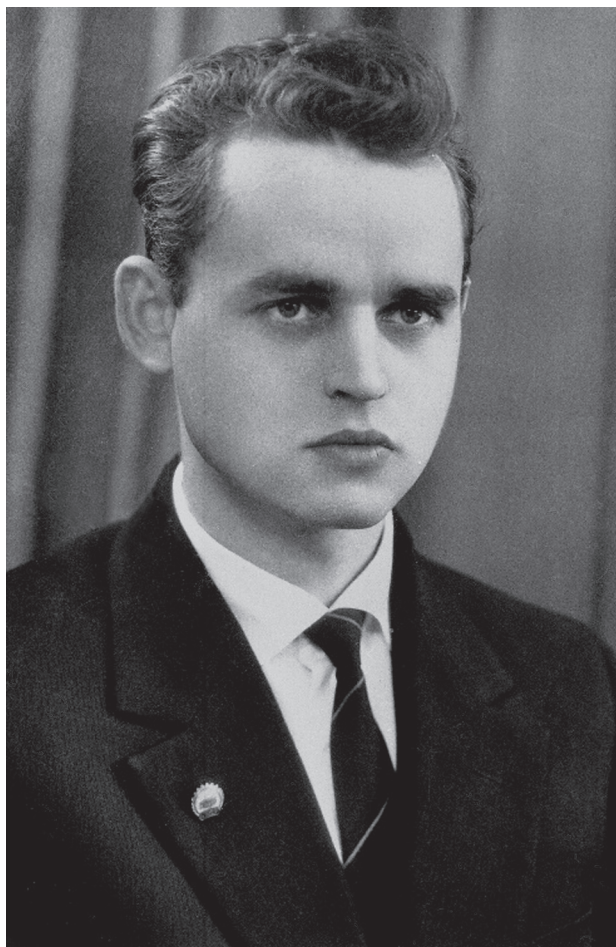


Рис. 4. В.Ф. Сеницын в год окончания МТИ (1962)

Fig. 4. V.F. Sinityn in the year of graduation from MPI (1962)

руководителем был профессор Михаил Васильевич Мурашов.

В 1960–1970-е годы В.Ф. Сеницын участвовал в научной работе кафедры по теме «Интенсивное осушение торфяных месторождений глубоким дренажом».

Он определил аналитическим способом деформационные свойства торфа при ударных нагрузках, осадку и давление под цилиндрическим колесом, в том числе в случае его внецентренного нагружения [1], расходы энергии, связанные с сообщением скорости срезаемому грунту, деформацию торфяного грунта в процессе резания и энергоёмкость резания [2] (рис. 5), мощность привода дисковой пилы машины для сводки леса [3].

В 1970–1980-е годы он участвовал в научной работе по темам:

- разработка способа подготовки верховых торфяных залежей малой степени разложения в зимний период (1979);
- оказание технической помощи объединению «Шатурторф» при внедрении фрезера МТФ-14А, оснащенного фрезами с проходными режущими элементами» (1980–1981);
- внедрение рабочих органов машин Ф-9Р и МТП-42, оснащенных проходными ножами конструкции КПИ в производственном объединении «Шатурторф» (1982);
- проверка в производственных условиях метода и хода расчета производительности фрезерующих машин с учетом качественной характеристики залежи и надежности фрезеров (1983);
- определение области применения фрезеров, работающих в торфяной промышленности, рекомендации и разработка эскизного проекта универсального фрезера к трактору ВТ-200 (1984–1985) (рис. 6);
- разработка методики технико-экономического обоснования рациональных параметров добывающих фрезеров к энергонасыщенным тракторам с учетом условий работы (1985–1986);
- исследование электростатических явлений при хранении торфа (1984–1985).

В 1980-е годы он разработал методику технико-экономического обоснования рациональных параметров добывающих фрезеров, использовал численный метод определения нагрузок на фрезерующем рабочем органе [4].

В 1999 году В.Ф. Сеницын защитил докторскую диссертацию на тему «Научные основы

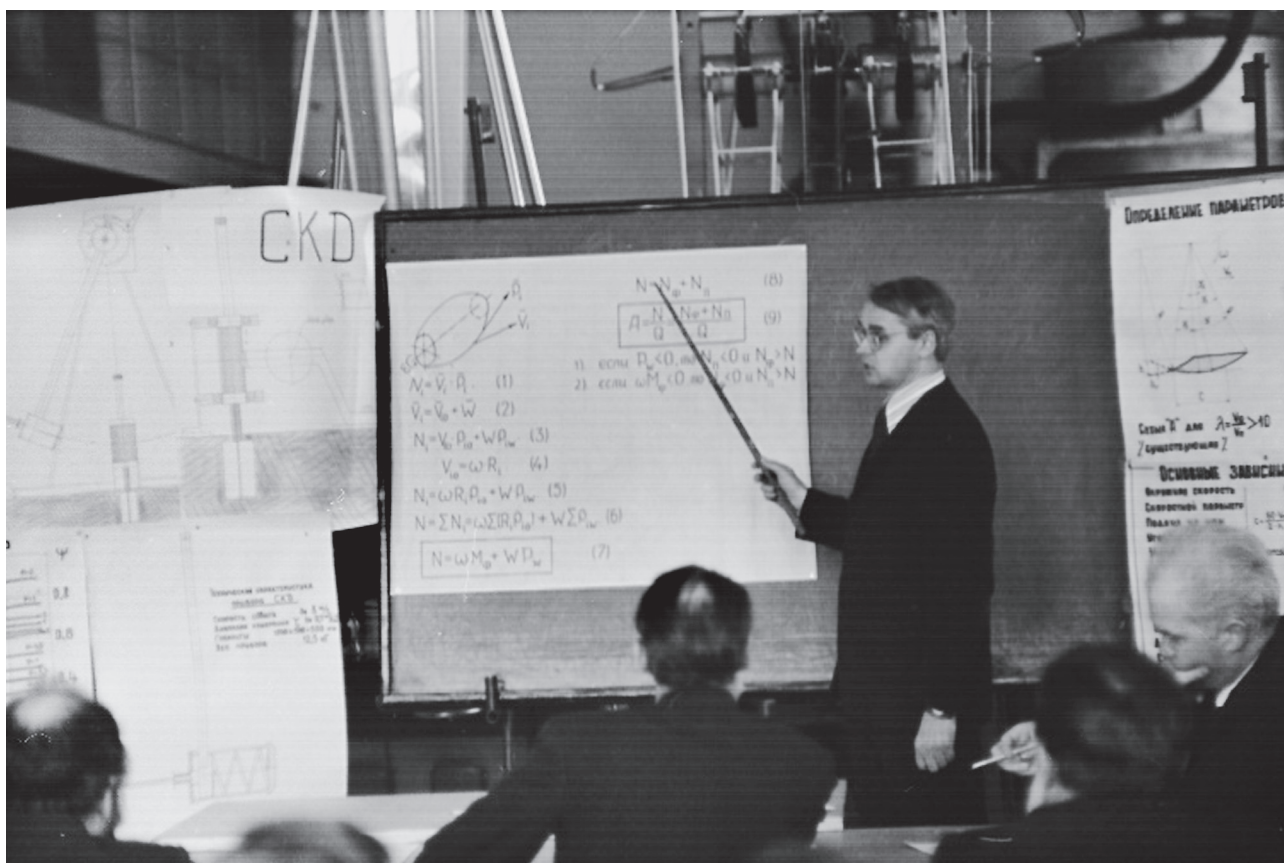


Рис. 5. В.Ф. Синицын на научно-технической конференции КПИ (1976)

Fig. 5. V.F. Sinitsyn at the KPI Scientific and Technical Conference (1976)



Рис. 6. В.Ф. Синицын на торфяном поле объединения «Шатурторф» (1985)

Fig. 6. V.F. Sinitsyn on the peat field of the Shaturtorf association (1985)

проектирования параметров ходовых и фрезерующих устройств торфяных машин».

Им были разработаны теоретические основы и аналитические решения:

- определения краевых давлений под гусеницами машины, параметров подвески, при которых обеспечивается снижение краевых давлений под опорными поверхностями гусениц не менее чем на 10–15%;
- задачи уравнивания гусеничной машины методом поэтапной оптимизации, в том числе с использованием машинной графики, что позволило достигнуть снижения краевых давлений под гусеницами [5];
- теоретические основы и алгоритмы проектирования параметров жесткого цилиндрического колеса, в том числе внецентренно нагруженного;
- теоретические основы и алгоритмы проектирования оптимальных геометрических параметров ножа фрезы, что позволило уменьшить удельный расход энергии на резание [6];
- задачи силового и энергетического расчета фрез поверхностно-послойного фрезерования;

- выбора продольной базы и размещения фрезы относительно опор с целью наилучшей копирующей или планирующей способности фрезера [7];
- процесса обработки поверхности торфяной залежи добывающим фрезером [8];
- задачи определения минимальной мощности привода и момента инерции фрезы машины для срезки древесной растительности [9];
- процесса взаимодействия инерции фрезы машины для срезки древесной растительности.

Компьютерные эксперименты с имитационной моделью на стадии технического проекта, по результатам работы Сеницына, могут заменить один сезон полевых испытаний [10].

В 2000-е годы им была разработана виртуальная лабораторная установка для определения скорости витания торфа [11], предложен алгоритм вычисления текущей толщины стружки, срезаемой ножом фрезы, имитационная модель обработки поверхности залежи фрезером, решение задачи геометрического проектирования ножа фрезы, алгоритм вычислений текущих сопротивлений, действующих на фрезу [12–17].

Как преподаватель в Калининском политехническом институте В.Ф. Сеницын работал ассистентом кафедры торфяной механики, старшим преподавателем, доцентом (1976), профессором кафедры торфяных машин и оборудования (2003).

На кафедре он читал лекционные курсы по дисциплинам «Торфяные машины и оборудование», «Техническое и программное обеспечение САПР», «Математические модели и методы САПР», «Математическое обеспечение САПР», «Автоматизированное проектирование торфяных машин и оборудования», «Моделирование технологических процессов торфяного производства».

Рецензировал докторские диссертации С.Д. Гильмсона, В.Г. Бугрова, Б.Ф. Зюзина.

Руководил научно-исследовательской работой студентов (рис. 7). Ежегодно под его руководством студенты успешно готовили доклады на студенческие научно-технические конференции и конкурсы студенческих научных работ.

Профессор В.Ф. Сеницын являлся членом диссертационного совета Д 212.262.03 по специальности 05.05.06 Горные машины.



Рис. 7. Профессор В.Ф. Сеницын с магистрантами И.В. Парфугиной и М.А. Соловьевым (2021)

Fig. 7. Professor V.F. Sinitsyn with the master's students I.V. Parfugina and M.A. Solovyov (2021)

Автор учебников для вузов с грифом Государственного комитета по народному образованию (соавтор – Л.Н. Самсонов):

- «Торфяные машины и комплексы. Часть. 1. Взаимодействие ходовых устройств с торфяной залежью» (1995, 144 с.).
- Часть II. «Экскавация торфа из залежи» (1999, 186 с.).
- Часть III. «Гидропривод торфяных машин. Основы расчета конструкций фрезерующих устройств. Пневматическое транспортирование торфа. Механическая переработка торфомассы» (2001, 138 с.).

Автор учебных пособий:

- «Автоматизированный расчет и проектирование торфяных машин» (с грифом УМО вузов РФ по образованию в области горного дела, 2002, 116 с.);
- «Сборник задач по расчету торфяных машин» (2018, 160 с. Соавтор – Л.В. Копенкина);
- «Компьютерные технологии в проектировании. Лабораторный практикум» (2020, 112 с. Соавтор – Л.В. Копенкина).

Автор монографий:

- «Математические модели теории вероятностей в задачах исследования и проектирования торфяных машин» (2017, 172 с. Соавтор – Л.В. Копенкина);
- «Автоматизированное проектирование» (2018, 176 с. Соавтор – Л.В. Копенкина).

За успехи в труде и активное участие в общественной жизни института неоднократно награждался знаком «Победитель социалистического соревнования», почетной грамотой Министерства высшего образования, грамотами вуза, получал благодарности руководства вуза.

Библиографический список

1. *Синицын В.Ф.* Определение осадок и давлений под цилиндрическим колесом в случае его внецентренного нагружения // Известия вузов. Горный журнал. – 1972. – № 6. – С. 86–89.
2. *Синицын В.Ф.* К вопросу экспериментального определения сил сопротивления резанию, действующих на фрезу // Комплексная механизация торфяного производства: Сб. научн. тр. – Калинин: КПИ, 1973. – С. 146–152.
3. *Синицын В.Ф.* Расчет мощности привода дисковой пилы машины для сводки леса // Торфяная промышленность. – 1975. – № 1. – С. 11–12.
4. *Синицын В.Ф.* К методике экспериментального определения удельного расхода энергии на фрезерование грунта // Известия вузов. Горный журнал. – 1977. – № 2. – С. 106–107.
5. *Синицын В.Ф.* Алгоритм уравнивания торфяных гусеничных машин // Известия вузов. Горный журнал. – 1981. – № 2. – С. 68–71.
6. *Синицын В.Ф.* Алгоритм вычисления текущей толщины стружки, срезаемой ножом фрезы // Технология и комплексная механизация торфяного производства: межвузовский сборник научных трудов. – Тверь: ТГТУ, 1996. – С. 68–75.
7. *Синицын В.Ф.* Имитационная модель обработки поверхности торфяной залежи фрезером // Технология и комплексная механизация торфяного производства: сборник научных трудов. – Тверь: ТГТУ, 1997. – С. 156–160.
8. *Синицын В.Ф.* К вопросу о выборе продольной базы фрезера и размещении фрезы от-носительно опор / Технология и комплексная механизация торфяного производства: межвузовский сборник научных трудов. – Тверь: ТвПИ, 1994. – С. 65–78.
9. *Синицын В.Ф.* Сопротивление резанию и подаче на рабочем органе машины для сводки древесной растительности // Торфяная промышленность. – 1989. – № 1. – С. 7–8.
10. *Синицын В.Ф.* Компьютерный эксперимент – средство проектирования оптимальных параметров добывающего фрезера // Материалы юбилейной конференции ученых и преподавателей Тверского государственного технического университета. – Тверь: ТГТУ, 1998. – С. 11–12.
11. *Синицын В.Ф.* Разработка виртуальной лабораторной установки для определения скорости витания торфа // Научный вестник МГГУ. – 2011. – № 2 (11). – С. 70–75.
12. *Синицын В.Ф.* Исследование деформационных свойств неосушенной торфяной залежи методом статистического моделирования // Научный вестник МГГУ. – 2011. – № 2 (11). – С. 76–80.
13. *Синицын В.Ф.* Одна особенность решения задачи об определении осадок под цилиндрическим колесом в случае его внецентренного нагружения // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2014. – № 4. – С. 268–271 (соавтор – Л.В. Копенкина).
14. История вопроса об энергетическом балансе процесса фрезерования // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2014. – № 5. – С. 193–198 (соавтор – Л.В. Копенкина).
15. Имитационная модель машины для сводки древостоя // Горный информационно-аналитический бюллетень. – М.: Горная книга, 2014. – № 11. – С. 162–166.
16. Программа для расчетного уравнивания гусеничной машины. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ №2015612135. Дата регистрации 13 февраля 2015 г.
17. Некоторые особенности решения задачи определения осадок под цилиндрическим колесом в случае его внецентренного нагружения // Труды Инсторфа: научный журнал. – Тверь: ТвГТУ, 2016. – № 13 (66). – С. 40–48.