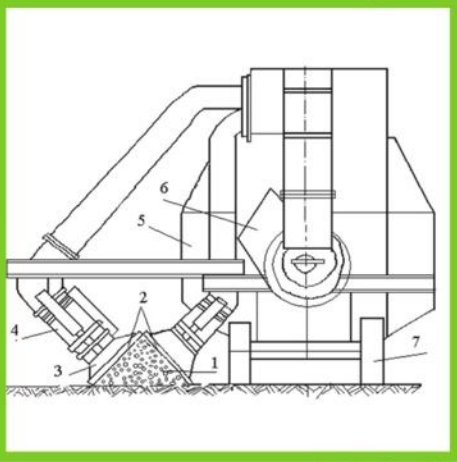
ISSN 2224-1523

Научный журнал
Восточно-Европейского института торфяного дела
Тверского государственного технического университета

ИНСТОРФ

№16 (69) 2017

ТРУДЫ ИНСТОРФА



Министерство образования и науки РФ

Восточно-Европейский институт торфяного дела
Тверского государственного технического университета

ТРУДЫ ИНСТОРФА

Научный журнал

Издается с апреля 1922 года
Выходит два раза в год

№ 16 (69)
июль–декабрь 2017 г.

Тверь 2017

УДК 622.331(05)
ББК 26.343.4я5

Труды Инсторфа: научный журнал. № 15 (68) (июль–декабрь 2017 г.). Тверь: ТвГТУ, 2018. 53 с.

Учредитель и издатель: Тверской государственный технический университет

Главный редактор
проф., д. ф.-м. н. Андрей Викторович Твардовский

Научный редактор
акад. НАНБ, д. т. н. И.И. Лиштван

Редакционный совет:
проф., д. э. н. Г.А. Александров;
проф., д. т. н. А.Н. Васильев;
проф., д. т. н. В.И. Горячев; проф., д. т. н. Н.В. Гревцев;
чл.-корр. РАН, д. с-х. н. Л.И. Инишева;
проф., д. т. н. Б.Ф. Зюзин (*зам. научного редактора*);
проф., д. т. н. А.В. Кондратьев;
проф., д. х. н. Ю.Ю. Косивцов;
проф., д. т. н. В.И. Косов; проф., д. б. н. О.Л. Кузнецов;
проф., д. г. н. Б.В. Курзо;
проф., д. б. н. Е.Д. Лапшина;
проф., д. т. н. Б.И. Масленников;
проф., д. т. н. А.В. Михайлов;
проф., д. т. н. В.А. Миронов;
проф., д. т. н. Б.В. Палюх; проф., д. т. н. В.Г. Селеннов;
проф., д. т. н. В.Ф. Синицин; д. б. н. А.А. Сирин;
проф., д. х. н. Э.М. Сульман; д. б. н. Т.К. Юрковская;
доц., д. т. н. А.Л. Яблонев

Редакционная коллегия:
проф., д. т. н. С.Н. Гамаюнов;
проф., д. т. н. Ю.Н. Женихов;
доц., д. т. н. О.С. Мисников;
доц., д. г. н. В.В. Панов (*зам. главного редактора*);
доц., д. т. н. К.В. Фомин

Секретарь редакционной коллегии
к. т. н. А.Е. Тимофеев

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

Свидетельство о регистрации
Эл № ФС 77-41964 выдано 9.09.2010 г.
Федеральной службой 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

Подписано в печать 26.01.18 г.
Формат 60×84 1/8. Усл. печ. л. 6,75.
ООО «Издательство «Триада»
170034, г. Тверь, пр. Чайковского, д. 9, оф. 514

ISSN 2224-1523

© Тверской государственный технический университет, 2018

СОДЕРЖАНИЕ

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

Болотная вода Европейской части России – резерв питьевой воды в чрезвычайных ситуациях 3

Шахматов К.Л., Орлов Т.В.

Использование беспилотных летательных аппаратов для мониторинга восстанавливаемых болотных экосистем 11

Панов В.В., Женихов Ю.Н., Женихов К.Ю.

Об особенностях влияния сточных вод на торфяные болота 18

Васильев А.Н.

Технология добычи фрезерного торфа с досушкой его на откосах многоцикловых валков 25

Болтушкин А.Н., Купорова А.В.

Методика определения количества рабочих дней на вывозке торфа из укрупненных валков 29

Фомин К.В., Крылов К.С., Харламов В.Е., Морозихина И.К., Михалочкина В.Н.

Определение плотности распределения момента сопротивления на рабочем органе шнекового профилировщика при выполнении технологической операции 34

Кочканян С.М., Кондратьев А.В., Павлов Ю.Н.

Исследование процесса накручивания растительности на валы дискового сепаратора торфяных машин 39

Горфин О.С., Яблонев А.Л., Щербаков И.П., Савцов Е.А.

Эффективность использования утилизатора теплоты и очистки дымовых газов на ТЭЦ, работающей на буром угле 44

Копенкина Л.В.

Конструктор торфяных машин 50

УДК 556.3:543.3:628.1

Ахметьева Н.П.

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

Беляев А.Ю.

Беляев Алексей Юрьевич, с. н. с., к. ф.-м. н., лаборатория гидрогеологических проблем охраны окружающей среды ИВП РАН. believ@aqua.lazer.ru

Кричевец Г.Н.

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

Лапина Е.Е.

Лапина Елена Егоровна, с. н. с., к. г.-м. н., ИВП РАН, отдел охраны водной среды. shtriter_elena@rambler.ru

Михайлова А.В.

Михайлова Алла Владимировна, с. н. с., к. х. н., лаборатория инструментальных методов и органических реагентов Института геохимии и аналитической химии им. В.И. Вернадского Российской академии наук (ГЕОХИ РАН), г. Москва, ул. Косыгина, 19. xemafiltra@yandex.ru

Akhmetyeva N.P.

Akhmetyeva Nina P., Ph. D., senior research of Environmental Hydrogeology Laboratory of Water Problems Institute of the Russian Academy of Sciences. Moscow, Gubkina, 3.

Belyaev A.Yu.

Belyaev Alexey Yu., Ph. D., senior research of Environmental Hydrogeology Laboratory of Water Problems Institute of the Russian Academy of Sciences.

Krichevets G.N.

Krichevets Gennadiy N., Ph. D., senior research of Environmental Hydrogeology Laboratory of Water Problems Institute of the Russian Academy of Sciences.

Lapina E.E.

Lapina Elena E., Ph.D., senior research, Water Problems Institute of the Russian Academy of Sciences.

Mikhailova A.V.

Mikhailova Alla V., Ph.D., senior research, Vernadsky Institute of Geochemistry and Analytical Chemistry of the Russian Academy of Sciences. Moscow, Kosyigina, 19.

БОЛОТНАЯ ВОДА ЕВРОПЕЙСКОЙ ЧАСТИ РОССИИ – РЕЗЕРВ ПИТЬЕВОЙ ВОДЫ В ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЯХ

Аннотация. Приведены результаты полевых, лабораторных и фондовых исследований болотных массивов Европейской части РФ для оценки качества их вод как потенциального источника водоснабжения. Большую ценность для питьевого водоснабжения имеют озера карстового происхождения и озера, получающие подток грунтовых вод, приуроченных к песчаным прослоям и линзам в моренных суглинках. Изучены также изменения состава болотных вод в связи с пожарами на болотных массивах.

Ключевые слова: болотные воды, карстовые озера (напорные), озера с грунтовым питанием, анализ природной воды, Европейская часть России.

BOG WATER IN EUROPEAN RUSSIA AS A DRINKING-WATER SOURCE IN EMERGENCIES

Abstract. The paper gives the results of field, laboratory, and archive studies of mires in European Russia for assessing the quality of their water as a potential water supply source. The authors emphasize the great importance for drinking water supply of lakes of karst and lakes in fed by subsoil waters confined to sand seams and lenses in moraine loams. Changes in bog water chemistry are also studied in the context of fires in mires.

Key words: bog water, karst lakes (confined), lakes with seepage flow, natural water analyses, European Russia.

Болотные воды, широко распространенные на территории России, можно рассматривать как резерв чистых пресных вод при возникновении чрезвычайных ситуаций. Их можно использовать для питья (при соответствующей обработке), полива, тушения пожаров и в других хозяйственных целях. Площадь болот на Европейской части России составляет ~3 млн га.

В настоящее время болотные воды используются в очень малых количествах, так как Россия богата поверхностными и подземными пресными водами хорошего качества. Интересно отметить, что болотные воды в санитарном отношении безопасны для питья.

Целью работы является изучение химического состава болотных и озерных вод, относящихся к единой гидравлической системе, а также изменение состава в связи с торфяными пожарами и проводимыми мелиоративными.

Известно, что химический состав болотных вод формируется в зависимости от состава подстилающих материнских пород и физико-географических условий местности – атмосферных осадков, температуры воздуха, состава растительности и прочих поверхностных компонентов.

По строению территории Европейской части России четко выделяется Фенноскандия на севере, представленная интрузивными породами кислого и основного состава и метаморфическими породами, нарушенными разломами, в том числе и глубинного заложения, создающими мозаичную структуру фундамента, на котором формировались болота голоцена. В связи с близостью океана, господствующим направлением ветров с запада на восток, атмосферные осадки содержат значительное количество Cl, Na, и K, а содержание Ca, Mg и гидрокарбонатов низкое.

В озерах Карелии накапливаются диатомиты – осадочные голоценовые породы, более чем на 50% состоящие из кремнистых раковин микроскопических водорослей – диатомей. Образующиеся здесь сапропели также содержат 35–49% SiO_2. Основным поставщиком кремнекислоты являются кварц-полевошпатовые пески, образовавшиеся за счет разрушения коренных пород [1].

Болотные воды Карелии и Кольского полуострова отличаются повышенным содержанием в них растворенной кремнекислоты, наличием фосфора, иногда нитратов, низкими значениями общей минерализации. Растворенное органическое вещество представлено преимущественно водорастворимыми и легкогидролизуемыми фракциями.

С юга к фенноскандинавскому кристаллическому щиту примыкают породы палеозойского осадочного чехла Русской платформы. Здесь породы представлены известняками, доломитами, мергелями, обогащающими болотные воды ионами Ca, Mg и гидрокарбонатами. К востоку и северо-востоку от Москвы залегают мощные толщи терригенных соленосных отложений – песчаников, аргиллитов, гипсов, морских солей, снабжающих подземную гидросферу ионами Cl, SO_4, Na, K, Ca и Mg [2].

Состав атмосферных осадков над территорией центральной части России несколько изменяется по сравнению с северными территориями. Атмосферные осадки становятся гидрокарбонатными, менее кислыми (pH составляет ~7), их минерализация возрастает до 100–150 мг/дм^3. На этом фоне болотные воды центра России также приобретают существенные черты в ее химическом составе. В местах распространения пермских и триасовых отложений возрастает роль сульфатных, а иногда и хлоридных вод. К югу болотные воды становятся более минерализованными.

Объекты и методика исследований

Полевые исследования проводили в 2002, 2003 и 2010–2016 гг., в основном в весенне-осенний период, на осушенных ранее участках болот Галицкий Мох, Шумновское, Климошинское (Конаковский р-н Тверской области), Радовицкий Мох (Шатурский р-н) и Дубненский массив (Талдомский р-н Московской области) и Тасин Бор (Гусевской р-н Владимирской области).

Особое внимание уделено озерам типично болотного происхождения с темноокрашенной водой (от красно-коричневого до желтого или бурого цветов), так называемым «Черным» и озерам карстового происхождения с чистой прозрачной водой без запаха – «Белым». Первые – неглубокие, глубиной 1–5 м, вторые – глубокие, воронкообразной формы, глубиной до 50 м.

В крупнейшем болоте центра европейской России Оршинский Мох (67,7 тыс. га; Тверская область) большая часть крупных озер из нескольких десятков – это типичные болотные «черные» озера глубиной до 4 м с топкими, почти непроходимыми берегами. Часть наиболее крупных озер (Петровские), свя-

занных с озером Великое, имеют смешанный генезис и питание). Площадь озер меняется от нескольких гектаров до нескольких тысяч [3, 4]. По указанным данным зимой в Петровско-Оршинских озерах увеличивается минерализация и снижается цветность, что прямо указывает на ритмичное поступление грунтовых и напорных вод. Например, температура воды в оз. Глубокое (его максимальная глубина 4,8 м) в приповерхностном слое – 18,5 °С, на дне – 16,5 °С и обычно на 5–6 градусов ниже, чем в озерах, имеющих атмосферное питание.

Из естественных водоемов внутри болот обследованы озера Песочное (Оршинский мох), Старковское (одноименное болото Калининского района Тверской области), Вышнево (болото Красный мох Кимрского района Тверской области) и Климошино (Климошинское болото Конаковского района Тверской области).

Воду отбирали из озер и из торфяных шурфов на полях прежней добычи торфа. Отбор проб воды проводили в чистые пластиковые бутылки объемом 1,5–2 л, избегая контакта с воздухом. Перед набором воды их тщательно ополаскивали вместе с крышкой. Заполняли бутылки полностью («под горлышко»), после чего плотно закрывали крышкой. Пробы отправляли в лабораторию сразу, реже хранили их в темном прохладном месте не более суток.

Воду из оз. Белое (глубиной 40 м и площадью ~40 га, округлой формы, содержит пресную прозрачную чистую воду; у санатория «Озеро Белое» Шатурского р-на Московской обл.) отбирали на середине озера с поверхности на общий химический анализ и на определение металлов. Пробы воды из оз. Селезневское (глубиной 13,5 м, площадью 20 га; у дер. Селезнево Рязанской обл.) отбирали со дна и с поверхности. Пробы воды из оз. Белое (округлой формы, его площадь 0,8 га, глубина, по опросным данным, 25–40 м, вода почти бесцветная, прозрачная, чистая, холодная; у дер. Бардуки Шатурского района) отобраны на середине озера с глубины 20 м (проба 7/16) и с водной поверхности (проба 8/16). Там же из оз. Черное (округлой формы, глубиной 3 м; прибрежная часть заросла кувшинками, дно песчаное, берега заторфованные; мощность торфяной залежи до 1,5 м; вода в озере желтая, с буроватым оттенком) отобрана проба в 3 м от берега с глубины 0,4 м (проба 9/16).

Общий химический анализ воды проводили в аттестованной лаборатории Иваньковской научно-исследовательской станции ИВП РАН.

Для определения металлов в воде использовали высокочувствительный метод масс-спектрометрии с индуктивно связанной плазмой (МС–ИСП). Измерения проводили на масс-спектрометре «ELAN DRC II» (Perkin Elmer, США). Полученные данные обрабатывали с помощью программы Elan ICP-MS Instrument Control, версия 3.4 [5].

Результаты работы и их обсуждение

Приводим сравнительный химический состав болотной воды с участков разного типа питания ранее осушенных и разрабатываемых болот Галицкий Мох, Дубненский массив и Радовицкий Мох, Тасин Бор за 2016 г. (табл. 1). В настоящее время все болота находятся в состоянии самовосстановления. Хорошо видно, что масштабное использование болот

Таблица 1. Химический состав воды участков торфяных болот разного типа

Table 1. Water chemistry in different types of peatlands

Показатель, размерность	Галицкий Мох (мезотрофный)	Дубненский массив		Радовицкий Мох (верховой)	Тасин Бор (верховой)
		верховой	низинный		
Водородный показатель, ед. pH	6,8	4,1	7,5	4,0	4,8
Цветность, град.	150	1200	350	480	59,8
Жесткость, мг-экв/дм^3	5,12	0,32	6,8	1,2	0,62
мг/дм^3					
Сухой остаток	398	185	516	208	31,9
Сульфаты	112,8	2,3	113,7	26,4	4,3
Хлориды	0,7	0,7	0,7	0,6	3,4
Аммоний-ион	0,08	0,9	0,8	0,78	3,0
Нитрат-ион	1,6	1,5	1,3	2,8	0,09
Фосфаты	0,04	0,02	0,77	0,01	0,08
Железо общ.	0,36	0,86	1,04	4,86	0,79
Кремний	4,0	2,6	2,3	Нет данных	Нет данных

и периодические пожары приводят к нарушению типовой принадлежности болотных вод – меняется кислотность, минерализация, цветность и другие показатели, восстанавливающиеся после окончания использования болот.

Торфяные пожары, произошедшие в 2010 г., привели к изменению химического состава болотных вод центральных районов Европейской части России. Их качество после пожаров изучалось на мониторинговых площадках в течение 6 лет. На мониторинговой площадке Галицкий Мох в 2016 г. установлено, что химический состав болотной воды стал практически таким же, каким был до пожара. Высокие значения общей минерализации, кальция, магния, сульфатов и показание pH до 8,5 постепенно с годами стали приближаться к исходным данным периода до пожаров [6].

На мониторинговой площадке Радовицкий Мох [7] прослеживается практически такая же картина. Здесь после пожара общая минерализация болотной воды достигала 1800 мг/дм^3, а содержание сульфатов – 1500 мг/дм^3, значение pH доходило до 9. Но за шесть лет исходный химический состав болотной воды вернулся к прежним значениям.

В 2016 г. также проводились наблюдения за изменением химического состава воды выработанного верхового болота Шумновское [8]. На этом болоте торф мощностью ~1 м был выработан машинно-формовочным способом к 1956 г. За 60 лет, прошедших после прекращения добычи, карьеры заросли сплавиной толщиной 0,6–0,8 м. Сплавина состоит из плохо разложившегося мха и водных растений рыхлого сложения, ее окраска меняется с глубиной от зеленого до бурого цвета; глубина залегания уровня болотных вод (УБВ) от 0 до 0,25 м летом, зимой – 0,4 м. Болотные воды имеют непостоянный состав: либо сульфатно-натриево-кальциевый, либо гидрокарбонатно-сульфатный кальциево-магниевый, причем смена состава происходит независимо от времени года. Воды отличаются высокой цветностью (180–280 град. по платиново-кобальтовой шкале), общая минерализация составляет 30–63 мг/дм^3, pH 4,9–5,4; образование сульфатов (3–8 мг/дм^3) и запаха сероводорода.

Дренажные воды большинства выработанных болот, где продолжает работать осушительная сеть, отличаются несколько повышенной минерализацией, слабокислым и близким к нейтральному значению водородным показателем (pH), в половодье их химический состав может меняться за счет разбавления талыми водами, но с сохранением типа воды. Болотные воды в целом имеют характерный запах и цвет, для устранения которых существуют апробированные методы.

Наибольшую питьевую ценность представляет вода озер карстового происхождения, расположенные на болотах или рядом с ними. Они широко распространены в болотах Мещеры [9].

Благодаря особенностям геологического строения Мещерской низменности – наличию гидрологических «окон» в перекрывающих водообильные известняки карбона юрских отложениях – местами образовались глубокие (до 52 м), воронкообразные озера с чистой пресной водой. До недавнего времени жители окрестных деревень использовали эту воду без очистки. Среди озер такого типа отметим: озера Белое у одноименной деревни и Селезневское (Рязанской области); оз. Белое (сан. «Озеро Белое»); оз. Белое (дер. Бардуки); оз. Глубокое Туголесской озерной группы; озера Щучье и Светлое Радовицкой озерной группы (МО). Вода этих озер чистая, прозрачная, бесцветная, имеет pH ~7, цветность до 10 град., перманганатная окисляемость (ПО), характеризующая содержание органического вещества – 3–5 мгО/дм^3, общая минерализация – 120–300 мг/дм^3, содержание металлов низкое, ни один из показателей не превышает ПДК [10].

Примером озера карстового происхождения является озеро Белое (дер. Белое), расположеное в долине р. Пра (рис. 1).

Геологический разрез этой долины (с запада на восток) построен по разрезам скважин, пробуренных в 1963–1969 гг. при проведении геолого-гидрологической съемки территории масштабом 1:200 000. Четвертичные отложения мощностью до 40 м представлены флювиогляциальными отложениями: супесями, галькой, щебнем, песком с отдельными валунами, образовавшимися в результате таяния ледника московского оледенения ($fgQ_{II}ms$).

Отложения залегают на размытой поверхности верхнеюрских глин (I_3) мощностью до 10 м и имеющих гидрогеологические окна, к которым приурочена разгрузка напорных вод из верхнекаменноугольных отложений (C_3ksm). Они представлены преимущественно известняками, с прослоями доломитов, мергелей, иногда глин; породы трещиноватые, кавернозные, содержат большие запасы пре-

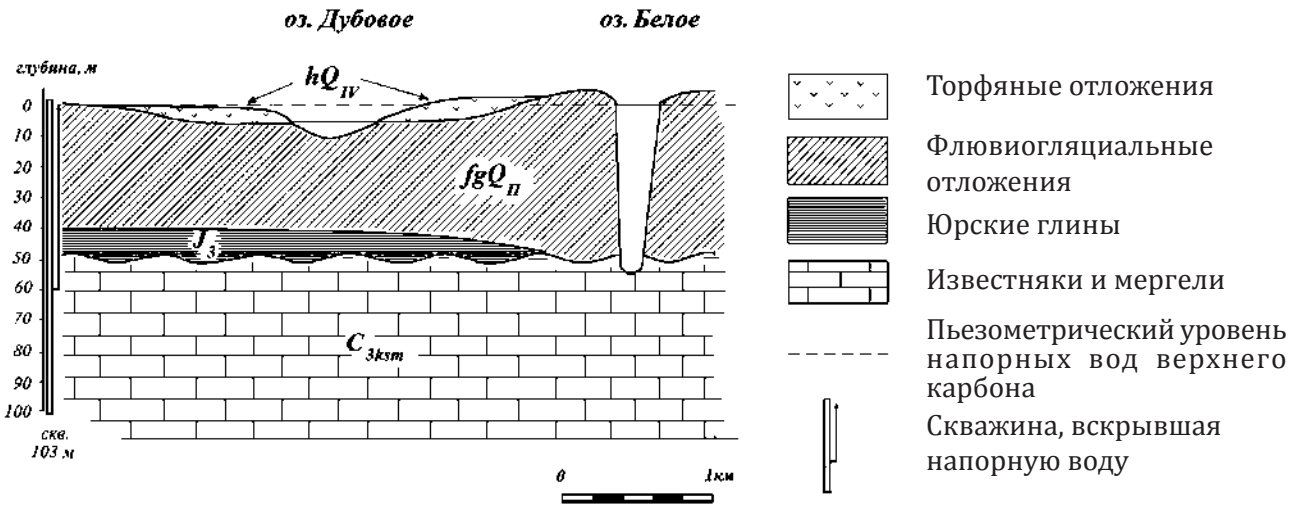


Рис. 1. Геологический разрез фрагмента долины реки Пра

Fig. 1. Geological profile across the Pra R. Valley

сных, пригодных для водоснабжения. Напорный уровень устанавливается близ поверхности земли. В местах гидрогеологических окон в породах верхней юры воды образуют глубокие воронкообразные озера с водой хорошего качества.

Водообильность карбонатных пород высокая, удельные дебиты скважин достигают 200 л/сек, преобладают 10–30 л/сек. Химический состав воды гидрокарбонатный, кальциево-магниевый, иногда магниево-кальциевый, с общей минерализацией 300–400 мг/дм^3, значение pH составляет 6,5–7,2. Жесткость несколько повышена – ≥7 мг-экв/дм^3. Характерной особенностью является присутствие в воде фтора (0,25–3,5 мг/дм^3), стронция (до 1 мг/дм^3), бора (0,12–1,51 мг/дм^3), иногда меди и свинца.

Для сравнения химического состава воды озер карстового происхождения и типичного внутриболотного выбраны озера Белое (дер. Бардуки; 13 августа 2016 г. температура воды на глубине 20 м составляла +8 °С, на поверхности у берега +28 °С, на поверхности на середине озера +23 °С; берега песчаные, незаболоченные) и Черное (расположено в низинном болоте в 2 км к ЮЮЗ от оз. Белого) (табл. 2).

Химический состав воды подтверждает, что озера имеют различный генезис. Резкое отличие в значениях pH, цветности и ПО воды свидетельствует о различном содержании в них растворенного органического вещества (в оз. Черное органики больше в 10–15 раз). Цветность воды в оз. Белом – 36 мг/дм^3 пре-

Таблица 2. Сравнительный химический состав воды озер Белое и Черное (у дер. Бардуки МО)

Table 2. Comparative water chemistry in lakes Beloe and Chernoe (at Barduki Vil., Moscow oblast)

Показатель, размерность	оз. Белое		оз. Черное, с глубины 0,4 м, у берега
	с глубины 20 м	с поверхности на середине	
Водородный показатель, ед. pH	7,25	7,20	4,1
eh, mV/m	+223	+222	+209
Цветность, град.	36	13	450
Жесткость, мг-экв/дм^3	0,40	0,36	0,92
ПО, мгО/дм^3	5,8	6,7	35,2
мг/дм^3			
Кальций	4,0	4,8	9,6
Хлорид-ионы	4,5	3,9	0,6
Сульфат-ионы	8,3	6,6	16,1
Гидрокарбонаты	18,3	18,3	18,3
Аммоний-ионы	1,7	1,0	0,71
Нитрат-ионы	0,70	0,76	2,0
Фосфат-ионы	0,027	0,006	0,046
Фосфор общий растворенный	0,085	0,031	0,047
Фосфор общий валовой	0,139	0,142	0,134
Железо общее растворенное	1,32	0,10	3,48
Железо общее валовое	3,52	0,19	3,52
Марганец	0,03	0,02	8,0
Стронций	0,035	0,045	нет данных
Общая минерализация	20	19	53

вышает ПДК для питьевых вод. Это указывает на некоторый приток болотной воды в оз. Белое, по-видимому, карстового происхождения. Ближайшие геологические скважины расположены рядом с г. Шатура, в 10 км. Они глубиной 100–180 м и вскрывают четвертичные флювиогляциальные отложения мощностью 10–15 м, ниже юрские глины мощностью до 60 м и известняки верхнего карбона. Уровень подземных вод устанавливается вблизи поверхности земли [7].

За пределами Мещерской низменности глубокие воронкообразные озера с чистой пресной водой встречаются реже.

В Тверской области исследованы ряд характерных естественных внутриболотных озер – Песочное, Старковское, Вышнево и Климошино. В табл. 3 приводится гидрохимическая характеристика названных озер.

Кроме болотных озер, имеющих преимущественно атмосферное питание, нередко в центре болот встречаются озера, получающие питание в значительное мере за счет грунтовых слабонапорных вод, приуроченных к песчаным прослоям или линзам среди моренных суглинков московского оледенения. Примером является озеро Климошино, расположенное в центре верхового болота, расположенного южнее Оршинского болота (рис. 2). Озеро округлой формы, диаметром ~300 м, глубиной 5 м. Берега заболочены, мощность торфа составляет 3,5–4,0 м. На дне озера залегают суглинки. Вода в озере слабоминерализованная, сульфатно-гидрокарбонатная с небольшой цветностью, со дна озера происходит подток грунтовых вод. В табл. 4 приводятся содержание металлов в воде озера с глубины 1,0 и 5,0 м, а также для их сравнения с водами из близрасположенных родника, реки Созь и дренажной канавы, связанных с Оршинским мхом, и открытый выход грунтовых вод в болоте Шумновское.

Отдельный интерес представляют болотные родники, питающие озера, часто дающие начало болотным ручьям и рекам. Например, родники на низинном болоте, расположенные в 10 км восточнее г. Мытищи. Под торфом мощностью до 4 м залегают маломощные юрские глины, а под ними – трещиноватые и кавернозные известняки верхнего карбона, содержащие чистую воду, пригодную для питья. В 1780 г. по приказу императрицы Екатерины Второй родники были разведаны, вода признана пригодной для водоснабжения города. 43 ключа были каптированы в один бассейн площадью 52 кв. сажени (37,4 м^2), от которого был построен самотечный водопровод длиной ~19 км. На главных площадях гор. Москвы (Театральной, Трубной, Сухаревской и др.) были сооружены водоразборные фонтаны, откуда воду развозили по всему городу. В 1832 г. над главным ключом (Гро-

Таблица 3. Химический состав воды озер Тверского региона (сентябрь 2001 г.)

Table 3. Water chemistry in lakes of Tver region (September 2001)

Показатель	Естественные внутриболотные озера			
	оз. Климошино	оз. Старково	оз. Песочное	оз. Вышнево
Водородный показатель, ед. pH	6,49	7,46	4,72	7,21
мг/дм^3				
Общая минерализация	16	134	34	92
eh, mV/m	1,56	14,8	2,93	9,78
ПО, мгО/дм^3	6,01	16,7	7,52	40,1
Ca/Mg	0,1/1,5	32/4,8	4,0/1,2	16/6,1
HCO_3	6,1	76	12	49
Cl	1,2	3,9	0,6	1,3
SO_4	5,7	11	11	14
Na/K	0,8/0,2	5,8/0,3	3,3/0,2	3,1/0,6
P общ	0,034	0,021	0,012	0,02
PO_4^{3-}	0,045	0,003	0,006	0,003
NH_4^+	0,41	0,42	0,5	0,74
NO_3^-	0,15	0,28	0,2	0,12
Цветность, град./$Fe_{общ}$	35/0,15	40/0,03	65/0,16	20/3,0

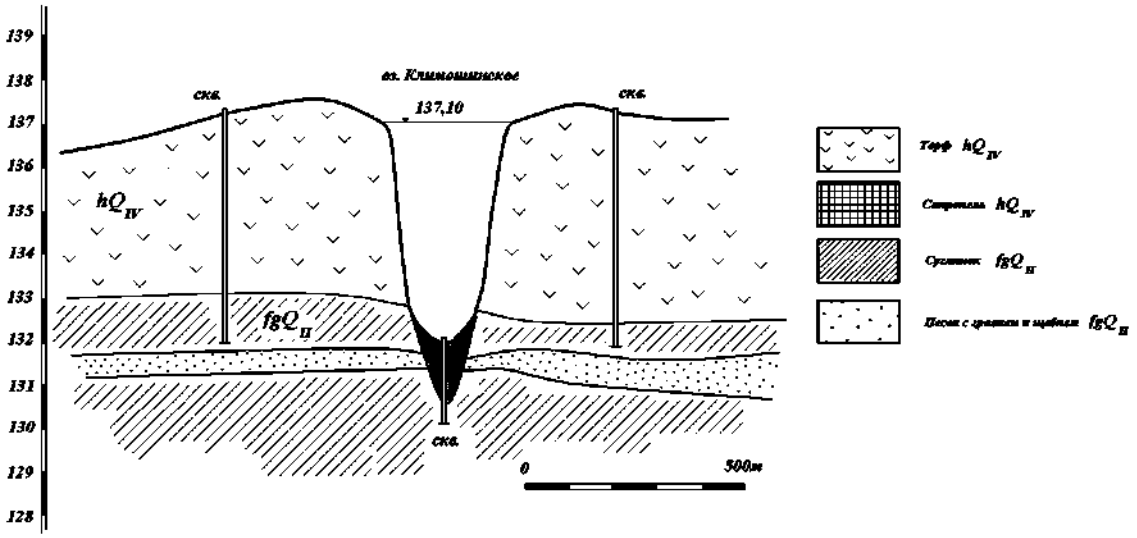


Рис. 2. Геологический разрез через озеро Климошино Оршинской системы болот (Тверская область)

Fig. 2. Geological profile across Klimoshino Lake, Orshanskaya Systems Bog (Tver region)

Таблица 4. Элементный состав воды (n = 3; осень 2014 г.)

Table 4. Elemental composition of water (n = 3; Autumn 2014)

Элемент	Содержание, мг/дм³					
	оз. Климошино (Климошинское)		Родник	р. Созь	Дренажная канава	«Окно» Шумновского
	1 м	5 м				
Алюминий Al	0,031	0,026	0,037	0,015	0,055	0,013
Барий Ba	0,0026	0,002	0,005	0,008	0,0053	0,007
Кальций Ca	1,36	1,25	2,66	10,17	5,98	13,91
Кобальт Co	<0,001	0,001	<0,001	<0,001	<0,001	0,002
Хром Cr	0,0005	0,0006	0,0003	<0,001	0,0004	0,0007
Медь Cu	0,017	0,021	<0,001	0,0002	0,00006	0,0008
Железо Fe	0,033	0,031	0,047	0,025	0,0175	0,023
Калий K	0,24	0,214	0,592	0,469	1,118	1,28
Литий Li	0,00003	0,0002	0,0004	0,0004	0,0005	0,0004
Магний Mg	0,318	0,269	0,739	3,03	1,085	1,64
Марганец Mn	0,019	0,034	0,007	0,0007	0,0026	0,0003
Натрий Na	0,386	0,257	0,73	1,25	1,253	1,05
Никель Ni	<0,001	<0,001	0,0003	<0,001	<0,001	0,001
Свинец Pb	0,007	0,004	0,003	0,008	0,006	0,007
Цинк Zn	0,027	0,029	0,012	0,0025	0,0066	0,004

мовым) была построена часовня, разрушенная в 1925 г. Химический состав воды и содержание металлов в одном из родников (данные 2014 г.): pH 6,5; цветность 200; ПО 45,6; жесткость 4,68; NH_4 1,0; NO_3 1,5; SO_4 13,5; Cl 2,0; HCO_3 244,0; Ca 64,1; $Fe_{общ.}$ 4,86; общая минерализация 331,5 мг/дм³.

Известны также родниковые болота Подмосковья – болото Кольчиха близ места слияния Москва-реки и Истры в Красногорском районе, верховое болото Раменское в Дмитровском районе и др. Следует отметить, что воды этих болот несут следы антропогенного загрязнения.

Таким образом, существенным резервом питьевых вод Европейской части России являются воды карстовых озер и родники, имеющие пространственную связь с болотными массивами. В связи с этим большое значение приобретает их охрана от загрязнения.

На основании изложенного можно выделить некоторые частные выводы:

1. На основании мониторинговых наблюдений на площадках Галицкий Мох и Радовицкий Мох установлено, что восстановление химического состава болотных вод до фоновых характеристик произошло после пожаров за 6 лет.

2. Полное восстановление покрова сфагновых мхов и химического состава болотных вод, например, на выработанном верховом болоте Шумновское к показателям, близким к естественным, произошло за 60 лет.

3. Глубокие воронкообразные карстовые озера, распространенные, например, в пределах Мещерских болот с напорным и грунтовым питанием, являются важным резервом питьевой воды в чрезвычайных ситуациях.

4. На болотах типичные озера глубиной ~5 м, получающие значительную долю питания за счет разгрузки грунтовых вод из подстилающих водно-ледниковых отложений, также являются резервами питьевой воды в чрезвычайных ситуациях.

Библиографический список

1. Геология Карелии. – Л.: Недра, 1987. – 231 с.
2. Гидрогеология СССР. Том 1. – М.: Недра, 1966. – 423 с.
3. Природа и хозяйство Калининской области (ученые записки естественно-географического факультета). – Калинин, 1960. – 652 с.
4. *Цыганов А.А.* Химическая характеристика донных отложений озер, испытывающих антропогенное воздействие // Изучение последствий воздействия человека на природные комплексы. Сб. ст. – Калинин: КГУ, 1983. – С. 85–93.
5. *Akmet'eva N.P., Simakina Ya.I., Belyaev A.Yu. et al.* Hydrochemical Features of Boggy River Sources and Lakes in Central European Russia // Water Resources. – 2016. – Vol. 43. – No 1. – P. 158–165.
6. *Ахметьева Н.П., Белова С.Э., Джамалов Р.Г. и др.* Естественное восстановление болот после пожаров // Водные ресурсы. – 2014. – № 4. – С. 343–354.
7. *Ахметьева Н.П., Михайлова А.В.* Пожары 2010–2011 гг. на болоте Радовицкий Мох и их последствия // Особо охраняемые природные территории Владимирской области и сопредельных регионов (вып. 2). Сб. – Владимир, 2013. – С. 14–18.
8. *Ахметьева Н.П., Лапина Е.Е.* Восстановление выработанного верховогоболота Шумновское // Стационарные исследования лесных и болотных биогеоценозов. Экология, продукционный процесс, динамика. Сб. – Сыктывкар, 2016. – С. 120–124.
9. Геологическая карта с объяснительной запиской по листам N-37-II, N-37-1V, N-37-V. – М.: Центргеология, 1981.
10. *Ныркoв Н.* По озерам Мещерского края. Путеводитель рыболова, охотника и туриста. – М.: Арбалет, 2007. – 350 с.

УДК 622:504.064.3; 551.312.2

Шахматов К.Л.

Шахматов Кирилл Леонидович, к. т. н., доцент каф. геологии, переработки торфа и сапропеля Тверского государственного технического университета (ТвГТУ). Тверь, наб. Аф. Никитина, 22. krl81@list.ru

Орлов Т.В.

Орлов Тимофей Владимирович, к. г.-м. н., с. н. с. лаборатории дистанционного мониторинга Института геоэкологии им. Е.М. Сергеева РАН. Москва, Уланский пер., д. 13, стр. 2. tim.orlov@gmail.com

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ БЕСПИЛОТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ ДЛЯ МОНИТОРИНГА ВОССТАНАВЛИВАЕМЫХ БОЛОТНЫХ ЭКОСИСТЕМ

Аннотация. В последние несколько лет в Тверской области проводятся работы по восстановлению осушенных и ранее разрабатываемых торфяных месторождений. Одним из основных показателей эффективности данного процесса является изменение растительности на поверхности торфяника. Вследствие значительных площадей и труднодоступности оценить результаты восстановления достаточно сложно. В этой ситуации использование беспилотных летательных аппаратов может предоставить необходимую информацию о ситуации на поверхности торфяника с достаточной точностью и оперативностью.

Ключевые слова: мониторинг торфяных болот, вторичное обводнение, восстановление болотных экосистем, квадрокоптер, дешифрирование, дистанционное зондирование.

Shakhmatov K.L.

Shakhmatov Kirill L., Ph. D., Associate Professor at the Department of Geology, Processing of Peat and Sapropel of the Tver State Technical University

Orlov T.

Orlov Timofey V., Ph. D., Sergeev Institute of Environmental Geoscience RAS (IEG RAS)

USE OF UNMANNED AERIAL VEHICLES FOR MONITORING OF RESTORATION OF ABANDONED PEATLANDS

Annotation. In the last years the restoration of drained peatlands has been carried out in the Tver region. One of the most important performance indicators of the restoration process is the change of surface vegetation. Due to a large scale and inaccessibility of most sites it is difficult to ascertain the extent of restoration and its success. The use of unmanned aerial vehicles can provide information about the changes on the surface of peatlands with sufficient accuracy and speed.

Keywords: monitoring of peatlands, rewetting, restoration of peatlands, unmanned aerial vehicles, deciphering, remote sensing.

В последние несколько лет на территории Тверской области проводятся работы по вторичному обводнению ранее разрабатываемых торфяных месторождений (т/м). Целью этих работ является восстановление болотных экосистем для смягчения изменения климата и снижения пожароопасности на данных территориях. Одним из основных компонентов болотных экосистем и показателей процесса восстановления является растительный покров и его динамика. Поскольку участки обводнения достаточно велики (от 1000–1200 га), многие труднодоступны, то встает необходимость получения информации о состоянии поверхности с помощью дистанционных средств. Одним из них являются малые беспилотные летательные аппараты (квадрокоптер/дрон).

Объект исследований

В качестве объекта исследований был выбран участок торфяного месторождения Оршинский Мох (рис. 1). В данной части торфяного месторождения добыча торфа осуществлялась фрезерным способом и закончилась в 70-х годах XX столетия. На сегодняшний день наблюдается естественное зарастание фрезерных полей и самообводнение. При этом обводняются наиболее низкие части месторождения – окраины месторождения, наиболее выработанные участки и участки, на которых были пожары (рис. 2). Из-за наличия проезжих дорог, которыми постоянно пользуются местные рыбаки и охотники, этот участок т/м является наиболее горимым и ежегодно фиксируются очаги пожаров. В связи с этим был разработан и реализован проект по вторичному обводнению данного участка торфяного месторождения.

Рис. 1. Площадки мониторинга на т/м Оршинский Мох (*Google Earth*)

Fig. 1. The sites of monitoring in Orshinskiy Mokh

Для оценки результатов работ по обводнению нами были выбраны две площадки с размерами 100 × 100 м: на одной площадке проект обводнения был реализован во второй половине 2017 года (площадка 1), общая площадь участка составляла 1200 га [1]; на второй площадке проект обводнения был реализован в 2015 году (площадка 2), площадь обводнения также составила 1200 га [2].

Рис. 2. Общий вид фрезерных полей т/м Оршинский Мох (октябрь 2017 г.)

Fig. 2. The general view of peat fields in Orshinskiy mokh (October 2017)

Материалы и методы

При дистанционном исследовании торфяных болот обычно используются результаты дистанционного зондирования поверхности Земли LANDSAT 7/8, Sentinel 2A [3] и др. Но для планирования детальных исследований такой информации недостаточно. Вместе с тем космические снимки с разрешением около 1 м/пикс слишком дороги для решения мониторинговых задач. Дополнительно все осложняется несинхронностью съемки с полевыми работами.

Беспилотные летательные аппараты, в том числе и квадрокоптеры, все чаще используются для изучения болот. В первую очередь для мониторинга восстановления болот [4, 5], для изучения экогидрологических процессов [6], для оценки объема торфа [7], для изучения параметров микрорельефа [8] и в других целях.

В нашей работе был использован бюджетный квадрокоптер DJI Phantom 4 Pro (рис. 3), программное обеспечение Drone Deploy для определения маршрута съемки, а также программное обеспечение Agisoft Photoscan для обработки полученных материалов.

DJI Phantom 4 Pro обладает следующими основными характеристиками: вес (с бата-

реей и пропеллерами) 1388 г., максимальная высота над уровнем моря 6000 м, спутниковые системы GPS/ГЛОНАСС, камера с однодюймовой CMOS-матрицей с разрешением в 20 Мп, объектив имеет угол обзора 84° и состоит из восьми линз, организованных в семь групп, максимальное ISO – 12 800, светочувствительность диафрагмы – 2,8, максимальная скорость затвора – 1/2000 с, максимальная выдержка – до 1/8000 с (14 кадров в секунду); съемка видео производится в 4K со скоростью 60 кадров/с и максимальным битрейтом 100 Мбит/с; максимальная скорость летательного аппарата – 72 км/ч, дальность полета – до 7 км, максимальная высота полета – более 200 м, аккумуляторная батарея типа LiPo 4S емкостью 5870 мА/ч, 89,2 Вт/ч [9].

Рис. 3. Квадрокоптер Phantom 4 Pro

Fig. 3. Quadcopter Phantom 4 Pro

При съемке площадок были использованы следующие режимы съемки: максимальная высота 50 м и 100 м, максимальная скорость полета 5–7 м/с, продольное перекрытие снимков 75%, поперечное перекрытие снимков 80%.

Необходимо отметить, что при съемке поверхности земли с помощью квадрокоптеров типа Phantom и последующей обработки материалов предъявляются иные требования, чем при съемке с других аэрокосмических аппаратов (самолеты, вертолеты, космические спутники) [10]. Особенностью дронов является малая высота полета, составляющая до 200 м, а также большая зависимость от погодных условий – сила ветра, осадки, время суток. Так, при осадках аппараты применять не рекомендуется. Сила ветра может существенно отклонить движение дрона от намеченного маршрута. В этой связи при осуществлении съемки были выбраны безветренные пасмурные дни, время съемки примерно с 12.00 до 16.00. При этом продольное перекрытие составило 75%, а поперечное – 80%.

В программном обеспечении Drone Deploy автоматически было вычислено количество снимков с заданным перекрытием, маршруты следования дрона, начальная и конечная точка съемки (рис. 4 и 5). Данное программное обеспечение позволяет рассчитать маршрут следования квадрокоптера по заданной площади съемки с необходимой скоростью, высотой полета, перекрытием снимков в продольном и поперечном направлениях. После установления всех настроек летательный аппарат производит съемку в автоматическом режиме.

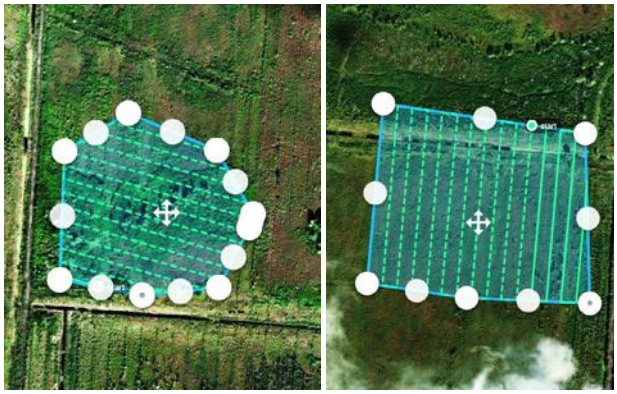


Рис. 4. План маршрутов съемки площадки 1 с высоты 50 м и 100 м соответственно (Drone Deploy)

Fig 4. Survey track plan of site 1 from the height of 50 and 100 m respectively (Drone Deploy)

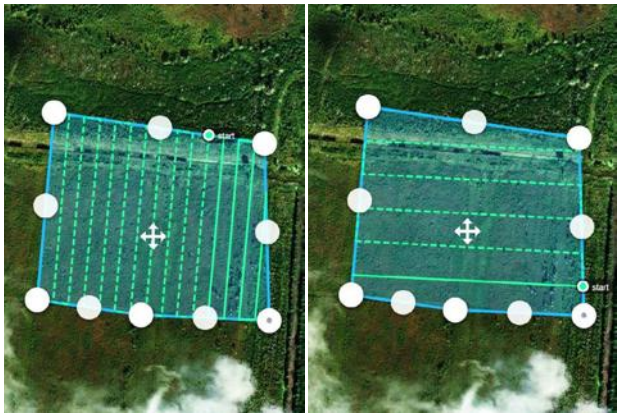


Рис. 5. План маршрутов съемки площадки 2 с высоты 50 м и 100 м соответственно (Drone Deploy)

Fig. 5. Survey track plan of site 2 from the height of 50 and 100 m respectively (*Drone Deploy*)

Всего было получено на площадке 1 при съемке с высоты 50 м 172 снимка, при высоте 100 м – 35 снимков; на Площадке 2 при высоте 50 м – 242 снимка, при высоте съемки 100 м – 48 снимков.

Для уменьшения искажений и дальнейшей взаимной привязки изображений на местности были установлены опорные точки в виде однозначно идентифицируемых круглых объектов на местности диаметром до 30 см, которые были закреплены на поверхности торфяного месторождения. Эти точки были предварительны привязаны с помощью GPS Garmin Montana в режиме долговременного осреднения. В дальнейшем планируется провести привязку опорных точек геодезическими приборами.

Отдельные фотографии были обработаны с помощью *Agisoft Photoscan* в соответствии с разработанной процедурой [11]: выравнивание изображений (с использованием опорных точек), построение плотного облака, разработка модели, создание текстуры, карты высот, а также ортофотоплана.

Результатами обработки отдельных изображений стали два базовых продукта – ортофотоплан и цифровая модель местности (ЦММ).

Результаты

Для каждой из площадок были получены ортофотопланы и ЦММ двух уровней детальности на основе съемки с высоты 50 м и 100 м. Основные параметры полученных продуктов приведены в табл. 1.

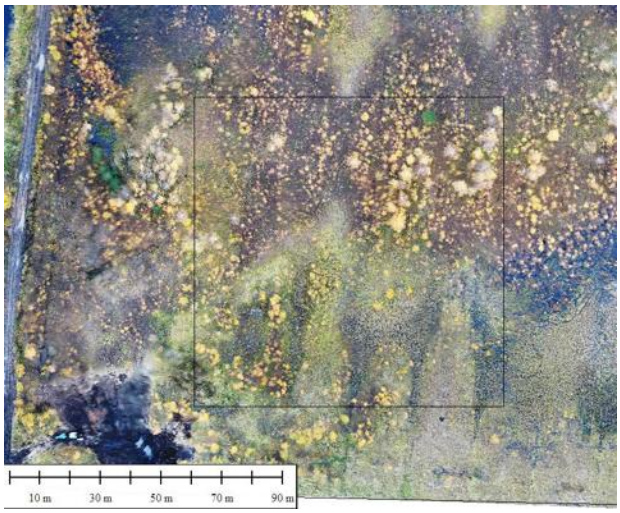
Таблица 1. Основные параметры полученных базовых продуктов

Table 1. Detail of the topographic base

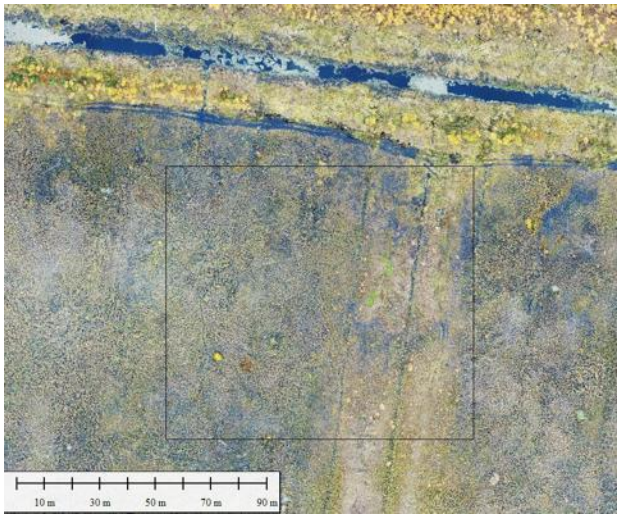
		Площадка 1	Площадка 2
Площадь съемки (га)		6,83	8,12
Разрешение ортофотоплана для высоты съемки (см/пикс)	50 м	1,0	1,2
	100 м	2,8	2,6
Разрешение ЦММ (см/пикс)	50 м	2,6	3,7
	100 м	6,4	10,4

На рис. 6 (а, б) приведены ортофотопланы, полученные при высоте полета 100 м для площадок 1 и 2.

На основе ортофопланов с разрешением 2–3 см/пикс можно уверенно выделять основные структурные элементы поверхности торфяника, такие как каналы разного уровня, дороги, участки с открытой водой, участки травянистой растительности, участки с кустарниковой растительностью, участки с древесной растительностью и др.



а)



б)

Рис. 6. Ортофотопланы площадок мониторинга: а) Площадка 1, высота съемки 100 м, разрешение 2,8 см/пикс; б) Площадка 2, высота съемки 100 м, разрешение 2,6 см/пикс.

Fig. 6. Ortho-mosaic of the sites of monitoring: a) Site 1, the shooting altitude 100 m, resolution 2,8 cm/pix; б) Site 2, the shooting altitude 100 m, resolution 2,6 cm/pix

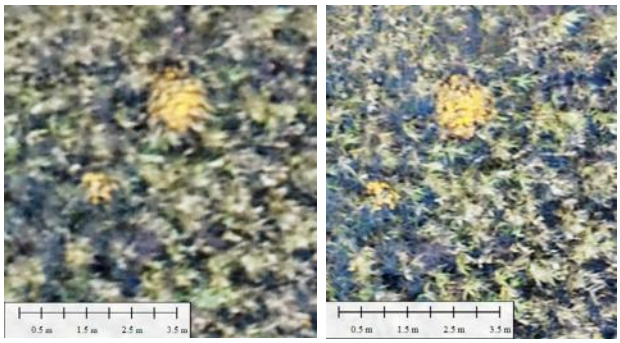
На рис. 7 приведены фрагменты ортофотопланов разного разрешения для одного и того же участка.

На основе обоих ортофотопланов возможно выделение древесной растительности (желтая крона березы в центре изображения) и участков травянистой растительности. Также можно выделить участки с открытой водой.

Однако на основе ортофотоплана с разрешением 1 см/пикс выделение всех элементов осуществляется более уверенно. Возможно прямое определение доминирующего вида

растительности. Также мы предполагаем, что некоторые однозначно идентифицируемые участки на поверхности торфяников можно будет выделять полуавтоматизированными методами.

На рис. 8 приведена цифровая модель местности для площадки 1.



а) б)

Рис. 7. Фрагмент ортофоплана для площадки 2 в максимальном разрешении: а) высота полета 50 м, 1 см/пикс; б) высота полета 100 м, 2,6 см/пикс.

Fig. 7. Fragment of ortho-mosaic for site 2 in max resolution: a) flight altitude 50 m, 1 cm/pix; b) flight altitude 100 m, 2,6 cm/pix

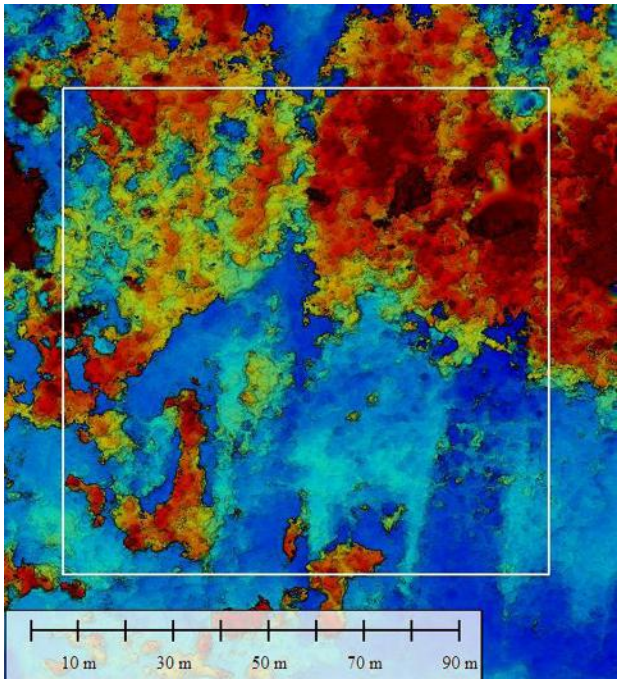


Рис. 8. Цифровая модель местности для площадки 1. Цветовая шкала (в порядке увеличения высоты растительности): от темно-синего до зеленого и красного цвета

Fig. 8. The digital terrain model for site 1. The color scale (in ascending order) – dark blue-green-red

Синие и голубые цвета соответствуют высотам травянистой растительности (до 3 м), зеленые и желтые – кустарниковой, оранжевые и красные – древесной.

На рис. 9 приведена 3D-модель местности для площадки 1.

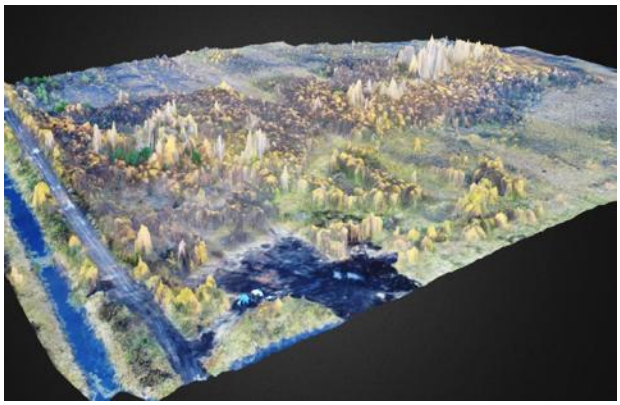


Рис. 9. 3D-модель местности для площадки 1

Fig. 9. The 3D model of site 1

На переднем плане 3D-модели виден магистральный канал, проходящий вдоль озера Вельга, а также грунтовая дорога вдоль него. По данной модели можно оценить взаимные превышения участков открытого торфа (черный тон), травянистой, кустарниковой и древесной растительности.

При повторных съемках будет возможно отслеживать изменение в составе растительности, ее высоты и биомассы.

Обсуждение

Несмотря на очевидные перспективы опробованного метода, были выявлены существенные особенности использования квадрокоптеров.

Время съемки. В первую очередь достаточно высокие требования предъявляются к погодным условиям. Идеальной погодой для съемки являются солнечные дни со слабыми или отсутствующими ветрами, время съемки около 12 дня и до 16 часов (в зависимости от времени захода солнца). Допустима съемка в пасмурные дни. Съемка в утренние и вечерние часы, а также при сильном дожде и переменной облачности недопустимы, т. к. это негативно повлияет на качество получаемых снимков.

Скорость полета и перекрытие. Необходимо выдерживать малую скорость полета, не более 5–7 м/с. При более высоких скоростях

полета изображения получаются смазанными. Также для достижения приемлемого качества мозаик снимков перекрытие между изображениями в пределах пролета и перекрытие между пролетами должно быть около 75–85%.

Опорные точки. Существенной особенности для корректного соединения множества полученных снимков является наличие достаточно большого количества опорных точек (около 10 на каждые 10 га), привязанных с максимальной точностью.

Батарея. Для съемки площадки площадью до 10 га с высоты 50 м необходимо иметь один полностью заряженный аккумулятор. Также одного полностью заряженного аккумулятора должно хватить на съемку двух площадок с площадью около 10 га с высоты 100 м.

Выводы и перспективы

На основании полученных данных можно выделить наиболее перспективные направления использования квадрокоптеров:

- использование двух высот пролета: 30–50 м, 100–200 м. Мозаика для высоты 30–50 м должна покрывать наиболее типичную часть площадки. Сочетание высот позволит, с одной стороны, охватывать большие площади, с другой стороны, точно интерпретировать полученные изображения;
- использование повторных съемок по одним и тем же площадкам и участкам;
- использование информации о высоте растительности и в том числе в динамике ее изменения.

Таким образом, использование квадрокоптеров, даже бюджетного типа, может быть широко применено при мониторинге и исследовании торфяных месторождений различной площади. Это существенно расширит возможности получения достоверной и актуальной информации о состоянии поверхности торфяников в труднодоступных участках. Конечно, есть некоторые особенности использования данных аппаратов, которые планируется изучить при последующих работах на других торфяных месторождениях Тверской области.

Благодарности

Работа выполнялась в рамках программы фундаментальных научных исследований государственных академий наук на 2013–2020 годы, направление № 136, тема работ «Дистанционная оценка природных опасностей» (№ 0142-2015-0015). Также данные исследования проводились при поддержке проекта «Восстановление торфяных болот в России в целях предотвращения пожаров и смягчения изменений климата», финансируемого в рамках Международной климатической инициативы Федеральным министерством окружающей среды, охраны природы, строительства и безопасности ядерных реакторов Федеративной Республики Германия и управляемого через Германский банк развития KfW, а также в сотрудничестве с Министерством природных ресурсов и экологии Российской Федерации и правительством Тверской области.

Библиографический список

1. Проект обводнения ранее разрабатываемого участка торфяного месторождения Оршинский мох (№ 5) Калининского района Тверской области на площади 1200 га // Отчет / ИП «Шахматов К.Л.», отв. исполн. *Панов В.В.* – Тверь, 2017. – 115 с.
2. Проект обводнения ранее разрабатываемого участка торфяного месторождения Оршинский мох (№ 1) Калининского района Тверской области на площади 1200 га // Отчет / ИП «Женихов К.Ю.», отв. исполн. *Панов В.В.* – Тверь, 2014. – 159 с.
3. *Филиппов Д.А.* Методы и методики гидробиологического исследования болот [Текст]: учебное пособие / *Филиппов Д.А., Прокин А.А., Прижборо А.А.* – Тюмень: Издательство Тюменского гос. ун-та, 2017. – 207 с.
4. *Knoth C., Klein B., Prinz T., Kleinebecker T.* Unmanned aerial vehicles as innovative remote sensing platforms for high-resolution infrared imagery to support restoration monitoring in cut-over bogs // Appl. Veg. Sci. – 2013. – 16. – P. 509–517. doi: 10.1111/avsc.12024.
5. *Grand-Clement E., Anderson K., Smith D. et al.* New approaches to the restoration of shallow marginal peatlands // Journal of Environmental Management. – 2015. – Vol. 161. – P. 417–430. ISSN 0301-4797. https: //doi.org/10.1016/j.jenvman.2015.06.023.
6. *Vivoni E.R., Rango A., Anderson C.A. et al.* Ecohydrology with unmanned aerial vehicles // Ecosphere. – 2014. – 5 (10). – 130. http://dx.doi.org/10.1890/ES14-00217.1.
7. *Садков С.А., Орлов Т.В., Воловинский И.В. и др.* Комплексная оценка торфяных тел с использованием данных съемки с БПЛА и георадиолокации в зоне разработки

месторождения твердых полезных ископаемых для изучения морфологической структуры болот // Сергеевские чтения. Геоэкологическая безопасность разработки месторождений полезных ископаемых. Материалы годичной сессии Научного совета РАН по проблемам геоэкологии, инженерной геологии и гидрогеологии в рамках Года экологии в России. Научный совет РАН по проблемам геоэкологии, инженерной геологии и гидрогеологии. – 2017. – С. 562–566.

8. *Lucieer A., Turner D., King D.A., Robinson S.A.* Using an Unmanned Aerial Vehicle (UAV) to capture micro-topography of Antarctic moss beds // International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation. – Vol. 27. – Part A. – 2014. – P. 53–62. – ISSN 0303-2434. https: //doi.org/10.1016/j.jag.2013.05.011.
9. User manual DJI Phantom 4 Pro/Pro +. http: // www.dji.com/support
10. *Обиралов А.И., Лимонов А.Н., Гаврилова Л.А.* Фотограмметрия и дистанционное зондирование [Текст]: учебник для вузов / Под ред. А.И. Обиралова; Междунар. ассоц. «Агрообразование». – М.: КолосС, 2006. – 334 с.
11. Orthophoto & DEM Generation (with GCPs). http://www.agisoft.com/pdf/PS_1.2%20-Tutorial%20(BL)%20-%20Orthophoto,%20DEM%20(with%20GCP)%20(Russian).pdf (Дата обращения: 20.09.2017)

УДК 504.05:62/69; 504.054:574.3; 551.312.2

Панов В.В.

Панов Владимир Владимирович, д. г. н., зав. кафедрой геологии, переработки торфа и сапропеля Тверского государственного технического университета (ТвГТУ). Тверь, Академическая, 12. vvpanov61@gmail.com

Женихов Ю.Н.

Женихов Юрий Николаевич, д. т. н., проф., зав. кафедрой природообустройства и экологии, ТвГТУ. jenixov2@mail.ru

Женихов К.Ю.

Женихов Кирилл Юрьевич, аспирант ТвГТУ

ОБ ОСОБЕННОСТЯХ ВЛИЯНИЯ СТОЧНЫХ ВОД НА ТОРФЯНЫЕ БОЛОТА

Аннотация. В работе представлены результаты распространения сточных вод и их изменение в результате разбавления. Показано, что на изменение химического состава сточных вод оказывает влияние растительность и верхний слой торфяной залежи до 1 м. По мере удаления от места сброса сточных вод их влияние на растительность уменьшается, а в торфяной залежи продолжает распространяться.

Ключевые слова: загрязнение болот, торфяное болото, антропогенное изменение болотной растительности.

Panov V.V.

Panov Vladimir V., Dr. Sc., Prof., Head of the Chair of Geology, Peat and Sapropel Processing of the Tver State Technical University. Tver, Academicheskaya, 12

Jenichov Y.N.

Jenikhov Yuri N. Prof., Head of the Chair of Nature Management and Ecology of the Tver State Technical University

Jenichov K.Yu.

Jenikhov Kirill Yu., Post-graduate student of the Tver State Technical University

ABOUT THE FEATURES OF THE IMPACT OF SEWAGE ON THE PEAT MIRES

Abstract. In work results of distribution of sewage and their change in result of dilution are presented. It is shown that vegetation and the top layer of a peat deposit to 1 m exerts impact on change of the chemical composition of sewage. In process of removal from the place of dumping of sewage their influence on vegetation decreases, and in a peat deposit continues to extend.

Key words: pollution of mires, peat bog, the anthropogenic changes to the mire vegetation.

Прямого запрета в законодательстве РФ на использование торфяного болота как поверхностного водоема для сброса в него сточных вод нет. Водный Кодекс РФ (статья 44) предусматривает использование водных объектов для сброса сточных и дренажных вод в соответствии с определенными требованиями. Правила охраны поверхностных вод устанавливают предельно допустимую концентрацию (ПДК) загрязняющих веществ в водных объектах в зависимости от видов водопользования. При этом достижение гигиенических нормативов качества вод осуществляется путем установления нормативно-допустимых сбросов. Однако для болот не установлены виды водопользования и нормативы качества в виде ПДК. Здесь речь должна идти об экологических критериях допустимости воздействия сточных вод на торфяное болото, в котором торфяные отложения являются водовмещающими и водоаккумулирующими компонентами системы.

Болота служат естественным фильтром на пути миграции органического и минерального вещества, в растворенной и взвешенной форме. Замедленный водоток в большинстве болот способствует оседанию тяжелых частиц. Кроме того, некоторые болотные растения, как, например, широко распространенный рогоз (Typha), способны концентрировать в своих тканях тяжелые металлы и некоторые продукты неполного сгорания автомобильного топлива.

В Ломоносовском районе Ленинградской области на олиготрофном болоте близ дер. Петровское изучалось состояние растительности, торфяной залежи и воды в связи с подачей на болото сточных вод свинокомплекса при нагрузке 14 тыс м^3/га с целью их очистки [1]. Через 2 месяца после прекращения поступления стоков на расстоянии 70 м от выпуска значения БПК$_5$ снизились до уровня контрольных. Через 5 месяцев после прекращения поступления стоков на расстоянии 150 м от выпуска содержание ионов аммония снизилось до 28,5 мг/л, P_2O_5 – до 40 мг/л, K_2O – до 27,5 мг/л. Отмечена активная перестройка растительности. Выявлен пороговый показатель 1,06% общего азота к абсолютно сухому веществу сфагновых мхов, определяющий нормальное существование сфагнового покрова. Покрытие пушицы увеличилось примерно в 9 раз. Подобные исследования проводились также на территории совхоза Пашский в Волховском районе Ленинградской области на олиго-мезотрофном болоте при нагрузке 1600 м^3/га стоков крупного животноводческого комплекса.

В монографии [2] приведены данные о влиянии хозяйственно-бытовых сточных вод на торфяное болото небольшого поселка в климатических условиях Ханты-Мансийского автономного округа. Здесь четко выделяется небольшая зона сильной трансформации болота стоками, зона разбавления стоков болотными водами и зона отсутствия в облике болота признаков антропогенного влияния.

В литературе приводятся сведения об использовании Ольховского болота в качестве природного фильтра на пути слаборадиоактивных стоков Белоярской АЭС [3]. Применяя тритиевую метку, установили, что время полного прохождения сбросной воды через болото (около 2 км) составило 200 ч, средняя линейная скорость прохождения основной массы воды через Ольховское болото равна 100 м/ч.

Большой интерес представляет создание сравнительно новых систем естественной очистки – искусственных болот. В научной литературе пока отсутствует общий терминологический подход их описания. Их называют биоплато, фильтрующими прудами или (гидро-) ботаническими площадками. Тем не менее уже в 70-х гг. XX в. были сформулированы некоторые важные положения создания биоплато или ботанических площадок водосборников, построенных на пути хозяйственно-бытовых, сельскохозяйственных и смешанных сточных вод.

В представленной работе рассмотрено влияние сточных вод золоотвала Череповецкой ГРЭС (пос. Кадуй) на торфяное болото Большой Мох.

Золоотвал занимает часть болота и часть прилегающей суходольной территории. Естественное торфяное болото примыкает к дамбе золоотвала. Золоотвал был построен в 1976 г. и с тех пор эксплуатируется. Часть золоотвала является отстойником, из которого воды поступают во внешний водоем. Фильтрующая через тело дамбы или под дамбой вода из отстойника поступает в нагорную канаву, проложенную вдоль дамбы со стороны болота. Нагорная канава с восточной стороны прерывается, и сточные воды распространяются по болоту.

Площадь торфяного болот Большой Мох в нулевой границе торфа составляет 16 291 га, в промышленной – 11 867 га. Торфяная залежь

верхового, смешанного и низинного типов. Средняя глубина торфа 2,9 м, максимальная – 7,6 м. Торфяное месторождение не разрабатывалось. Средняя степень разложения торфа верховой залежи – 29% (от 2 до 60%), средняя зольность – 2,6% (от 1,1 до 34,2%), средняя влага – 93,6% (от 80,1 до 97,4%; pH от 2,6 до 5,3.

Как представлено на схеме (рис. 1), вся область попадания сточных вод в болото делится на зону трансформации (смены) типа питания болота с олиготрофного на евтрофный и зону разбавления сточных вод – с частичным изменением растительности, прогрессивно уменьшающимся от зоны резкой трансформации растительности к естественной части болота.

Рис. 1. Схема взаимодействия сточных вод из золоотвала с болотом

Fig. 1. The interaction of wastewater from the ash pond with the mire

Створ наблюдения 1 (т. 230) расположен непосредственно у дамбы со стороны торфяного болота. Створ расположен там, где заканчивается нагорная канава и сточная вода из нее поступает в торфяную залежь (рис. 1). Здесь сточная вода распространяется по поверхности и создается обширная зона влияния. Уровень воды находится над поверхностью. Обильно произрастает тростник высотой до 3 м, местами сохранились кочки с исходной олиготрофной растительностью.

Створ 2 (т. 231) расположен на границе зоны влияния сточных вод на торфяное болото. В растительности гряд появились подбел, клюква, в моховом ярусе сфагновые мхи. Обводненность высокая, уровень болотных вод у поверхности торфяной залежи. Визуально со створа 2 на дамбу отчетливо видна зона влияния, обводненная и заросшая тростником. Ширина зоны влияния около 150 м.

Измерения показателей первого дня и отбор пробы воды в створе 2 выполнены из мочажины с почти исходной растительностью.

Створ 3 (т. 232) расположен на естественном торфяном болоте без признаков влияния на растительность сточных вод. Типичные сосново-сфагновые гряды и сфагновые мочажины с очеретником и шейхцерией. Этот створ принят фоновым.

Для оценки влияния сточных вод в сентябре 2017 года произведен отбор проб воды и торфа по схеме, представленной на рис. 1. Для полного гидрохимического анализа отобраны три пробы. Проба воды № 1 отбиралась у дамбы (створ 1, проба 1). Пробы торфа отобраны послойно через 0,25 м до глубины 1,0 м.

Проба воды № 2 (створ 2, т. 231) отобрана на границе зоны влияния сточных вод на торфяное болото. Расстояние от створа 1 до створа 2 в направлении, перпендикулярном дамбе, составляет 150 м. Место отбора определено по изменению растительности. Следует отметить, что на границе влияния сточных вод в мочажинах наблюдается отмирание сфагновых мхов и развитие белесых водорослей (рис. 2). В месте отбора пробы 2 типичная растительность олиготрофного питания сочетается с тростником (рис. 3). Преобладает сосна высотой до 5 м и подрост березы. Отмечены подбел, кассандра, багульник, клюква. Моховой ярус представлен сфагновыми мхами и политрихумом. Микрорельеф, характерный для грядово-мочажинного комплекса. Сфагновые мхи сохраняются благодаря повышениям, которые как бы плавают над загрязненным слоем, но постепенно теряют структуру. Наступая ногой на повышения, можно почувствовать, что они потеряли механическую прочность внутри микроформы.

Уровень грунтовых вод находится на поверхности торфяной залежи. Проба воды отобрана из естественной мочажины. Пробы торфа отобраны до глубины 1,0 м.

Рис. 2. Отмирание сфагновых мхов в понижениях микрорельефа

Fig. 2. The death of sphagnum mosses in depressions of microrelief

Рис. 3. Пограничная зона влияния сточных вод на месте типичного олиготрофного грядово-мочажинного комплекса

Fig. 3. The boundary of the influence of wastewater on the oligotrophic ridge-hollow complex

Проба воды № 3 (створ 3, т. 232) отобрана на естественной торфяной залежи верхового типа без признаков влияния сточных вод на растительность. Расстояние от створа 2 в направлении, перпендикулярном дамбе, составляет 260 м. Отбор пробы воды выполнен из естественной мочажины. Пробы торфа отобраны до глубины 1,0 м.

Для оценки антропогенного влияния на болото в 3 створах с использованием многопараметрического анализатора воды «Horiba» в полевых условиях определялись следующие показатели: температура воды, показатель кислотности pH, окислительно-восстановительный потенциал (ОВП), удельная электрическая проводимость, содержание кислорода и насыщенность воды кислородом. Результаты определения показателей «первого дня» представлены в табл. 2.

Изменение показателей, измеренных в полевых условиях, по створам.

Температура воды. Температура воды по створам изменяется в пределах от 11,9 (створ 3) до 12,4 (створ 2). Колебания температуры незначительные и связаны с разной затененностью створов.

Показатель кислотности pH. pH по створам изменяется от 4,4 (фон, створ 3) до 7,7 (створ 1). Сточная вода характеризуется щелочной реакцией среды. На границе смены растительности pH вод 7,3, то есть среда близка к нейтральной. Кислотность в створе 3 (фоновом) соответствует кислотности, характерной для естественной торфяной залежи верхового типа.

Окислительно-восстановительный потенциал. В сточной воде и в зоне влияния ОВП имеет отрицательный знак, то есть идет вос-

Таблица 2. Результаты полевых измерений показателей свойств воды

Table 2. The results of field measurements of indicators of the properties of water

№ пп	Показатели	Створы		
		1 – нагорная канава со сточной водой у дамбы, точка 230	2 – граница зоны влияния сточных вод на торфяное болото, точка 231	3 – естественное торфяное болото, точка 232
1	Географическая широта	56 21 32,4	56 21 36,4	56 21 37,6
2	Географическая долгота	30 32 49,3	30 32 51,8	30,32,5,67
3	Температура воды, °С	12,3	12.4	11,9
4	pH	7,7	7,3	4,8
5	ОВП	-207	-91	+ 247
6	УЭП, мкСм/см	1390	167	27
7	Содержание кислорода, мл/л	0,84	5,37	4,06
8	Насыщенность воды кислородом, %	8,1	51,5	38,8

становительные процессы. Лишь в створе 3 (фон) значение eh = + 247 мв свидетельствует об окислительных процессах. Показатель ОВП, как и электропроводность и pH, являются критериями оценки ширины зоны влияния.

Удельная электрическая проводимость. УЭП воды в сточной воде составляет 1390 мкСм/см. Отмечается тенденция к снижению значений УЭП по мере разбавления болотными водами. Для болотной воды (створ 2) значение УЭП снижается до 167 мкСм/см, а в фоновом своре 3 значение УЭП равно 27 мкСм/см, что соответствует значениям естественных верховых болот.

Таким образом, измеренные в полевых условиях показатели демонстрируют, что на расстоянии 260 м от источника негативного воздействия показатель кислотности, УЭП, ОВП соответствуют значениям, характерным для естественного торфяного болота.

Лабораторные анализы воды, торфа выполнены в аккредитованной лаборатории экологических исследований ООО «НИТцентр» (аттестат аккредитации RA.RU.21АМ65 от 21.09.2016).

Гидрохимические показатели, определенные в лабораторных условиях в аккредитованной лаборатории, приведены в табл. 3.

В фоновой пробе воды отмечается высокая кислотность (pH = 4,3 против 6,9 в пробе сточной воды). Удельная электрическая про-

Таблица 3. Значения гидрохимических показателей в пробах воды

Table 3. Values of hydrochemical indicators in water samples

№ пп	Измеряемый параметр	Ед. изм.	Измеренное значение			
			1 – нагорная канава со сточной водой у дамбы, т. 230	2 – граница зоны влияния сточных вод на торфяное болото, точка 231	3 – естественное торфяное болото, точка 232	ПДК р.х.
1	pH	Ед.	6,9	6,8	4,3	6,5–8,5
2	Удельная электрическая проводимость	мкСм/см	474	181	29,8	
3	Цветность	мг/дм^3	110	131	203	
4	Взвешенные вещества	мг/дм^3	Менее 3,0	Менее 3,0	91	
5	Сухой остаток	мг/дм^3	346	132	64	1000
6	Кальций	мг/дм^3	69	21,2	2,3	180
7	Магний	мг/дм^3	8,5	3,8	0,66	40
8	ХПК	мг/дм^3	53	70	148	15
9	БПК$_5$	мг/дм^3	Менее 0,5	1,2	Менее 0,5	3
10	Аммонийный ион	мг/дм^3	Менее 0,5	Менее 0,5	0,73	0,5
11	Нитрат-анионы	мг/дм^3	Менее 0,20	0,22	Менее 0,2	40
12	Нитрит-анионы	мг/дм^3	Менее 0,20	Менее 0,20	Менее 0,2	0,08
13	Сульфат-анионы	мг/дм^3	153	46	0,84	100
14	Хлорид-анионы	мг/дм^3	7,7	4,6	2,1	300
15	Фторид-анионы	мг/дм^3	1,9	0,36	Менее 0,1	0,05 к фону, но не выше 0,75
16	Фосфат-ионы	мг/дм^3	Менее 0,25	Менее 0,25	Менее 0,25	1,77
17	Железо общее растворенное	мг/дм^3	0,14	0,09	0,60	0,1
18	Цинк	мг/дм^3	Менее 0,0005	Менее 0,0005	0,0039	0,01
19	Кадмий	мг/дм^3	0,00092	0,00059	0,0011	0,005
20	Свинец	мг/дм^3	0,00076	0,00067	0,0014	0,006
21	Медь	мг/дм^3	Менее 0,0006	Менее 0,0006	Менее 0,0006	0,001
22	Марганец	мг/дм^3	–	–...	–...	0,01
23	Калий	мг/дм^3	5,0	3,4	0,57	120
24	Натрий	мг/дм^3	9,6	5,1	1,2	50
25	Литий	мг/дм^3	0,048	Менее 0,015	Менее 0,015	180
26	Барий	мг/дм^3	Менее 0,1	Менее 0,1	Менее 0,1	40
27	Стронций	мг/дм^3	0,78	Менее 0,25	Менее 0,25	120

водимость в воде торфяного болота в фоновом створе в 16 раз меньше, чем в сточной воде, что объясняется высоким содержанием растворенных органических веществ. Следует отметить высокую цветность болотных вод (203 град.), превышающую в 1,8 раза цветность сточной воды. Более высокая цветность связана с содержанием в болотной воде цветных фульвовых кислот.

Превышения ПДК р.х. по содержанию химических веществ в болотной воде отмечается по ХПК, железу общего (табл. 4). В данном случае это не влияние сточных вод, а природные особенности торфяных болот.

В сточной воде превышение химических веществ над ПДК р.х. отмечается для 5 веществ.

После прохождения через торфяную залежь концентрация всех загрязняющих веществ (кроме специфических для торфяного болота), содержащихся в сточной воде, снижается до значений ниже нормативных (табл. 5).

Таблица 4. Превышения ПДК р.х. в пробах воды

Table 4. The maximum permissible concentration of fisheries in water samples

Показатель	Превышение ПДК р.х.	
	Сточная вода	Естественная торфяная залежь – фон
ХПК	3,5	9,9
Фторид-ионов	2,5	нет
Сульфат-анионов	1,5	нет
Фосфат-ионов	1,0	нет
Железа общего	1,4	6

Характеристика торфяной залежи и изменение ее свойств под влиянием сточных вод показывает, что загрязнение охватывает не менее 1,0 м торфяной залежи (опробование производится в минимальной по высоте точке поверхности с удаленным очесом, что принято

Таблица 5. Содержание водорастворимых ионов в торфяной залежи болота Большой Мох

Table 5. The content of water-soluble ions in peat deposit of the mire Bolshoy Mokh

Измеряемый параметр, мг/кг$_{в.с.в.}$	Створ 1 (т. 233) у дамбы				Створ 2 (т. 231) золоотвал				Створ 3 (т. 232) торфяная залежь			
	1–1 (104 л)	1–2 (106 л)	1–3 (105 л)	1–4 (107 л)	2–1 (0098 л)	2–2 (0099 л)	2–3 (0097 л)	2–4 (0096 л)	3–1 (0102 л)	3–2 (0100 л)	3–3 (0101 л)	3–4 (0103 л)
Хлориды водорастворимые	207 ± 31	172 ± 26	122 ± 18	175 ± 26	59 ± 8,9	44,9 ± 6,7	48,7 ± 7,3	78,3 ± 11,8	53,4 ± 8,0	72,4 ± 10,9	44,2 ± 6,6	31,5 ± 4,7
Сульфаты водорастворимые	2836 ± 425	2576 ± 386	1346 ± 202	945 ± 142	1077 ± 162	1078 ± 162	528 ± 79	635 ± 95	142 ± 21	118 ± 18	22,4 ± 3,4	24,2 ± 3,6
Нитраты водорастворимые	68,9 ± 10,3	47,3 ± 7,1	40,6 ± 6,1	48,5 ± 7,3	17,5 ± 2,6	17,5 ± 2,6	44,1 ± 6,6	22,0 ± 3,3	27,9 ± 4,2	38,4 ± 5,8	23,5 ± 3,5	28,2 ± 4,2
Фториды водорастворимые	20,7 ± 3,1	11,2 ± 1,7	7,9 ± 1,2	< 1,0	1,12 ± 0,17	< 1,0	1,14 ± 0,17	1,5 ± 0,22	< 1,0	< 1,0	< 1,0	< 1,0
Фосфаты водорастворимые	< 3,0	< 3,0	< 3,0	< 3,0	< 3,0	5,4 ± 0,8	13,2 ± 2,2	16,9 ± 2,5	53,8 ± 8,1	44,6 ± 6,7	18,9 ± 2,8	8,0 ± 1,2
Аммоний водорастворимый	7,0 ± 1,1	10,5 ± 1,7	71 ± 11	96 ± 15	36 ± 6	53 ± 8	61 ± 10	40 ± 6	46 ± 7	54 ± 9	19 ± 3	22 ± 3
Калий водорастворимый	131 ± 21	120 ± 19	95 ± 15	128 ± 21	61 ± 10	31 ± 5	46 ± 7	96 ± 15	50 ± 8	51 ± 8	17, ± 2,8	16,0 ± 2,6
Натрий водорастворимый	227 ± 36	189 ± 30	160 ± 26	256 ± 41	62 ± 10	54 ± 9	64 ± 10	73 ± 12	55 ± 9	64 ± 10	24 ± 4	17,1 ± 2,7
Магний водорастворимый	168 ± 27	160 ± 26	58 ± 9	35 ± 6	52 ± 8	17,5 ± 2,8	35 ± 6	49 ± 81	44 ± 7	48 ± 8	9,2 ± 1,5	7,3 ± 1,2
Кальций водорастворимый	950 ± 152	729 ± 117	340 ± 54	125 ± 20	278 ± 45	54 ± 9	110 ± 18	193 ± 3	69 ± 11	67 ± 11	33 ± 5	25 ± 4
Кадмий (подвижные формы)	0,20 ± 0,05	0,54 ± 0,14	0,27 ± 0,07	X	1,0 ± 0,3	0,37 ± 0,09	0,33 ± 0,08	X	1,7 ± 0,4	1,0 ± 0,3	X	X
Свинец (подвижные формы)	15 ± 4	17 ± 4	4,7 ± 1,2	X	40 ± 10	6,9 ± 1,7	7,8 ± 2,0	X	58 ± 14	19 ± 5	X	X
Медь (подвижные формы)	менее 1,0	менее 1,0	менее 1,0[1)]	X	менее 1,0	менее 1,0	менее 1,0[1)]	X	менее 1,0	менее 1,0	X	X
Цинк (подвижные формы)	34 ± 8	47 ± 12	менее 1,0[1)]	X	110 ± 28	8,2 ± 2,1	4,1 ± 1,2	X	59 ± 15	18 ± 5	X	X
Мышьяк (валовый)	менее 0,1	менее 0,1	менее 0,1	менее 0,1	менее 0,1	менее 0,1	менее 0,1	менее 0,1	менее 0,1	менее 0,1	менее 0,1	менее 0,1

Таблица 6. Общетехнические свойства торфа

Table 6. Properties of peat

Глубина взятия образца, м	Влажность естественная, %	Зольность абс. сух. вещества, %	Кислотность (pH)	Степень разложения, %	Вид торфа
1	3	4	5	6	7
Створ 1, т. 230					
0,25	95,4	9,5	7,0	20	Верховой пушицево-сфагновый
0,5	93,0	7,2	7,4	35	Верховой пушицево-сфагновый
0,75	93,9	5,0	6,2	35	Верховой пушицево-сфагновый
1,00	93,7	4,9	5,3	35	Верховой пушицевый
Створ 2, т. 231					
0,25	94,5	7,7	6,0	20	Верховой магелланикум
0,50	92,2	4,5	4,0	30	Верховой магелланикум
0,75	93,8	7,0	4,8	20	Верховой магелланикум
1,0	95,2	7,5	5,6	20	Верховой магелланикум
Створ 3, т. 232 – фоновый					
0,25	95,1	6,2	4,1	25	Верховой сфагновый
0,50	94,7	5,7	3,8	20	Верховой сфагновый
0,75	92,5	1,4	3,6	30	Верховой магелланикум
1,0	93,1	1,2	3,8	30	Верховой пушицевый

считать в практике геологоразведочных работ поверхностью торфяной залежи).

Пробы торфа отобраны в створах 1 – 4 пробы; створе 2 – 4 пробы; в створе 3 – 4 пробы, фон). Результаты анализов представлены в табл. 6.

Анализ данных показывает, что непосредственно у дамбы в верхнем слое (до 1,0 м) происходит минерализация (зазоление) торфа, зольность достигает 9,5%. Для олиготрофного торфа типичного ботанического состава зольность завышена до 3 раз. Одновременно снижается кислотность. Показатель кислотности pH в слое 0–0,25 м составляет 7,0. Соответственно здесь произрастает растительность низинного болота на верховых торфах. Очевидное изменение типа болотной растительности.

В фоновом створе, располагающемся на расстоянии 260 м от дамбы, отмечается повышенная зольность в верхнем полуметровом слое – 6,2–5,7%. В слое 0,5–1,0 м зольность составляет 1,4–1,2%, что соответствует естественному залеганию. Аналогично показатель кислотности выше в верхнем слое 0–0,25 м, здесь он равен 4,1. В нижних слоях pH изменяется от 3,6 до 3,8.

Таким образом, взаимодействие торфяного болота и сточной воды происходит как минимум в метровом слое в зоне резкой трансформации растительности и на границе визуального изменения исходной растительности, а также в полуметровом слое естественного болота за пределами его визуального изменения. В последнем случае сохранению типичной растительности способствует разбавление сточных вод болотными на поверхности, микрорельеф, поглощение торфом загрязнителей и фильтрация загрязненных вод в торфяной залежи, при которой не затрагивается сточными водами слой живых сфагновых мхов. Вероятно, что в зоне фона (створ 3) отсутствует постоянное влияние сточных вод, за исключением периода высоких вод.

Библиографический список

1. *Кузьмина Е.О.* Реакция сфагновых мхов на жидкие стоки животноводческих комплексов / Экология, РАН, Наука. – 1993. – Вып. 2. – С. 10–14.
2. Актуальные вопросы использования торфа и болот. Монография / Суворов В.И., Женихов Ю.Н., Лопатин К.И., Толстограй В.И., Юсупов И.А. – Тверь: Триада, 2012. – 152 с.
3. *Чеботина М.Я., Лисовских В.Г., Реч Г.А., Кононович А.Л. и др.* О динамике прохождения жидких сбросов Белоярской АЭС через Ольховское болото / Экология, РАН, Наука. – 1993. – Вып. 2. – С. 88–90.

УДК 622.331:658.7

Васильев А.Н.

Васильев Алексей Николаевич, д. т. н., профессор кафедры «Механизация природообустройства и ремонт машин» Тверского государственного технического университета (ТвГТУ). Тверь, Академическая, 12. vasilev_1942@bk.ru

Технология добычи фрезерного торфа с досушкой его на откосах многоцикловых валков

Аннотация. Описана технология добычи торфа с сушкой в два этапа. Первый – сушка в расстиле, проводится одно или два ворошения до влаги 55–60%. Торфяную крошку собирают валкователем в валок, одновременно выполняя повторное фрезерование залежи; второй – досушка торфа до требуемой влаги 40–48% происходит на откосах валков послойно. Пневмоуборочные машины оборудуются соплами для пневматического принципа сбора торфа с откосов валка.

Ключевые слова: технология, сушка, многоцикловой валок, пневматическая машина, сопла, откос.

Vasiliev A.N.

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

Technology of extraction of milling peat with drying it on the slopes of multi-cycle rolls

Abstract. The technology of peat extraction with drying in two stages is described. The first is drying in the spread, one or two tumbling is carried out to a moisture of 55–60%. The peat is collected by a swather in a roll, while simultaneously performing a repeated milling of the deposit; the second – the drying of peat to the required moisture 40–48% occurs on the slopes of the rolls layer by layer. Pneumatic harvesting machines are equipped with nozzles for the pneumatic principle of collecting peat from the slopes of the roll.

Keywords: technology, drying, multi-cycle roll, pneumatic machine, nozzles, escarpment.

В технологии добычи фрезерного торфа сфрезерованный расстил сушат на поверхности залежи до влаги 40–45%. В процессе сушки проводят два-три ворошения расстила, после чего его убирают в штабель [1].

Предлагаемая технологическая схема с сушкой торфа на откосах многоцикловых наращиваемых валков содержит принципиально новые элементы и отличается целым рядом преимуществ. Повышение сезонных сборов по технологии, предусматривающей досушку торфа на откосах таких валков, достигается за счет создаваемого процесса сушки, представляющего собой комбинированный вариант, который разделен на два этапа: первый – сушка в расстиле, проводится одно или два ворошения до влаги 55–60%, после чего торфяную крошку собирают валкователем в валок, одновременно выполняя повторное фрезерование залежи; второй – досушка торфа до требуемой влаги 40–48% происходит на откосах валков послойно. Расчленение процесса сушки торфа на два этапа совместно с многократной уборкой его с поверхности укрупненных валков позволяет повысить эффективность сезонной добычи торфяной продукции.

В процессе сушки производится одно или два ворошения расстила в зависимости от метеорологических условий. При достижении фрезерным торфом влажности 55... 60% его собирают скреперным валкователем или пневмовалкователем в укрупненные валки. На карте формируется один трехцикловой валок, на откосах которого выполняется досушка торфа (рис. 1).

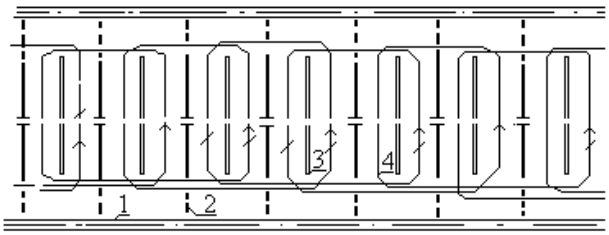


Рис. 1. Схема работы МТФ-96: 1 – валовый канал; 2 – картовый канал; 3 – валок; 4 – рабочий проход

Fig. 1. Operation scheme of MTF-96: 1 – gross channel; 2 – the card channel; 3 – rolls; 4 – working pass

Для обеспечения более эффективной работы пневмоуборочных машин в один валок собирают торф четырех-пяти начальных циклов. Верхний слой торфа толщиной 30... 35 мм, находящийся на откосе валков в благоприятных метеорологических условиях, подсушивают от влаги привалковании 55... 60% до уборочной влаги 40... 48% за 4–6 часов и убирают пневмоуборочными машинами.

При уборке торфа с поверхности каждого валка пневмоуборочные машины убирают по одному бункеру торфа. За сутки производят до пяти уборок с валка.

При выпадении осадков до 20 кг/м^2 фрезерный торф в валке намокает на толщину не более 0,030... 0,040 м. Поэтому для досушки намокшего слоя требуется 1–2 дня, после чего уборка может быть возобновлена.

Пневмоуборочные машины оборудуются соплами для пневматического принципа сбора торфа с откосов валка.

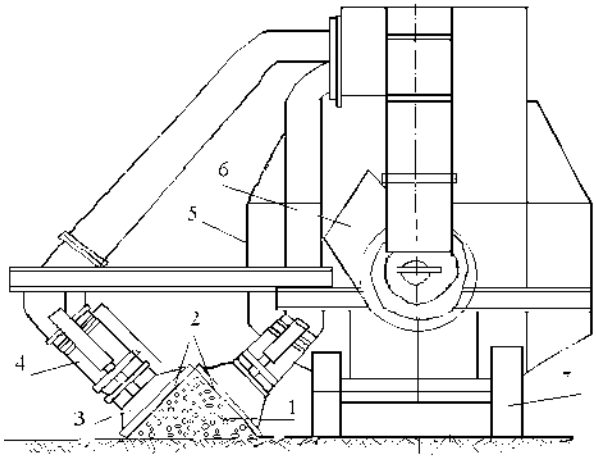


Рис. 2. Пневматическая машина для сбора подстилочного и топливного торфа: 1 – валок; 2 – сопла; 3 – внутренняя цилиндрическая труба; 4 – наружная цилиндрическая труба; 5 – кузов; 6 – вентилятор; 7 – шасси

Fig. 2. Pneumatic machine for collecting litter and fuel peat: 1 – roll; 2 – nozzles; 3 – inner cylindrical tube; 4 – outer cylindrical tube; 5 – body; 6 – the fan; 7 – chassis

Данная технология позволяет увеличить сезонные сборы в 1,5 раза. При этом потребуется меньше производственных площадей для выполнения программы производства торфяной продукции, что позволяет снизить капиталовложения на их содержание и сократить налоговые отчисления по арендуемым площадям, что очень актуально в настоящее время для многих предприятий отрасли.

Устройство для уборки фрезерного торфа включает смонтированный на раме шасси бункер с разгрузочным узлом, вентилятор, связанный трубопроводами с циклоном и через соединительный узел с соплами, расположенными сбоку от шасси.

Сущность изобретения заключается в том, что каждое сопло установлено с возможностью поступательного и вращательного перемещения индивидуального привода, а его соединительный узел выполнен в виде смонтированных на раме шасси посредством кронштейна опорно-направляющих колец и установленных в них телескопических наружных и внутренних цилиндрических труб [2].

Индивидуальный привод каждого сопла выполнен в виде плиты-тележки и размещенного на ней электродвигателя с редуктором, при этом плита-тележка установлена с возможностью перемещения в продольных пазах, выполненных в кронштейне рамы.

К циклону присоединены два всасывающихся трубопровода. К каждому трубопроводу прикреплена внутренняя промежуточная цилиндрическая труба. Два сопла машины, каждое из которых соединено с наружной промежуточной цилиндрической трубой, которая телескопически установлена на внутреннюю промежуточную цилиндрическую трубу. Две плиты-тележки с колесами помещены в продольные пазы кронштейна. Два электродвигателя и два редуктора, закрепленные на каждой плите-тележке, кинематически связанные посредством зубчатой передачи с наружной промежуточной цилиндрической трубой. В полости каждой наружной промежуточной цилиндрической трубы жестко и концентрично установлена коробчатая труба с входным участком в виде конфузора.

Машина для уборки фрезерного торфа устанавливается так, чтобы валок оказался между двумя соплами. После этого гидроцилиндрами каждое сопло подводят к боковой поверхности валка. В это время наружная промежуточная цилиндрическая труба перемещается по поверхности внутренней промежуточной цилиндрической трубы благодаря их телескопической связи. При перемещении наружной промежуточной цилиндрической трубы перемещается плита-тележка. Включают электродвигатели, и через редукторы и зубчатую передачу вращение передается каждой наружной промежуточной цилиндрической трубе, которая устанавливает сопла в вертикальной плоскости на высоту валки. Включают вентилятор, и машина начинает движение вдоль валка.

Благодаря выполнению входного участка коробчатых труб в виде конфузора исключается проникновение воздушного потока в пространство между коробчатой трубой и наружной промежуточной цилиндрической трубой, так как и выполнение входного участка коробчатой трубы в виде конфузора исключает проникновение воздушного потока в пространство между внутренними промежуточными цилиндрическими трубами и коробчатыми трубами.

Из коробчатых труб воздух попадает в трубопроводы, а затем в циклон, а затем в бункер и этим же вентилятором направляется на рециркуляцию для взвихривания частиц торфа перед соплом. Поэтому по коробчатым трубам и трубопроводам движется торфо-воздушная смесь, которая поступает в циклон, где смесь получает винтовое движение. При этом частицы торфа под влиянием центробежной силы прижимаются к наружным стенкам осадителя циклона, теряют скорость и оседают в бункере. Причем благодаря тому, что коробчатые трубы находятся друг от друга на незначительном расстоянии, уменьшение скорости воздушного потока почти не происходит, это исключает на данном участке выпадение из потока отдельных частиц торфа. При уменьшении высоты валка происходит подсос воздуха через щель сопла, выступающую за вершину этого валка. Производительность резко падает. В этом случае сопла устанавливают в такое положение, чтобы щель сопла полностью перекрывала высоту валка. Для этого включают электродвигатель и через редуктор и зубчатую передачу вращают наружную промежуточную цилиндрическую трубу до тех пор, пока щель каждого сопла перекрывает валок по высоте, при этом каждое сопло занимает требуемое наклонное положение.

При повороте сопел коробчатая труба располагается относительно другой коробчатой трубы. Однако благодаря выполнению входного участка коробчатой трубы в виде конфузора воздушный поток плавно затягивается в эту трубу под воздействием вентилятора.

При уборке фрезерного торфа из горизонтального расстила указанным выше методом сопла располагают параллельно расстилу. Две направляющие кронштейна надежно фиксируют положение плиты-тележки в пазах этого кронштейна.

Возможен второй вариант механизма поворота сопел. По второму варианту на каждой плите-тележке жестко установлена стойка с двумя проушинами, к которым шарнирно присоединен гидроцилиндр, шток которого шарнирно связан с проушинами, закрепленными на поверхности каждой наружной промежуточной цилиндрической трубы. По второму варианту поворот сопла осуществляется так. При выдвижении штока гидроцилиндра усилие передается проушинам, которые отклоняются на заданный угол от первоначального положения, вместе с проушинами поворачивается и наружная промежуточная цилиндрическая труба и коробчатая труба, а значит, и сопло. При достижении требуемого положения сопла гидроцилиндр отключают.

Предлагаемое устройство для уборки фрезерного торфа позволяет повысить эффективность сбора торфа из валка переменной высоты, а также из расстила путем изменения положения сопел относительно боков валка и расстила за счет принудительного механизированного поворота сопел.

Библиографический список

1. *Васильев А.Н.* Перспективные технологии производства фрезерного торфа: учеб. пособие для вузов / А.Н. Васильев. – Тверь: ТвГТУ, 2007. – С. 184.
2. Патент РФ №2007572. Устройство для добычи фрезерного торфа / С.В. Буданов, А.Н. Васильев. – БИ № 3. – 1994.

УДК 622.331

Болтушкин А.Н.

Болтушкин Анатолий Николаевич – доцент кафедры «Геотехнология и торфяное производство» Тверского государственного технического университета (ТвГТУ). Тверь, Академическая, 12. bolt-41@mail.ru

Купорова А.В.

Купорова Александра Владимировна – старший преподаватель кафедры «Геотехнология и торфяное производство» ТвГТУ. borale@inbox.ru

МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ КОЛИЧЕСТВА РАБОЧИХ ДНЕЙ НА ВЫВОЗКЕ ТОРФА ИЗ УКРУПНЕННЫХ ВАЛКОВ

Аннотация. В статье описана методика определения количества рабочих дней на вывозке торфа из укрупненных валков. Приведены примеры расчетов цикличности и количества рабочих дней на вывозке верхового торфа для различных регионов РФ. Для анализа изменчивости числа рабочих дней по годам были определены коэффициенты вариации. Установлено, что количество рабочих дней на вывозке торфа из укрупненных валков увеличивается в 1,5–1,7 раза.

Ключевые слова: торф, укрупненный валок, осадки, коэффициент поглощения, количество рабочих дней.

Boltushkin A.N.

Boltushkin Anatolij Nikolaevich – Ph. D., Ass. Prof. of the Chair of Geotechnology and Peat Production of the Tver State Technical University. bolt-41@mail.ru

Kuporova A.V.

Kuporova Alexsandra Vladimirovna, senior lecturer of the Chair of Geotechnology and Peat Production of the Tver State Technical University. E-mail: borale@inbox.ru

METHOD OF DETERMINATION THE NUMBER OF THE WORKING DAYS ON TRANSPORTATION OF PEAT FROM THE INTEGRATED ROLLS

Abstract. The article describes a method of determination the number of the working days on transportation of peat from the integrated rolls. Examples are given of calculations the cyclicity and the number of the working days on transportation of terrestrial peat for various regions of the Russian Federation. Coefficients of a variation have been defined for the analysis of variability of number of the working days by years. It is established that the number of the working days on transportation of peat from the integrated rolls increases by 1 5–1,7 times.

Keywords: peat, the integrated roll, rainfall, absorption coefficient, the number of the working days.

Одним из направлений совершенствования технологии добычи фрезерного торфа является применение технологии с раздельной уборкой, которая впервые была предложена в СССР шатурскими торфяниками в 1968 г. Принципиально похожая схема разработана и реализована в Финляндии под названием «Haku». Всесоюзный научно-исследовательский институт торфяной промышленности (ВНИИТП) разработал технологию и оборудование для российских условий, которая и получила название технологии добычи фрезерного торфа с раздельной уборкой [1]. Технология раздельной уборки позволяет увеличить количество циклов на 10%, цикловой сбор – на 10%, а сезонный сбор увеличивается на 20%. Повышается производительность труда.

Сущность данной технологии заключается в том, что технологический цикл производства фрезерного торфа заканчивается операцией валкования в укрупненные валки, а сама уборка выведена за рамки цикла. При этом в укрупненных валках, образуемых с полосы шириной около 20 м, собирается и хранится торф, свалкованный в течение 1–5 циклов. Таким образом, торф может находиться в валках до 10 суток, подвергаясь воздействию метеорологических факторов погоды, в результате чего торф при выпадении осадков намокает, а в бездождные дни – подсыхает.

Процессы намокания и сушки торфа на поверхности откосов укрупненных валков определяют цикличность уборочных дней, а также возможность получения кондиционной по влажности торфяной продукции. В свою очередь знание цикличности дней, пригодных для вывозки торфа, необходимо для планирования производственно-технических показателей производства фрезерного торфа, сезонной выработки оборудования, количества уборочных комплексов и др.

Вывозка фрезерного торфа из укрупненных валков не может производиться по следующим причинам:

- влажность торфа в валке превышает кондиционную вследствие поглощения воды от выпавших осадков;
- по требованиям пожарной безопасности при скорости ветра более 10 м/с;
- недостаточная проходимость машин уборочно-транспортного комплекса, вызванная уменьшением несущей способности торфяной залежи при выпадении осадков.

Таким образом, для определения числа рабочих дней, пригодных для вывозки торфа из укрупненных валков, из общей календарной продолжительности сезона необходимо исключить дни, в которые невозможна вывозка по указанным выше причинам.

Основное положение, принятое при разработке методики расчета, заключается в следующем: поглощенные торфом осадки должны быть полностью ликвидированы за счет испарения, независимо от того, превышает влажность торфа в валке после поглощения осадков браковочный предел или не превышает. Это требование необходимо для того, чтобы не снижать качество готовой продукции. В таком случае задача сводится к определению продолжительности ликвидации осадков, которая определяется соотношением величины поглощенной от осадков воды и испарением с поверхности откосов валка. Если в первом приближении принять интенсивность испарения поглощенных осадков равной величине испаряемости с водонасыщенной поверхности испарителя Н.М. Топольницкого, то тогда величина суммарной испаряемости, необходимая для полной ликвидации увлажнения ($\sum i_л$), определится из формулы

$$\sum i_л = Cos\alpha\, h_{ос} K_{ос}, \qquad (1)$$

где α – угол наклона откоса валка, град; $h_{ос}$ – количество выпавших осадков, кг/м^2; $K_{ос}$ – коэффициент поглощения осадков.

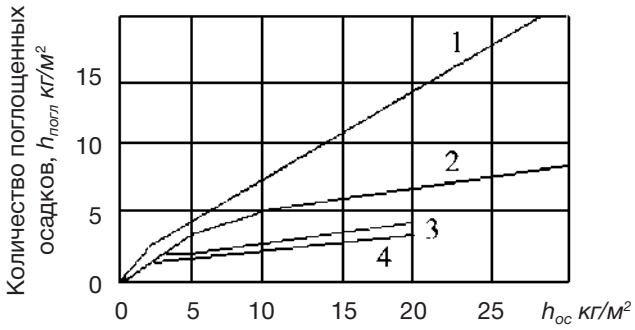
По полученным экспериментальным данным, средняя интенсивность испарения воды от поглощенных осадков на 20–25% меньше величины испаряемости. Поэтому, приняв во внимание, что $Cos\alpha$ = 0,77–0,8 (при угле естественного откоса α = 37–40°), формулу (1) можно представить так:

$$\sum i_л = h_{ос} K_{ос} = h_{погл}, \qquad (2)$$

где $h_{погл}$ – величина поглощенных осадков, кг/м^2, т. е. необходимая суммарная испаряемость для ликвидации путем испарения поглощенных осадков должна быть равна их величине.

Коэффициент поглощения осадков валком торфа зависит от многих факторов: величины и интенсивности выпавших осадков, степени разложения и вида торфа, фракционного состава, влажности торфа в валке и др.

Экспериментально по схеме полного факторного эксперимента в лабораторных усло-



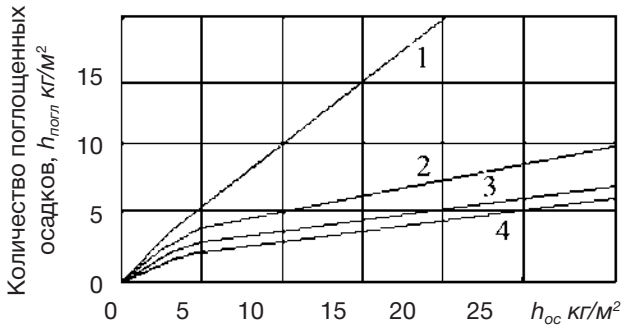


Рисунок. Зависимость величины поглощения осадков от выпавших осадков: 1 – низинный, степень разложения 30%, 2, 3 и 4 – верховой торф при степени разложения соответственно 10, 20 и 25%

Figure. Dependence of size of absorption of rainfall on precipitations: 1 – low-moor peat, degree of decomposition of 30%, 2, 3 and 4 – terrestrial peat, degree of decomposition respectively 10, 20 and 25%

виях и проверкой в полевых условиях получены математические модели поглощения осадков верховым торфом в зависимости от различных факторов:

$$h_{погл} = 3{,}22 + 0{,}44h_{ос} - 1{,}10W_0 - 1{,}10R - 0{,}075h_{ос}W_0 - 0{,}017h_{ос}R + 0{,}11W_0R + 0{,}006h_{ос}W_0R, \quad (3)$$

$$K_{ос} = \frac{3{,}22 - 1{,}1W_0 - 0{,}1R + 0{,}11W_0R}{h_{ос}} + 0{,}44 - 0{,}075W_0 - 0{,}017R + 0{,}0061W_0R, \quad (4)$$

где $h_{погл}$ – величина поглощенных осадков, кг/м²; $h_{ос}$ – количество выпавших осадков, кг/м²; W_0 – влагосодержание торфа в валке перед выпадением осадков, кг/кг; R – степень разложения торфа, %.

Уравнения справедливы только для верхового торфа при следующих пределах варьирования факторов: $5 \le h_{ос} \le 30$ кг/м²; $0{,}25 \le W_0 \le 1$ кг/кг; $10 \le R \le 25$.

Средняя квадратическая ошибка уравнения (3) составляет 0,27 кг/м².

Величина поглощения осадков зависит от многих факторов. Такие факторы, как угол наклона откоса валка, поперечное сечение валка и интенсивность выпадения осадков, оказывают незначительное влияние на величину поглощения осадков, поэтому в целях упрощения расчетной формулы ими можно пренебречь.

Определение цикличности рабочих дней на вывозке торфа из многоцикловых валков ведут в следующей последовательности (под цикличностью здесь понимается отношение возможной по метеорологическим условиям продолжительности работы оборудования на вывозке торфа к плановой).

Цикличность дня принимается равной 1, если отсутствуют осадки и их последействие, скорость ветра менее 10 м/с.

Цикличность суток, когда максимальная скорость ветра достигает 10–15 м/с, снижается на 0,25, а при скорости ветра более 15 м/с принимается равной нулю.

Цикличность суток, в которые выпадают осадки, определяют следующим образом:

- определяется коэффициент поглощения осадков и вычисляется количество поглощенных осадков (формулы 3, 4);
- вычисляют разность между испаряемостью и количеством поглощенных осадков за каждые сутки, т. е.

$$\Delta i_{ил} = i_и - h_{погл}.$$

Если $\Delta i_{ил} \le 0$, то цикличность данного дня принимают равной нулю. Если же $\Delta i_{ил} > 0$, то цикличность дня определяется отношением

$$C = \frac{\Delta i_{ил}}{i_и},$$

значение которого округляется до ближайшего дискретного значения: 0,25; 0,5; 0,75; 1,0.

Для определения цикличности суток, следующих за днями с нулевой цикличностью, вычисляется для каждых суток накопленная сумма разностей между величиной испаряемости и поглощенными осадками

$$\sum \Delta i_{ил} = \sum (i_{ил} - h_{погл}).$$

Если $\sum i_{ил} \leq 0$, то цикличность данных суток принимается равной 0, если же $\sum i_{ил} > 0$, то цикличность принимается равной отношению

$$C = \frac{\sum \Delta i_{ил}}{i_и},$$

округленному до ближайшего дискретного значения 0,25; 0,5; 0,75; 1,0. Вычисление накопленной суммы ведут, пока цикличность суток не станет больше нуля.

Пример расчета цикличности рабочих дней на вывозке верхового торфа степенью разложения 25% из укрупненных валков приведен в табл. 1.

По разработанной методике обработаны 30-летние метеорологические ряды по некоторым метеостанциям Северо-Запада России, Урала и Западной Сибири. Результаты расчета представлены в табл. 2. Здесь же для сравнения приведены результаты расчета цикличности уборочных дней на добыче торфа по методике ВНИИТП[2].

Количество рабочих дней на вывозке торфа из укрупненных валков в 1,5–1,7 раза превышает число уборочных дней. Следует отметить, что данная методика предполагает полное испарение поглощенных осадков, т.е не допускается вывозка торфа с влажностью выше уборочной. Если же принять за допустимое вывозку торфа из валков с влажностью несколько выше уборочной, но не превышающей браковочный предел, то в таком случае количество рабочих дней может быть увеличено на 15–20%. По сравнению с количеством уборочных дней количество рабочих дней на вывозке торфа из валков характеризуется меньшей изменчивостью, как по отдельным сезонам, так и по отдельным метеостанциям [3].

Таблица 1. Расчет цикличности рабочих дней на вывозке торфа из укрупненных валков

Table 1. Calculation the cyclicity of the working days on transportation of peat from the integrated rolls

Дата	$h_{ос}$ кг/м^2	$K_{ос}$	$h_{погл}$, кг/м^2	$i_и$, кг/м^2	$\Delta i_{ил}$,	$\sum \Delta i_{ил}$	C
27.05	–	–	–	5,67	–	–	1,0
28.05	0,5	0,90	0,45	5,32	+ 4,87	–	1,0
29.05	2,4	0,61	1,46	2,94	+ 1,48	–	0,5
30.05	–	–	–	2,66	–	–	1,0
31.05	–	–	–	5,67	–	–	1,0
01.06	5,2	0,36	1,87	3,85	+ 1,98	–	0,5
02.06	–	–	–	4,06	–	–	1,0
3.06	4,2	0,43	1,81	0,35	–1,46	–1,46	0
4.06	–	–	–	3,5	+ 3,5	+ 2,04	0,5
5.06	14,9	0,19	2,83	0,49	–2,34	–2,34	0

Таблица 2. Количество рабочих дней на вывозке торфа из укрупненных валков для некоторых регионов РФ

Table 2. The number of the working days on transportation of peat from the integrated rolls for some regions of the Russian Federation

Метеостанция	Количество дней по вывозке торфа из укрупненных валков, $n_{выв}$				Количество уборочных дней по методике ВНИИТП, $n_{уб}$		Отношение $\frac{n_{выв}}{n_{уб}}$
	min	*max*	среднее	C_v	$n_{уб}$	C_v	
Сущево	58,8	88,5	74	0,113	46	0,300	1,61
Вологда	60	94	74	0,092	44	0,228	1,68
Екатеринбург	63	96	75	0,105	49	0,191	1,53
Киров	55	93	73	0,109	48	0,273	1,52
Тверь	52	89	73	0,142	45	0,305	1,62
Назия	47	86	66	0,134	43	0,315	1,53
Новгород-Григорово	46	93	72	0,142	45	0,427	1,60
Тюмень	60	90	75	0,091	–	–	–

Примечание. C_v – коэффициент вариации

Для анализа изменчивости числа рабочих дней по годам были определены коэффициенты вариации и построены кривые обеспеченности модульных коэффициентов, по которым можно определить число рабочих дней при различной обеспеченности (табл. 3).

Таблица 3. Количество рабочих дней на вывозке торфа при различной обеспеченности

Table 3. The number of the working days on transportation of peat at various security

Метеостанция	Коэффициент вариации, C_v	Число рабочих дней при степени обеспеченности				
		50%	60%	70%	80%	90%
Сущево	0,113	74	73	70	67	64
Вологда	0,092	74	73	71	69	66
Екатеринбург	0,105	75	74	72	69	66
Назия	0,134	66	63	61	58	54
Новгород-Григорово	0,142	72	70	67	64	59
Тюмень	0,091	75	73	72	69	66

Библиографический список

1. *Малков Л.М.* Интенсификация технологического процесса добычи фрезерного торфа / Л.М. Малков // Торфяная промышленность. – 1986. – № 9. – С. 2–5.
2. Методика расчета количества циклов добычи фрезерного торфа и эффективной испаряемости. – МТП РСФСР. – Л.: ВНИИТП, 1981. – 44 с.
3. *Купорова А.В., Смирнов В.И.* Обоснование проектного количества циклов при расчете программы добычи фрезерного торфа // Сб. трудов «Процессы и средства добычи и переработки полезных ископаемых». межд. науч.-техн. конференции, посвященной 80-летию со дня рождения заслуженного работника высшей школы Беларуси, д. т. н., проф. Кислова Н.В., 17–20 апреля 2012. – Минск: БНТУ, 202. – С. 67–72.

УДК 622.23.05:622.7

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

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

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

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

Михалочкина В.Н.
Михалочкина Валентина Николаевна, сотрудник кафедры механизации природообустройства и ремонта машин ТвГТУ

Fomin K.V.
Fomin Konstantin V., Dr., Prof., Head of the Chair of Mechanization of Environmental and Repair of Machines of the Tver State Technical University (TSTU). 170023, Tver, Academicheskaya, 12

Krylov K.S.
Krylov Konstantin. S., Dr., Associate Professor of the Chair of Mechanization of Environmental and Repair of Machines of the TSTU

Harlamov V.E.
Harlamov Vyacheslav E., Dr., Associate Professor of the Chair of Mechanization of Environmental and Repair of Machines of the TSTU

Morozikhina I.K.
Morozikhina Irina K., PhD, Associate Professor, Chair of Mechanization of Environmental and Repair Machines, TSTU

Michalochkina V.N.
Michalochkina Valentina Nikolaevna, employee of the Department of Mechanization of Environmental Engineering and Repair of TSTU

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПЛОТНОСТИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ МОМЕНТА СОПРОТИВЛЕНИЯ НА РАБОЧЕМ ОРГАНЕ ШНЕКОВОГО ПРОФИЛИРОВЩИКА ПРИ ВЫПОЛНЕНИИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ОПЕРАЦИИ

Аннотация. В статье предложены модели формирования момента сопротивления на рабочем органе шнекового профилировщика при взаимодействии с торфом и древесными включениями. Получены выражения, позволяющие на стадии проектирования определять плотность распределения нагрузки с учетом конструкции шнек-фрезы, режимов работы фрезерующего агрегата, физико-механических свойств торфа и параметров распределения древесных включений в залежи.

Ключевые слова: шнековый профилировщик, рабочий орган, момент сопротивления, динамические нагрузки, плотность распределения.

DETERMINATION OF THE DENSITY OF DISTRIBUTION OF THE MOMENT OF RESISTANCE ON THE WORKING BODY OF THE AUGER PROFILLING UNIT WHEN PERFORMING TECHNOLOGICAL OPERATIONS

Abstract. In the article the model of formation of the resistance moment on the working body of the auger profiler when interacting with peat and woody debris. The equations were obtained, allowing the design stage to determine the density distribution of workload based on a design screw-cutter, the milling assembly, physico-mechanical properties of peat and the distribution parameters of tree inclusions in the deposits.

Key words: auger profilling unit, working body, moment of resistance, dynamic load, distribution density.

В настоящее время в торфяной промышленности при подготовке и ремонте полей добычи широкое применение нашли шнековые профилировщики [1].

Опыт их эксплуатации показывает недостаточный уровень надежности. Известно, что надежность машины, ее эксплуатационные и экономические показатели закладываются на стадии проектирования. При этом важное значение приобретает разработка и применение прогрессивных методов расчета деталей машин, учитывающих основные факторы и условия, определяющие как характер и величину нагрузки в элементах конструкции и привода, так и действительные критерии работоспособности деталей.

Основной чертой всех торфяных фрезерующих агрегатов, в том числе и шнекового профилировщика, является резко переменный случайный характер нагрузки на рабочем органе [2, 3, 4], что связано с изменчивостью физико-механических свойств торфа и глубины фрезерования, а также с наличием древесных включений в обрабатываемом слое.

Случайный характер нагрузок для их анализа требует применения теории случайных функций [3]. Известно, что для полного описания таких процессов необходимо знать многомерные, в общем случае зависимые от времени функции распределения. Их получение связано с большими сложностями. Для практических нужд, как правило, ограничиваются одномерными и двумерными характеристиками случайных процессов. В работах [2–6] разработаны методики расчета на стадии проектирования математического ожидания, дисперсии и спектральной плотности момента сопротивления на рабочих органах торфяных фрезерующих агрегатов как при взаимодействии с торфом, так и с древесными включениями. Также большую практическую ценность имеет знание и одномерной плотности распределения.

В статье рассматривается аналитическая методика оценки плотности распределения момента сопротивления на шнек-фрезе профилировщика при выполнении технологической операции.

Общий момент сопротивления складывается из моментов на рабочем органе при взаимодействии с торфом и древесными включениями

$$M_0(t) = M_T(t) + M_D(t),$$

где $M_T(t)$, $M_D(t)$ – соответственно, моменты сопротивления при взаимодействии рабочего органа с торфом и древесными включениями.

Для определения плотности распределения суммарного момента сопротивления на шнек-фрезе воспользуемся подходами, представленными в [2, 7, 8].

Плотность распределения, мало отличающаяся от нормальной, может быть представлена в виде ряда Эджворта [7]:

$$W_0(x) = \frac{1}{\sigma_0\sqrt{2\pi}}\exp\left[-\frac{(x-m_0)^2}{2\sigma_0^2}\right]\left[1+\frac{\chi_{03}}{6\sigma_0^3}H_3\left(\frac{x-m_0}{\sigma_0}\right)+\frac{\chi_{04}}{24\sigma_0^4}H_4\left(\frac{x-m_0}{\sigma_0}\right)+\ldots\right],$$

где $m_0 = \chi_{01}$ – математическое ожидание суммарного момента сопротивления на рабочем органе; $\sigma_0 = \sqrt{D_0} = \sqrt{\chi_{02}}$ – среднеквадратическое отклонение случайного процесса; χ_{0k} – кумулянты *k*-го порядка; $H_3(x) = x^3 - 3x$ и $H_4(x) = x^4 - 6x^2 + 3$ – соответственно 3-й и 4-й полиномы Эрмита.

Данное выражение позволяет по кумулянтам оценить значение плотности вероятности нагрузки на рабочем органе машины при выполнении технологической операции.

Кумулянты *k*-го порядка суммарного момента сопротивления с учетом независимости составляющих процессов

$$\chi_{0k} = \chi_{Tk} + \chi_{Dk},$$

где χ_{Tk}, χ_{Dk} – соответственно, кумулянты *k*-го порядка момента сопротивления при взаимодействии рабочего органа с торфом и древесными включениями.

При фрезеровании торфа характерно взаимодействие одновременно большого числа лопастей шнека с залежью. В этом случае момент сопротивления близок к нормальному [3] и, соответственно, для первых двух кумулянтов имеем

$$\chi_{T1} = m_T, \chi_{T2} = D_T,$$

где $m_T D_T$ – соответственно, математическое ожидание и дисперсия момента сопротивления на рабочем органе при взаимодействии с торфом.

Для определения математического ожидания может быть использована известная методика, позволяющая рассчитать момент сопротивления через удельный расход энергии [1]

$$M_T = \frac{3.6 \cdot 10^3 BhWA_T}{\omega}, \tag{1}$$

где B – ширина захвата шнека, м; h – толщина срезаемого слоя; W – скорость перемещения агрегата, м/с; ω – угловая скорость вращения шнека.

Удельный расход энергии A_T для шнек-фрезы определяется с помощью выражения (М.В. Мурашов) [1]

$$A_T = \left[\frac{\tau}{\tau_{cp}} k \left(1 + 1,1 \frac{\pi \mu D}{H} \right) + \frac{\gamma_T}{2 \cdot 10^3} \left(\frac{H\omega}{2\pi} \right)^2 + \frac{1}{2} B \frac{\gamma_T \mu_1}{\varphi} \right] 3.6 \cdot 10^{-3}, \tag{2}$$

где τ_{cp}, τ – соответственно, среднее и текущее (случайное) значения предельного напряжения сдвига; k – коэффициент сопротивления резанию торфа [1], кПа

$$k = 10^2 \left(\frac{2,35}{\sqrt{\delta_{cp}}} + 0,2\upsilon_p \right), \tag{3}$$

где δ_{cp} – средняя толщина стружки $\delta_{cp} = 2ch/(D\varphi_0)$; c – подача шнека за один оборот $c = \frac{2\pi}{\omega} W$; φ_0 – угол контакта шнека с торфом $\varphi_0 = \arccos \frac{D/2 - h}{D/2} + \arcsin \frac{c}{D}$; υ_p – скорость резания торфа; μ – коэффициент трения шнека о торф; H, D – соответственно, шаг и диаметр винта; γ_T – плотность торфа; μ_1 – коэффициент внутреннего трения торфа; φ – коэффициент заполнения шнека (0,4÷0,6).

В выражении (1) с учетом (2, 3) случайными являются глубина фрезерования h, предельное напряжения сдвига торфа τ, плотность торфа γ_T, коэффициенты внешнего и внутреннего трения μ, μ_1, коэффициент заполнения шнека φ.

Для оценки математического ожидания и дисперсии момента разложим выражение $M_T(P)$, где $P = (h, \tau, \gamma_T, \mu, \mu_1, \varphi)$ – случайные параметры, в ряд Тейлора в окрестности точки с координатами, соответствующими значениям математического ожидания параметров и ограничимся членами ряда до второго порядка включительно.

В этом случае, учитывая методику, представленную в [9] для математического ожидания, получим

$$m_T \approx M_T(P_m) + \frac{1}{2} \sum_{n=1}^{N} \left(\frac{\partial^2 M_T}{\partial P_n^2} \right)_m D_{Pn} + \sum_{i<j} \left(\frac{\partial^2 M_T}{\partial P_i \partial P_j} \right)_m K_{Pij},$$

где индекс m означает то, что вместо случайных параметров в выражение подставляются их математические ожидания $P_m = (m_h, m_\tau, m_{\gamma T}, m_\mu, m_{\mu 1}, m_\varphi)$; N – число случайных параметров; D_{Pn}, K_{Pij} – соответственно, дисперсии и взаимные корреляционные моменты величин $h, \tau, \gamma_T, \mu, \mu_1, \varphi$.

Без учета корреляции между случайными параметрами

$$m_T \approx M_T(P_m) + \frac{1}{2} \sum_{n=1}^{N} \left(\frac{\partial^2 M_T}{\partial P_n^2} \right)_m D_{mn}.$$

Для дисперсии момента сопротивления на рабочем органе при взаимодействии с торфом имеем

$$D_T \approx \sum_{n=1}^{N}\left(\frac{\partial M_T}{\partial P_n}\right)_m^2 D_{Pn} + \frac{1}{4}\sum_{n=1}^{N}\left(\frac{\partial M_T^2}{\partial P_n^2}\right)_m^2 \left(\mu_4\left[P_n\right] - D_{Pn}^2\right) +$$

$$+\sum_{i<j}\left(\frac{\partial^2 M_T}{\partial P_i \partial P_j}\right)_m^2 D_{Pi} D_{Pj} + \sum_{n=1}^{N}\left(\frac{\partial M_T}{\partial P_n}\right)_m \left(\frac{\partial^2 M_T}{\partial P_n^2}\right)_m \mu_3\left[P_n\right],$$

где $_3\left[P\right]$, $_4\left[P\right]$ – соответственно, третий и четвертый центральные моменты случайных параметров P.

В случае близости законов распределения параметров к нормальному

$$D_T \approx \sum_{n=1}^{N}\left(\frac{\partial M_T}{\partial P_n}\right)_m^2 D_{Pn} + \frac{1}{2}\sum_{n=1}^{N}\left(\frac{\partial M_T^2}{\partial P_n^2}\right)_m^2 D_{Pn}^2 + \sum_{i<j}\left(\frac{\partial^2 M_T}{\partial P_i \partial P_j}\right)_m^2 D_{Pi} D_{Pj}.$$

При взаимодействии рабочего органа с древесными включениями момент сопротивления на шнек-фрезе представляют собой последовательности импульсов со случайными параметрами, когда момент возникновения каждого импульса соответствует началу взаимодействия с древесным включением

$$M_D(t) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} M_{dn}\left(t - t_{dn}; P_{dn}\right),$$

где $M_{dn}(t)$, t_{dn}, P_{dn} – соответственно, функция, описывающая момент сопротивления, моменты возникновения и случайные параметры импульса нагрузки при взаимодействии с n-м древесным включением.

При этом процесс может быть отнесен к типу импульсного пуассоновского [10, 11]. Используя подходы, предложенные в [2, 10], для кумулянтов нагрузки, возникающей при взаимодействии с древесными включениями можно получить

$$\chi_{dk} = \lambda_d m_1\left\{\int_0^{\tau_d} M_d^k\left(t; P_d\right) dt\right\},$$

где λ_d – число древесных включений взаимодействующих с рабочим органом в единицу времени $\lambda_d = N_p BW/1000$, где N_p – число древесных включений на 1 га; $m_1\{\ \}$ – знак усреднения; τ_d – длительность взаимодействия с древесным включением $\tau_d = l_d/W$, где l_d – размер древесного включения в направлении движения агрегата.

Величина кумулянта с точностью, достаточной для инженерных расчетов, может быть оценена с помощью выражения

$$\chi_{dk} \approx \lambda_d m_1\left\{M_{dMax}^k\left(P_d\right)\tau_d\right\}, \tag{4}$$

где $M_{dMax}(P_d)$ – максимальное значение импульса нагружения на рабочем органе при взаимодействии рабочего органа с древесным включением

$$M_{dMax}\left(P_d\right) = \frac{N_{dMax}}{\omega}, \tag{5}$$

где $N_{dMax} = 3600BhWA\ \varepsilon$ – пиковое значение мощности при взаимодействии с древесным включением [1]; $A_П$ – удельный расход энергии при взаимодействии с древесными включениями; $\varepsilon = d/B$ – местная пнистость [1], где d – размер древесного включения (ширина среза).

Подставляя (5) в (4), получим

$$\chi_k \approx \frac{\lambda}{W}\left(\frac{3600hWA_П}{\omega}\right)^k m_1\left\{d^k l_d\right\}.$$

В случае независимости величин d и l_d, для кумулянтов k-го порядка получим

$$\chi_k \approx \frac{\lambda}{W}\left(\frac{3600hWA_П}{\omega}\right)^k m_{dk} m_{ld},$$

где m_{dk} – момент k-го порядка размеров древесных включений

$$m_{dk} = \int_0^\infty x^k W_d(x)\,dx,$$

m_{ld} – математическое ожидание размеров древесных включений в направлении движения агрегата.

$$m_{lk} = \int_0^\infty x W_{ld}(x)\,dx,$$

где $W_{ld}(x)$, $W_d(x)$ – соответственно, плотности распределения размеров древесных включений в направлении движения агрегата и перпендикулярно ему.

Спектральная плотность и плотность распределения момента сопротивления на рабочем органе служат исходным материалом для анализа динамической нагруженности элементов привода фрезерующего агрегата и оценки его надежности на стадии проектирования [12, 13].

Библиографический список

1. *Солопов С.Г.* Торфяные машины и комплексы [Текст] / С.Г. Солопов, Л.О. Горцаколян, Л.Н. Самсонов, В.В. Цветков. Учебное пособие для вузов. – М.: Недра, 1981. – 416 с.
2. *Фомин К.В.* Научные основы статистической динамики торфяных фрезерующих агрегатов [Текст]: дисс…. докт. техн. наук: 05.05.06 / Фомин К.В. – Тверь, 2002. – 330 с.
3. *Самсонов Л.Н.* Элементы статистической динамики торфяных фрезерующих агрегатов [Текст] / Л.Н. Самсонов, К.В. Фомин. Учебное пособие для вузов. – Тверь: Тверской государственный технический университет, 2005. – 168 с.
4. *Самсонов Л.Н. Фомин К.В.* Анализ характера нагружения на рабочем органе торфяного фрезерующего агрегата // В сборнике: развитие механики торфа и научных основ создания машин и оборудования торфяного производства. Материалы научно-технической конф., посв. 100-летию со дня рождения заслуженного деятеля науки и техники РСФСР, доктора технических наук, профессора Солопова Сергея Георгиевича. – Тверской государственный технический университет. – 2001. – С. 106–110.
5. *Самсонов Л.Н.* Определение вероятностных характеристик момента нагружения на рабочем органе торфяного фрезерующего агрегата [Текст] / Л.Н. Самсонов, К.В. Фомин // Известия высших учебных заведений. Горный журнал. – 2003. – № 3. – С. 106–112.
6. *Фомин К.В.* Моделирование и анализ момента нагружения на рабочем органе торфяного фрезерующего агрегата [Текст] / К.В. Фомин // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2000. – Т. 2. – С. 222–226.
7. *Тихонов В.И.* Статистическая радиотехника [Текст]. – М.: Радио и связь, 1982. – 681 с.
8. *Фомин К.В.* Оценка плотности распределения момента нагружения на рабочем органе торфяного фрезерующего агрегата на стадии проектирования [Текст] // Технология и комплексная механизация торфяного производства межвузовский сборник научных трудов. Сб. – Тверь, 1994. – С. 77–80.
9. *Вентцель Е.С.* Теория вероятностей [Текст]. Учебное пособие для вузов. – М.: Наука, 1969. – 576 с.
10. *Фомин К.В.* Анализ нагрузок на рабочем органе торфяного фрезерующего агрегата при взаимодействии с древесными включениями [Текст] / К.В. Фомин // Торфяная отрасль и повышение эффективности использования энергобиоресурсов: материалы научно-практической конференции. Тверской государственный технический университет. – Тверь, 2000. – С. 130–132.
11. *Фомин К.В.* Моделирование нагрузки на рабочем органе торфяного фрезерующего агрегата при взаимодействии с древесными включениями [Текст] // Сборник научных трудов молодых ученых ТГТУ. – Тверь, 1998. – С. 51–54.
12. *Фомин К.В.* Моделирование и анализ динамических нагрузок в элементах привода торфяного фрезерующего агрегата [Текст] / К.В. Фомин // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2002. – № 9. – С. 189–191.
13. *Фомин К.В.* Методика анализа динамических нагрузок в элементах привода торфяного фрезерующего агрегата [Текст] / К.В. Фомин, Л.Н. Самсонов // Вестник Тверского государственного технического университета. – 2002. – № 1. – С. 10–15.

УДК 621.928.26

Кочканян С.М.

Кочканян Сейран Микаелович, к. т. н., доцент кафедры «Строительные и дорожные машины и оборудование» Тверского государственного технического университета (ТвГТУ). Тверь, Академическая, 12. s_kochkanyan@mail.ru

Кондратьев А.В.

Кондратьев Александр Владимирович, д. т. н., заведующий кафедрой «Строительные и дорожные машины и оборудование» ТвГТУ. avkondr@ya.ru

Павлов Ю.Н.

Павлов Юрий Николаевич, к. т. н., доцент кафедры «Строительные и дорожные машины и оборудование» ТвГТУ. pavlov237@yandex.ru

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА НАКРУЧИВАНИЯ РАСТИТЕЛЬНОСТИ НА ВАЛЫ ДИСКОВОГО СЕПАРАТОРА ТОРФЯНЫХ МАШИН

Аннотация. Приведены результаты исследования процесса намотки травяной и древесной растительности на валы сепаратора с приближенными смежными дисками и на разделительном устройстве с эллипсообразными дисками, между которыми на валах установлены цепные чистики. Определены закономерности накручивания растительности в зависимости от конструктивных и кинематических параметров сепарирующих устройств.

Ключевые слова: валы сепаратора, зазор между дисками, частота вращения, цепной чистик, травяная и древесная растительность, намотка, очистка.

Kochkanyan S.M.

Kochkanyan Seiran M., PhD., Assistant Professor of the Chair of Building and Road Machines and Equipment, the Tver State Technical University

Kondratiev A.V.

Kondratiev Alesandr V., Dr.Sc., Prof., Head of the Chair of Building and Road Machines and Equipment of the Tver State Technical University

Pavlov Yu.N.

Pavlov Yuri N., PhD., Assistant Professor of the Chair of Building and Road Machines and Equipment of the Tver State Technical University

RESEARCH OF PROCESS OF WINDING OF VEGETATION ON SHAFT OF THE DISK SEPARATOR OF PEAT EQUIPMENT

Annotation. The results of a study of the winding of grass and tree vegetation on the separator shafts with adjacent disks and on the separation device with elliptical disks are provided, between which the chain cleaners are mounted on the shafts. The patterns of winding of vegetation are determined depending on the design and kinematic parameters of the separating devices.

Key words: separator shafts, gap between discs, rotation frequency, chain cleaner, grass and tree vegetation, winding, cleaning.

Высокое качество торфяной продукции характеризуется минимальным содержанием или полным отсутствием в ней нетехнологических включений, например, пней и камней. Поэтому процессы выделения из торфяного сырья древесных и каменистых включений занимают существенный объем во всем комплексе технологических операций переработки торфа как в полевых условиях, так и на стационарных предприятиях. Выделение из торфа нетехнологических включений осуществляется в основном на валковых сепараторах, поскольку они более интенсивно по сравнению с другими устройствами осуществляют разделение сыпучих смесей [1, 2]. Однако часто работоспособность валковых сепараторов снижается из-за наличия в торфяной смеси волокнистых включений (стебли и корневища травяной и древесной растительности), которые накручиваются на валы разделительного устройства, затемняя и даже полностью закрывая просеивающие отверстия сита. Данное явление может привести к заметному уменьшению и полному прекращению просеивающей способности разделительного устройства [3, 4].

Для устранения данного недостатка была выбрана схема валкового сепаратора с приближенными многогранными перекрывающимися дисками (рис. 1), а для сортировки с дисками эллипсообразной формы предлагалось в каждом промежутке между дисками на валу устанавливать цепной чистик (рис. 2) [5–7]. Данные схемы были реализованы в стендовом оборудовании, на котором проводились исследования, причем параметры стенда с эллипсообразными дисками, установленными на валах встык, полностью соответствовали конструкции сепаратора машины глубокого фрезерования МП-20.

В качестве исходного материала для изучения процесса накручивания применялся тростник и корневища с относительной влажностью 70%. При этом размерные характеристики (длина и толщина) растительных остатков варьировали в довольно широких пределах согласно параметрам растительности, накручивающейся на рабочие элементы сепараторов торфяных машин. В таблице 1 представлены данные обмеров травяной растительности и корневищ, намотавшихся на валы сепараторов машины глубокого фрезерования МП-20 и корчевателей МТП-81, МТП-84 [8].

Во время проведения опытов на стенде сепаратора с приближенными дисками определялись численные значения бокового зазора *e* (рис. 1), при которых обеспечивалась надежная работа сепаратора без наматывания растительности.

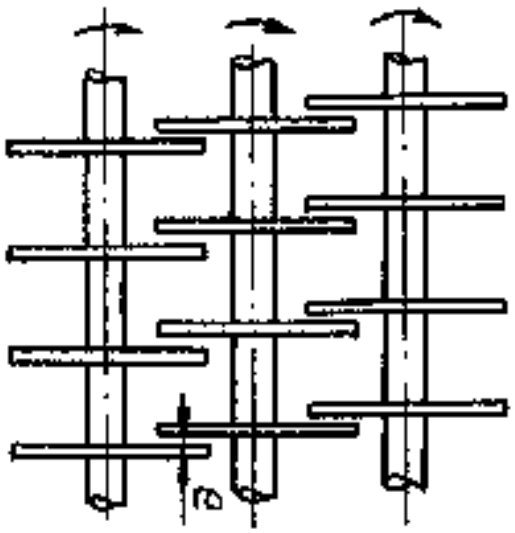


Рис. 1. Схема сепаратора с приближенными снежными дисками

Fig. 1. Diagram of a separator with approximate adjacent disks

Исследования процесса намотки проводились следующим образом. Весь исходный материал сначала сортировался по группам согласно таблице 1. Например, тростник диаметром 3 мм и длиной 0,8 м, корневища соответственно 5 мм и 1,2 м и т. д. Затем стебли тростника или корневища собирались в пучки по 10 штук, каждый пучок сгибался пополам и петлей подавался на вращающиеся диски для наиболее надежного захватывания растительности диском. При этом концы растительных остатков удерживались (тормозились) прижимным устройством (рис. 2), т. е. создавались условия, максимально приближенные к реальному процессу наматывания волокнистой растительности на сепараторах торфяных машин, когда растительность, зажатая слоями торфа, более интенсивно и плотно накручивается на валы сепарирующего устройства. Моменты накручивания материала фиксировались визуально, и результаты исследований заносили в журнал наблюдений.

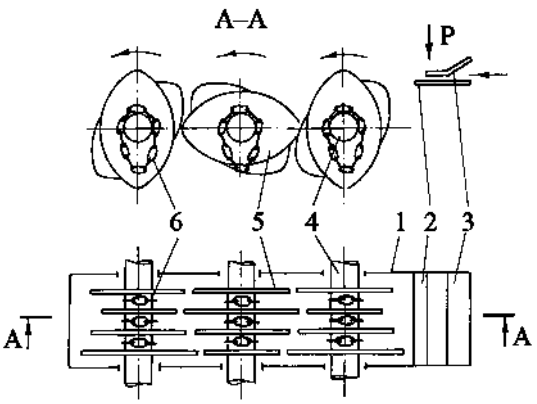


Рис. 2. Схема сепаратора с чистиками: 1 – рама; 2 – загрузочный лоток; 3 – прижимное устройство; 4 – валы; 5 – диски; 6 – цепные чистики

Fig. 2. Scheme separator with cleaners: 1 – frame; 2 – the loading tray; 3 – clamping device; 4 – shafts; 5 – disks; 6 – chain cleaners

Таблица 1. Размерные характеристики растительности

Table 1. Dimensional characteristics of vegetation

Вид материала	Размерные характеристики, мм	
	Диаметр (толщина) поперечного сечения	Длина стеблей и корневищ
Травяная растительность (стебли тростника)	3...9	800...1400
Древесная растительность (корневища)	5...16	1200...1800

Сначала на стенде с приближенными перекрывающимися дисками изучали влияние формы дисков на граничные значения зазора *e*, обеспечивающего работу устройства без намотки (табл. 2). При этом частота вращения валов с дисками составляла 1,6 $с^{-1}$, длина и толщина растительности соответственно 1500...1600 мм и 60 мм. Исследования показали, что квадратная форма дисков в наибольшей степени способствует процессу накручивания растительности на валы, зубчатая форма чуть меньше и шестигранная форма менее всего по сравнению с остальными. В то же время следует заметить, что полное предотвращение намотки независимо от формы дисков наблюдалось при $e \leq 1{,}5$ мм.

Таблица 2. Влияние формы дисков и величины зазора *e* на процесс намотки

Table 2. The effect of the shape of the discs and the size of the gap *e* on the winding process

Номер серии опытов	Форма дисков	Численное значение зазора *e*, мм						
		0,5	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5
1	Квадратная	+	+	+	–	–	–	–
2		+	+	+	–	–	–	–
3		+	+	+	–	–	–	–
1	Шестигранная	+	+	+	+	–	–	–
2		+	+	+	+	+	–	–
3		+	+	+	–	–	–	–
1	Зубчатая	+	+	+	–	–	–	–
2		+	+	+	+	–	–	–
3		+	+	+	–	–	–	–

«+» – работа без намотки; «–» – работа с намоткой

Дальнейшие исследования проводились на сепараторе с шестигранными дисками, в их ходе определялась зависимость рациональных численных значений зазора *e* от вида растительности, ее размерных характеристик, конструктивных и кинематических параметров устройства с приближенными смежными дисками.

Проведенные исследования показали линейную зависимость показателей зазора *e* от толщины растительности, с ростом которой увеличивается допустимый зазор между приближенными дисками (рис. 3). Из рис. 3 также видно, что тростник в большей степени склонен к намотке, поскольку он более гибкий и мягкий. Поэтому для обеспечения надежной работы разделительного устройства необходимо ориентироваться на показатели зазора для тростника.

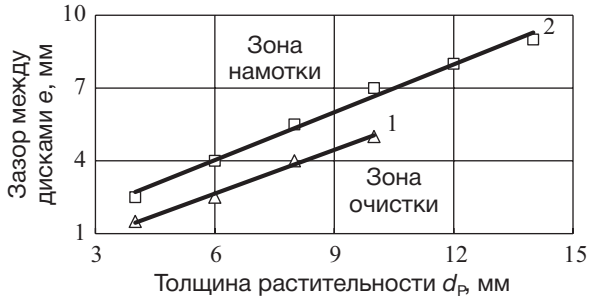


Рис. 3. Зависимость процесса намотки от зазора *e* и толщины поперечного сечения растительности d_P: 1 – тростник; 2 – корневища

Fig. 3. Dependence of the winding process on the gap *e* and of the thickness of the transverse sections of vegetation d_P: 1 – reed; 2 – rhizomes

Очевидно, что на процесс намотки должен влиять диаметр валов сепаратора. Эксперименты подтвердили данное предположение, было установлено, что чем больше диаметр вала, тем более длинные растительные включения наматываются на него. Прямая линия соотношения длины растительности и диаметра вала сепаратора, отделяющая зону намотки от зоны очистки, показана на рис. 4.

Влияние частоты вращения валов с дисками на допустимый зазор, обеспечивающий предотвращение намотки, показано на рис. 5. Увеличение частоты вращения дисков уменьшает вероятность намотки, вследствие этого с возрастанием n от 1,6 $с^{-1}$ до 4 $с^{-1}$ допустимое значение зазора e повышается с 1,5 мм до 3 мм.

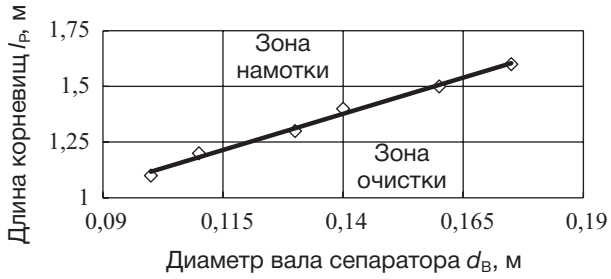


Рис. 4. Зависимость процесса намотки от диаметра вала сепаратора dв и длины растительности lр

Fig. 4. Dependence of the winding process on the diameter of the separator shaft dв and vegetation length lp

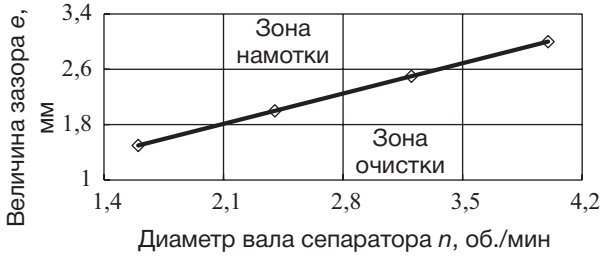


Рис. 5. Зависимость граничных значений зазора e от частоты вращения дисков n

Fig. 5. Dependence of the boundary values of the gap e of the rotational speed of disks n

Повышение частоты вращения каждого последующего вала по отношению к предыдущему также приводит к возрастанию численного значения зазора между приближенными дисками (рис. 6). Причем чем больше коэффициент $K_у$, характеризующий сравнительное возрастание скорости вращения вала, тем больше становится допустимый зазор между дисками.

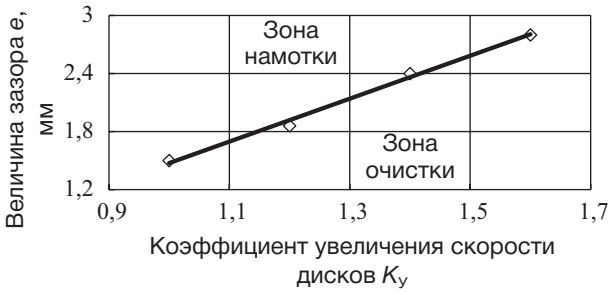


Рис. 6. Зависимость граничных значений зазора e от коэффициента увеличения скорости вращения валов $K_у$

Fig. 6. Dependence of the boundary values of the gap e on the coefficient of increasing the rotation speed of shafts $K_у$

На завершающем этапе исследований, на стенде с эллипсообразными дисками, установленными на валах встык (рис. 2), определяли в зависимости от усилия прижатия (сдерживания) подаваемого растительного материала на сепаратор необходимый вес цепного чистика, обеспечивающего очистку пространства между дисками. Результаты исследований, представленные на рис. 7, показывают линейную связь массы цепного чистика от величины силы P прижатия растительности к загрузочному лотку (рис. 2). Было установлено, что увеличение P в интервале 2…12 Н вызывает повышение необходимой массы чистика в 2,3 раза от 0,6 кг до 1,4 кг.

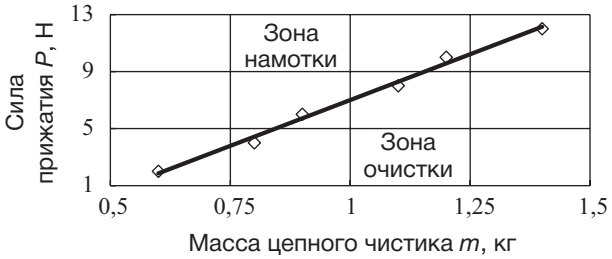


Рис. 7. Зависимость массы m цепного чистика от усилия P прижатия растительности

Fig. 7. Dependence of the mass m of the chain cleaner on the force P of pressing vegetation

Таким образом, результаты проведенных исследований могут служить основанием для выбора конструктивных схем валковых сепараторов (сепараторы с приближенными дисками), обеспечивающих предотвращение

наматывания волокнистых включений на валы устройства. Кроме того, с целью устранения намотки на применяемых дисковых сортировках можно использовать цепные чистики, параметры которых можно подобрать, исходя из представленного исследования.

Библиографический список

1. *Бондарев Ю.Ю.* Валково-дисковый сепаратор автономного модульного комплекса добычи и переработки торфяного сырья на топливо / Ю.Ю. Бондарев, И.Е.Звонарев, С.Л. Иванов и др. // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Геология. Нефтегазовое и горное дело. – 2015. – Т. 14. – № 14. – С. 73–81.
2. *Кондратьев А.В.* Валковые сепараторы. Научные основы проектирования: монография / А.В. Кондратьев, С.М. Кочканян, Ю.Н. Павлов. – Тверь: ТвГТУ, 2007. – 136 с.
3. Исследование и разработка способов улучшения качества подготовки и ремонта торфяных полей с применением МПГ [Текст]: отчет о НИР (промежут.): 2 / Калин. фил. ВНИИТП. – Радченко, 1968. – 37 с.
4. *Кусков Ю.Д.* Исследование процесса очистки корневых систем пней от торфа при подготовке новых производственных площадей / Ю.Д. Кусков: Торфяная промышленность. – 1973. – № 12. – С. 10–13.
5. А.с. 1335137 СССР, МПК А 01 В 43/00. Ротационный сепаратор / Кондратьев А.В., Мясников А.Б., Самсонов Л.Н. и др.; заявл. 21.04.86; опубл. 07.09.87, Бюл. – № 33. – 3 с.
6. Пат. 2038735 РФ, МПК А 01 D 33/08. Ротационный сепаратор / Кондратьев А.В., Мясников А.Б., Самсонов Л.Н. и др.; заявл. 14.06.91; опубл. 09.07.95, Бюл. – № 19. – 3 с.
7. А.с. 1142012 СССР, МПК А 01 В 43/00. Ротационный сепаратор / Мясников А.Б., Цыганов В.И., Кондратьев А.В.; заявл. 07.12.82; опубл. 28.02.85, Бюл. – № 8. – 3 с.
8. *Кочканян С.М.* Обоснование параметров и энергетических характеристик валковых сепараторов торфяных машин: дис... канд. техн. наук. – Тверь, 1993. – 148 с.

УДК 620.9.62-93

Горфин О.С.

Горфин Олег Семенович, к. т. н., профессор кафедры торфяных машин и оборудования (ТМО) Тверского государственного технического университета (ТвГТУ). 170023, Тверь, Академическая, 12. gorfin.oleg@yandex.ru

Яблонев А.Л.

Яблонев Александр Львович, д. т. н., профессор кафедры ТМО ТвГТУ. alvovich@mail.ru

Щербаков И.П.

Щербаков Илья Павлович, ген. директор ООО «Восточно-Европейская строительная энергетическая компания», scherbakov.ip@gmail.com

Савцов Е.А.

Савцов Евгений Александрович, магистрант. каф. ТМО ТвГТУ, vip.avtaykin@mail.ru

Эффективность использования утилизатора теплоты и очистки дымовых газов на ТЭЦ, работающей на буром угле

Аннотация. Представлена оценка эффективности работы ранее предложенного устройства утилизатора теплоты и очистки дымовых газов в условиях строящейся в г. Артем Приморского края ТЭЦ, ориентированной на использование в качестве топлива местного бурого угля. Произведено сравнение результатов с ранее представленными расчетами по оценке эффективности действия утилизатора при работе ТЭЦ на торфе. Сделан вывод об ожидаемом значительном экономическом эффекте в случае использования предложенного утилизатора.

Ключевые слова: ТЭЦ, котельные установки, теплоутилизатор, конденсация, парообразование, влага топлива, очистка дымовых газов от кислот.

Gorfin O.S.

Gorfin Oleg S., Dr., Professor of the Chair of Peat Machines and Equipment of the Tver State Technical University. Tver, Academicheskaya, 12

Yablonev A.L.

Yablonev Alexander L., Dr., Professor of the Chair of Peat Machinery of the Tver State Technical University

Shcherbakov I.P.

Shcherbakov Ilya P., Director of LLC «Eastern European Construction Energy Company»

Savtsov E.A.

Savtsov Evgeniy A. undergraduate of the Chair of Peat Machinery of the Tver State Technical University

Efficiency of use of the utilizer of warmth and purification of combustion gases at the heat and power plant burning brown coal

Abstract. Assessment of efficiency of operation of earlier offered device of the utilizer of warmth and purification of combustion gases in the conditions of the heat and power plant which is under construction in the city of Artyom in Primorsky Krai focused on use as fuel of local brown coal is presented. Comparison of results with earlier presented calculations for assessment of efficiency of operation of the utilizer during the work of heat and power plant on peat is made. The conclusion is drawn on the expected considerable economic effect in case of use of the offered utilizer.

Key Words: Heat and power plant, boiler installations, heat utilizer, condensation, steam formation, fuel moisture, purification of combustion gases of acids.

В котельных тепловых электростанций, сжигающих твердое топливо повышенной влажности (торф, бурый уголь, сланцы), потери энергии на парообразование влаги топлива могут достигать 50%.

Уменьшить тепловые потери возможно, используя теплоутилизаторы различных конструкций. Интерес представляет утилизатор теплоты и очистки дымовых газов [1]. Расчеты показывают, что использование такого утилизатора при работе ТЭЦ на топливе повышенной влажности (торфе) позволяет получить значительный экономический эффект [2].

Однако из всех видов твердого топлива наиболее часто на ТЭЦ используется более экономичный бурый уголь марки Б3 влажностью менее 30%, например бурый уголь Московского месторождения влажностью 30%. Работа ТЭЦ на сильнообводненном буром угле при использовании утилизатора позволит также улучшить экономические показатели работы электростанции и получить результаты, близкие по величинам к тем, что наблюдаются при работе ТЭЦ на торфе влажностью 50%.

Рассмотрим экономическую целесообразность использования утилизатора теплоты и очистки дымовых газов на строящейся по программе развития Дальнего Востока ТЭЦ г. Артем Приморского края.

Новая станция в г. Артеме будет второй по электрической мощности в Приморском крае и сможет вырабатывать более 670 МВт электроэнергии (с перспективой расширения до 800 МВт) и 485 Гкал/ч тепловой энергии, потребляя в качестве топлива бурый уголь влажностью 28% с местного месторождения [3].

Состав рабочего топлива (угольной пыли) Артемовского месторождения представлен в табл. 1 [4].

Таблица 1. Состав угольной пыли Артемовского месторождения

Table 1. Composition of coal dust of Artemovsky deposit

Компонент	C^p	H^p	O^p	N^p	S^p	A^p	W^p	Сумма
Количество массовое, %	35,5	2,9	10,9	0,8	0,3	21,6	28,0	100

На ТЭЦ планируется использование камерной топки для сжигания угольной пыли бурого угля. Для сравнения результатов использования утилизатора при работе на фрезерном торфе и буром угле производительность котла принята 30 т пара/ч.

Состав горючей массы угольной пыли, приведенный в табл. 2, получен путем пересчета с рабочей массы топлива (на примере углерода) [5]:

$$C^г = 100 \cdot C^p / (100 - A^p - W^p).$$

Таблица 2. Состав горючей массы угольной пыли

Table 2. Composition of combustible mass of coal dust

Компонент	$C^г$	$H^г$	$O^г$	$N^г$	$S^г$	Сумма
Количество массовое, %	70,44	5,75	21,63	1,59	0,59	100

Расчет произведен по нормативному методу [4].

Низшая теплота сгорания $Q_н^p$ определяется как сумма произведений тепловых эффектов от горючих веществ на их массовое количество в процентах по формуле Д.И. Менделеева:

$$Q_н^p = 339 \cdot C^p + 1030 \cdot H^p - 108{,}9 \cdot (O^p - S^p) - 25 \cdot W^p = 13167{,}16 \text{ кДж/кг}.$$

Принимаем состав сухого воздуха: азот – 79%; кислород – 21%.

Теоретически необходимое количество сухого воздуха L_0:

$$L_0 = 0{,}0889 \cdot C^p + 0{,}265 \cdot H^p - 0{,}0333 \cdot (O^p - S^p) = 3{,}57 \text{ нм}^3\text{/кг топл.}$$

Действительное количество воздуха $L_д$ при коэффициенте его избытка $\alpha = 1{,}2$:

$$L_д = \alpha \cdot L_0 = 1{,}2 \cdot 3{,}57 = 4{,}28 \text{ нм}^3\text{/кг}.$$

Количество атмосферного воздуха $L'_д$ в зависимости от влагосодержания атмосферного воздуха d (d = 10 г/кг сух. в. при температуре воздуха 20 °С и влажности 60%):

$$L'_д = (1 + 0{,}0016d) \cdot L_д = 4{,}35 \text{ нм}^3\text{/кг}.$$

Объемный состав продуктов горения

$$V_{CO2} = 0{,}01855C^p = 0{,}01855 \cdot 35{,}5 = 0{,}6585 \text{ нм}^3\text{/кг};$$

$$V_{H2O} = 0{,}112H^p + 0{,}0124W^p + 0{,}0016dL_d = 0{,}112 \cdot 2{,}9 + 0{,}0124 \cdot 28 + 0{,}0016 \cdot 10 \cdot 4{,}28 = 0{,}74 \text{ нм}^3\text{/кг};$$

$$V_{SO2} = 0{,}007S^p = 0{,}007 \cdot 0{,}3 = 0{,}0021 \text{ нм}^3\text{/кг};$$

$$V_{N2} = 0{,}79L_д + 0{,}008N^p = 0{,}79 \cdot 4{,}28 + 0{,}008 \cdot 0{,}8 = 3{,}3876 \text{ нм}^3\text{/кг};$$

$$V_{O2} = 0{,}21L_д\ (\alpha - 1) = 0{,}21 \cdot 4{,}28 \cdot (1{,}2 - 1) = 0{,}17976\ нм^3/кг.$$

Общий объем продуктов горения

$$V_\alpha = V_{CO2} + V_{H2O} + V_{SO2} + V_{N2} + V_{O2} = 4{,}968\ нм^3/кг.$$

Материальный баланс процесса горения угольной пыли

Материальный баланс процесса горения угольной пыли отображен в табл. 3.

Невязка баланса составляет:

$$(661{,}37 - 651{,}99) \cdot 100 / 661{,}37 = 1{,}4\%.$$

При сжигании 100 кг угольной пыли образуется 661,37 кг дымовых газов, что составляет $g_{д.г.}$ = 661,37/100 = 6,6 кг сух. г. /кг топлива.

При сжигании 100 кг угольной пыли образуется M_{H2O} кг водяных паров плотностью ρ = 0,804 кг/м³:

$$M_{H2O} = 100 \cdot V_{H2O} \cdot \rho = 100 \cdot 0{,}74 \cdot 0{,}804 = 59{,}5\ кг.$$

Полезно использованное тепло в котельной установке $Q_{к.а.}$ с учетом того, что производительность котельного агрегата D = 30 000 кг пара/ч; энтальпия перегретого пара при температуре 510°С и давлении 101 кг/см² $i_{п.п.}$ = 813,1 ккал/кг пара; энтальпия питательной воды $I_{п.в.}$ = 100 ккал/кг воды:

$$Q_{к.а.} = D \cdot (i_{п.п.} - I_{п.в.}) = 30\,000 \cdot (813{,}1 - 100) = 21{,}39 \cdot 10^6\ ккал/ч = 21{,}39\ Гкал/ч = 89{,}62\ ГДж/ч = 89{,}62 \cdot 10^6\ кДж/ч = 89{,}62 \cdot 10^3\ МДж/ч.$$

Расход топлива B с учетом, что КПД котельного агрегата $\eta_{ка}$ = 90%:

$$B = 100 \cdot Q_{к.а.} / Q_н^р \cdot \eta_{ка} = 100 \cdot 89{,}62 \cdot 10^6 / 13167{,}16 \cdot 90 = 7\,562{,}59\ кг/ч.$$

Количество влаги, получаемой при сжигании угольной пыли:

$$G_{вл} = (B / 100) \cdot M_{H2O} = (7\,562{,}59 / 100) \cdot 59{,}5 = 4\,500\ кг.\ вл./ч = 4{,}5\ т\ вл./ч.$$

Теплотехнический расчет

Количество сухого воздуха (дымовых газов), образующегося в результате сжигания угольной пыли $G_{д.г.}$:

$$G_{д.г.} = g_{д.г.}B = 6{,}6 \cdot 7\,562{,}59 = 49\,913{,}1\ кг/ч.$$

Влагосодержание дымовых газов $d_{д.г.}$:

$$d_{д.г.} = 10^3\ G_{вл} / G_{д.г} = 10^3 \cdot 4\,500 / 49\,913{,}1 = 90{,}16\ г_{вл}/кг_{д.г.}$$

Дымовые газы с постоянным влагосодержанием $d_{воз}$ из топки поступают в котлоагрегат, и на выходе из него с температурой 150–160 °С попадают в утилизатор теплоты и очистки дымовых газов.

Теплоемкость дымовых газов (смеси) $c_{см}$ с учетом того, что теплоемкость сухого газа $c_г$ = 1,017 кДж/кг·°С, теплоемкость пара $c_п$ = 1,93 кДж/кг·°С, а влагосодержание при температуре 150 °С равно влагосодержанию дымовых газов ($d_{150} = d_{д.г}$):

$$c_{см} = c_г + 0{,}001c_п \cdot d_{150} = 1{,}19\ кДж/кг{\cdot}°С,$$

Энтальпия дымовых газов с температурой t_{150} = 150 °С на входе в утилизатор J_{150}:

$$J_{150} = c\ см \cdot t_{150} + 2{,}5\ d_{150} = 403{,}9\ кДж/кг.$$

В утилизаторе теплоты и очистки дымовых газов, в отличие от других утилизаторов теплоты, нет байпасного газохода: через теплообменник утилизатора проходят все дымовые газы. Принимаем температуру на выходе из утилизатора $t_{д.г.}$ = 40 °С, этой температуре соот-

Таблица 3. Материальный баланс процесса горения угольной пыли

Table 3. Material balance of the process of burning of coal dust

Приход	кг	Расход	кг
Топливо	100	Зола $A^р$	21,6
Воздух		Продукты горения	
O_2 = 100 · 4,28 · 0,21 ·1,429	128,44	CO_2 = 100 · 0,6585 · 1,977	130,19
N_2 = 100 · 4,28 · 0,79 · 1,251	423,0	H_2O = 100 · 0,74 · 0,804	59,5
H_2O = 100 · 0,0016 · 4,28 · 0,804	0,55	N_2 = 100 · 3,3876 · 1,251	423,79
–	–	O_2 = 100 · 0,17976 · 1,429	25,69
–	–	SO_2 = 100 · 0,0021 · 2,852	0,5989
ИТОГО:	651,99	ИТОГО:	661,37

ветствует влагосодержание d_{40} = 50 г. вл/кг с.в., энтальпия дымовых газов J_{40} = 167,7 кДж/кг. После подогрева во втором теплообменнике дымовые газы с температурой $t_{д.г.}$ = 50 °С удаляются из утилизатора, влагосодержание остается d_{40} = 50 г. вл./кг с.в. Энтальпия подогретых дымовых газов J_{50} = 185,5 кДж/кг.

Затраты теплоты на подогрев дымовых газов от 40 до 50 °С $Q_{под}$:

$$Q_{под} = (J_{50} - J_{40}) \cdot G_{д.г.} = 888{,}45 \cdot 10^3 \text{ кДж/ч} = 0{,}89 \cdot 10^3 \text{ МДж/ч}.$$

Теплота утилизации $Q_{утл}$:

$$Q_{утл} = (J_{150} - J_{40}) \cdot G_{д.г.} = 11{,}79 \cdot 10^6 \text{ кДж/ч} = 11{,}79 \cdot 10^3 \text{ МДж/ч}.$$

Остаточная теплота утилизации с учетом расхода части теплоты на подогрев дымовых газов $Q_{ост}$:

$$Q_{ост} = Q_{утл} - Q_{под} = 10{,}9 \cdot 10^3 \text{ МДж/ч} = 3{,}03 \text{ МВт}.$$

Таким образом, затраты теплоты на подогрев дымовых газов от 40 °С до 50 °С составляют 7,55% от $Q_{утл}$. При этом выход конденсата $G_{конд.}$:

$$G_{конд.} = G_{д.г.} (d_{150} - d_{40}) = 2{,}0 \cdot 10^6 \text{ г/ч} = 2000 \text{ кг/ч} = 2{,}0 \text{ т/ч}.$$

Коэффициент полезного действия

Количество теплоты, подведенное к утилизатору Q_{Σ}:

$$Q_{\Sigma} = J_{150} \cdot G_{д.г.} = 20{,}16 \cdot 10^6 \text{ кДж/ч} = 20{,}16 \cdot 10^3 \text{ МДж/ч}.$$

Коэффициент полезного действия утилизации теплоты $КПД_{утл.Q}$:

$$КПД_{утл.Q} = (Q_{ост} / Q_{\Sigma}) \cdot 100 = 54{,}07\%.$$

Коэффициент полезного действия утилизации влаги топлива $КПД_{утл.вл}$:

$$КПД_{утл.вл.} = (G_{конд} / G_{вл}) \cdot 100 = 44{,}44\%.$$

Коэффициент полезного действия котельной $КПД_{к.а.}$:

$$КПД_{к.а.} = (Q_{ост} / Q_{к.а.}) \cdot 100 = 12{,}16\%.$$

Расчет показывает, что в результате действия утилизатора теплоты высвобождается значительное количество энергии, которую можно с успехом использовать в водогрейных котлах.

Экономическая эффективность использования утилизатора теплоты и очистки дымовых газов

Общие затраты тепловой энергии в котельном агрегате $Q_{общ}$ при КПД котельного агрегата η = 90% (87–92%):

$$Q_{общ} = (Q_{к.а}/\eta) \cdot 100 = 99{,}58 \cdot 10^3 \text{ МДж/ч}.$$

Количество утилизированной теплоты за счет использования горячего конденсата $Q_{утл.конд}$ с учетом, что температура конденсата $t_{конд}$ = 40°; температура холодной воды $t_{хол.вода}$ = 8 °С; теплоемкость конденсата $c_{конд}$ = 4,118 кДж/кг ·°С:

$$Q_{утл.конд} = G_{конд} (t_{конд} - t_{хол.вода}) c_{конд} = 2000 \cdot (40 - 8) \cdot 4{,}118 = 263\,552 \text{ кДж/ч} = 73{,}21 \text{ кВт} = 0{,}073 \text{ МВт},$$

Суммарное количество утилизированной энергии $Q_{\Sigma.утл}$:

$$Q_{\Sigma.утл} = Q_{ост} + Q_{утл.конд} = 3{,}03 + 0{,}073 = 3{,}103 \text{ МВт} = 2{,}67 \text{ Гкал/ч}.$$

Стоимость сэкономленной тепловой энергии $Э_{тепл}$ при условии, что средняя стоимость 1 Гкал тепловой энергии $c_{тепл}$ = 608,42 руб/Гкал (в г. Твери):

$$Э_{тепл} = Q_{\Sigma.утл} \cdot c_{тепл} = 2{,}67 \cdot 608{,}42 = 1\,624{,}48 \text{ руб/ч}.$$

Стоимость конденсата (химически очищенной воды) $Э_{х.в}$ с учетом, что стоимость 1 т химически очищенной воды $c_{х.в}$ = 10,3 руб/т:

$$Э_{х.в} = G_{конд} \cdot c_{х.в} = 2{,}0 \cdot 10{,}3 = 20{,}6 \text{ руб/ч}.$$

Годовой экономический эффект от использования Утилизатора теплоты и очистки дымовых газов $Э_г$ при условии работы n = 4120 часов в году:

$$Э_г = (Э_{тепл} + Э_{х.в}) \cdot n = (1\,624{,}48 + 20{,}6) \cdot 4120 = 6\,777\,730 \text{ руб./год}.$$

В табл. 4 приведены сравнительные расчетные данные по эффективности, полученные для использования утилизатора теплоты и очистки дымовых газов при работе на различных видах топлива.

При работе ТЭЦ на буром угле влажностью, соизмеримой с влажностью торфа, значения утилизированной теплоты будут близкими.

Таблица 4. Эффективность использования утилизатора теплоты и очистки дымовых газов при работе на различных видах топлива

Table 4. Efficiency of use of the utilizer of warmth and purification of combustion gases during the work on different types of fuel

Характеристика эффективности работы утилизатора	Вид топлива	
	Бурый уголь влажностью 28%	Торф влажностью 50%
Утилизированная теплота $Q_{ост}$, МДж/ч	$10{,}9 \cdot 10^3$	$21{,}84 \cdot 10^3$
Выход конденсата $G_{конд,}$ т/ч	2,0	4,78
Коэффициент полезного действия утилизации теплоты $КПД_{утл.Q}$, %	54,07	61,34
Коэффициент полезного действия утилизации влаги топлива $КПД_{утл.вл}$, %	44,44	55,58

Выводы, заключение

Для строящейся ТЭЦ Артем-2 Приморского края при работе на буром угле местного месторождения влажностью 28% использование утилизатора теплоты и очистки дымовых газов для котельной установки производительностью 30 т пара/ч позволит:

- осуществить очистку всего объема дымовых газов от конденсата серной и сернистой кислот;
- использовать охлаждающую воду без дополнительной обработки в паротурбинном цикле паровых и водогрейных котлов, что позволит снизить в последних затраты на топливо или сократить их количество;
- обеспечить выход конденсата в количестве 2,0 т/ч, при этом конденсат может быть использован в горячем водоснабжении;
- КПД утилизации теплоты парообразования влаги топлива составляет 54,07%;
- КПД утилизации влаги топлива составляет 44,44%;
- экономический эффект от использования утилизатора теплоты и очистки дымовых газов составит 6,778 млн р./год.

При необходимости утилизатор теплоты и очистки дымовых газов может использоваться только для очистки газов от паров серной и сернистой кислот. В этом случае конструкция утилизатора значительно упрощается: во втором теплообменнике нет необходимости; количество секций резко сокращается и ограничивается допустимой концентрацией содержания в дымовых газах серной и сернистой кислот. Из последней секции рубашки первого теплообменника дымовые газы направляются в дымовую трубу. В связи с тем, что точка росы серной и сернистой кислот составляет 130–140 °С, дымовые газы охлаждаются не намного ниже этого порога, но конденсации паров влаги в дымовой трубе происходить не будет, т. к. температура точки росы водяных паров значительно меньше. Кроме этого, в связи со значительным сокращением количества секций пучки труб с горячими дымовыми газами будут омываться более холодной водой, что повысит эффективность их охлаждения.

Вариант использования упрощенной конструкции утилизатора теплоты и очистки дымовых газов достаточно реален в связи со сложной ситуацией со снижением вредных выбросов в атмосферу. Так, например, индекс качества воздуха в г. Пекин 21.12.2016 г. составил 448, при удовлетворительном индексе качества опасности 101–150 опасный индекс равен 300. В 24 городах КНР объявлен красный, наивысший уровень опасности.

В настоящее время Китай занимает третье место в мире после Европы и Северной Америки по степени подверженности кислотным осадкам. По данным китайской метеорологической службы (КМС), в августе 2017 г. прошли самые сильные за историю наблюдений кислотные дожди. Пекин попал в число регионов, наиболее пораженных этим бедствием. Отчет КМС содержит сведения о том, что 19 из 155 наблюдательных станций, расположенных по всей стране, фиксировали выпадение кислотных дождей в течение всех дождливых дней прошедшего месяца. В Пекине кислотные дожди шли в 80% случаев дождливых дней. Основной причиной их появления является выброс в атмосферу большого количества двуокиси серы.

Библиографический список

1. Пат. 2610355 (RU). (51) МПК F22B 1/18 (2006/01). Утилизатор теплоты и конденсата дымовых газов ТЭЦ / О.С. Горфин, Б.Ф. Зюзин, М.С. Назаров // Открытия. Изобретения. – 2017. – № 4.
2. *Горфин О.С.* Утилизатор теплоты и очистки дымовых газов ТЭЦ / О.С. Горфин,

Б.Ф. Зюзин, А.Л. Яблонев, М.С. Назаров // Труды Инсторфа. – 2017. – № 15 (68). С.
3. URL: http://www.zrpress.ru/anews/primorje_22.04.2016_77381_novaja-tets-v-primorje-raspolozhitsja-vblizi-artema-i-budet-rabotat-na-mestnom-ugle.html (дата обращения: 14.05.2017).
4. *Кузнецов Н.В*. Тепловой расчет котельных агрегатов (нормативный метод). Изд. 3-е, перераб. и доп. / Н.В. Кузнецов, А.М. Гурвича. – СПб.: МПО ЦКТИ, 1996. – 232 с.
5. *Лариков Н.Н*. Теплотехника. Учеб. для вузов. Изд. 3-е, доп. и перераб. / Н.Н. Лариков. – М.: Стройиздат, 1985. – 432 с.

УДК 662.331(09)

Копенкина Л.В.

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

Конструктор торфяных машин

М.И. САРМАТОВ (1887–1960)
(к 130-летию со дня рождения)

Аннотация. Статья посвящена автору многих оригинальных конструкций торфяной промышленности, одному из первых отечественных конструкторов торфяных машин, заведующему кафедрой торфяных машин торфяного отделения Московской горной академии, доценту Московского торфяного института Михаилу Ивановичу Сарматову.

Ключевые слова: история торфяной промышленности, торфяные машины, Сарматов Михаил Иванович.

Kopenkina L.V.

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

The designer of peat machines

M.I. SARMATOV (1887–1960)
(to the 130 anniversary since birth)

Abstract. Article is devoted to the author of many original designs of peat industry, one of the first domestic designers of peat machines, the head of the Chair of Peat Machines of the Peat Department of the Moscow Mining Academy, Associate Professor of the Moscow Peat Institute Mikhail Ivanovich Sarmatov.

Keywords: history of the peat industry, Instorf, peat machines, Sarmatov Michail Ivanovich.

В 2017 году исполняется 130 лет со дня рождения одного из первых отечественных конструкторов торфяных машин, заведующего кафедрой торфяных машин торфяного отделения Московской горной академии Михаила Ивановича Сарматова.

Михаил Иванович Сарматов – автор многих оригинальных конструкций торфяных машин, которые работали в промышленности.

Сарматов родился в Москве в 1887 году. В 1908 году он поступил на механическое отделение Московского высшего технического училища, которое окончил в 1915 году.

Сарматов был отправлен на фронт в 1916 году. Служил в армии в 1916–1918 гг.

В 1918–1921 гг. Сарматов работал заведующим механическим отделением разработок торфа Редкинского торфопредприятия, а также преподавателем курсов, организованных Цуторфом для подготовки работников по добыче торфа, в котором остро нуждалось народное хозяйство.

В 1921–1926 гг. он работал инженером-конструктором при Управлении торфотехники в Главторфе, доцентом на кафедре торфяных машин инженерного факультета Тимирязевской сельскохозяйственной академии (1923–1925).

В 1926–1933 гг. Сарматов был заведующим конструкторской секцией Инсторфа, преподавателем курса торфяных машин (1925–1929), заведующим кафедрой торфяных машин (1929–1931) на торфяном отделении Московской горной академии, заведующим кафедрой торфяных машин, профессором в Московском торфяном институте (1931–1933).

В 1927–1928 гг. он участвовал в заказе и покупке торфяных машин в Германии.

В период создания техники фрезерного способа добычи торфа Сарматов выполнял опытно-конструкторские работы, анализируя преимущества метода поверхностного фрезерования Инсторфа, выбирая схемы разработок, направленные на механизацию всех операций на добыче, снижение металлоемкости конструкций, увеличение выхода торфа, уменьшение подготовительных работ, сокращение площадей добычи, сокращение сроков сушки торфа [2].

В 1927 году по его проекту была испытана фреза с жесткозакрепленными ножами, предназначенная для фрезерования залежи вместе с древесными включениями. Кратковременные испытания показали, что фреза выбрасывала ножами значительное количество непереработанных пней.

Сарматов принимал участие в создании пневматического транспортирования торфа в 1928–1929 гг. вместе с инженерами С.Г. Соловым и Е.В. Чарнко. В 1930 году ими был создан первый опытный образец пневматического комбайна для уборки фрезерного торфа. Исследования в области пневматического способа добычи торфа он продолжил в 1946–1947 гг. [7, 8].

Тройкой Полномочного представительства Объединенного государственного политического управления Московской области при Совете народных комиссаров СССР 30 сентября 1933 года Сарматов был осужден по статье 58-7 и заключен в исправительно-трудовые лагеря на пять лет. В 1937 году по ходатайству НКВД СССР судимость была снята. До 1939 года Сарматов работал старшим инженером-конструктором на Торфозаводстрое – Управлении по проектированию, строительству и эксплуатации заводов искусственного обезвоживания торфа. Руководил конструкторской группой в 1936–1937 гг. на строительстве Туломской гидроэлектростанции, Волгострое.

Сарматов работал доцентом на кафедре механической переработки торфа Московского торфяного института с 1939 года, читал курс «Машины и аппараты механической переработки торфа».

М.И. Сарматов – автор проектов и конструкций, в том числе ряда изобретений.

В 1929–1934 гг. он получил патенты в соавторстве на конструкции для добычи и транспортирования торфа:

- элеваторную торфяную установку для ручной выемки торфа (1929),

- машину для уборки сухого фрезерованного торфа с помощью щетки (1929),
- катучую опору для проволочно-канатного транспортера (1929),
- машину для послойного разрыхления и отделения торфа с поверхности торфяной земли (1930),
- машину для измельчения и собирания сушеного торфяного слоя (1930),
- канатную дорогу (1931),
- приспособление для изменения рабочей длины канатного транспортера (1933),
- пневматическое сопло для уборки фрезерного торфа (1934).

В 1939–1940 гг. по заданию Главсевморпути доцент М.И. Сарматов вместе с аспирантом АН БССР В.М. Наумовичем и инженером-технологом П.С. Предтеченским исследовали брикетирование торфа в смеси с угольным штыбом в лаборатории профессора Н.А. Наседкина [6]. Этот вопрос возник в связи с использованием штыба Шпицбергенского угля, скопившегося в Мурманском порту, и одновременно с использованием торфа местных болот для топливных нужд. Получение торфяного топлива существовавшим на тот момент способом в районе Мурманска затруднительно и ненадежно из-за метеорологических условий.

В результате этих исследований была разработана технологическая схема круглогодового производства топлива из смеси торфа-сырца со штыбом.

Данные Сарматова по получению брикетов из торфа-сырца и каменноугольного штыба были использованы профессором Наседкиным для теоретического обоснования влияния дренирующих добавок на уменьшение времени отжатия воды из торфа [8].

В 1945–1955 годы Сарматов получил патенты (с соавторами) на следующие конструкции торфяных машин:

- устройство для очистки торфяной фрезерной крошки от древесных остатков и неразложившихся волокон (1945),
- пневматическое сопло для собирания сыпучих материалов из расстила, например фрезерного торфа (1948),
- машину для фрезерования торфа (1948),
- устройство для формования кусков торфа (1950),
- фрезерно-формовочный способ добычи торфа (1950),
- машину для фрезерования, переработки и формования торфа (1950),
- пневматический валкователь фрезерного торфа (1955).

В 1945 году Сарматов предложил за счет применения пневматического принципа сбора сухой торфяной крошки получать фрезерный торф влажностью 20–30% при малой длительности цикла добычи (3–4 ч) и мелком фрезеровании [9, 10]. Такой торф предполагалось подвергать брикетированию без искусственной досушки, т. е. получать полубрикет.

В 1946 году Сарматов исследовал сплошное фрезерование [13] и считал целесообразным создание прицепа для фрезерования пнистой залежи тонким слоем.

С 1948 года Сарматов занимался разработкой фрезы для сплошного фрезерования торфяной залежи [12].

Испытания опытного рабочего аппарата проводились в 1954–1955 гг. на Южно-Алферовском торфопредприятии в Московской области. Они подтвердили возможность разработки пнистых торфяных залежей путем сплошного фрезерования вместе с пнями [17].

Одно из направлений работы Сарматова – брикетирование торфа [15, 16, 18–21]. В 1947 году он защитил кандидатскую диссертацию на тему «Кольцевой брикетный пресс».

В 1948 году Сарматов опубликовал книгу «Оборудование заводов механической переработки торфа». Это было первое учебное пособие по машинам механической переработки торфа для студентов технологической специальности Московского торфяного института. В нем рассматриваются конструкции разнообразного оборудования по транспортированию, дроблению, грохочению, обезвоживанию, брикетированию торфа, даны примеры расчетов [14].

Как талантливый конструктор, преподаватель, один из создателей курса по теории и расчету торфяных машин Михаил Иванович Сарматов внес весомый вклад в развитие торфяного дела.

Библиографический список

1. *Сарматов М.И.* О транспортере системы Персона / М.И. Сарматов // Торфяное дело. – 1925. – № 7. – С. 13–16. – № 8. – С. 3–8.
2. *Сарматов М.И.* Канатный торфособиратель Инсторфа / М.И. Сарматов // Торфяное дело. – 1930. – № 6– 7. – С. 251–252.
3. *Сарматов М.И.* Добыча фрезерного торфа по способу Инсторфа и перспективы / М.И. Сарматов // Торфяное дело. – 1931. – № 3. – С. 13–16.

4. *Сарматов М.И*. По поводу статьи инж. И.Я. Рыбакова «Причины поломки фрезеров в сезоне 1931 г. / М.И. Сарматов // Торфяное дело. – 1932. – № 7. – С. 27–29.
5. *Сарматов М.И*. Машины для послойно-поверхностной добычи фрезерного торфа / М.И. Сарматов // Труды Инсторфа. – 1931. – Вып. 8. – С. 86–137.
6. *Сарматов М.И*. К вопросу о дальнем транспорте фрезерного торфа / М.И. Сарматов // Труды Инсторфа. – 1931. – Вып. 8. – С. 138–151.
7. *Наседкин Н.А*. Основные принципы технологии обезвоживания торфа с механическими добавками / Н.А. Наседкин // Торфяная промышленность. – 1943. – № 4. – С. 16–18.
8. *Сарматов М.И*. Получение брикетов товарной влажности из смеси торфа-сырца и штыба / М.И. Сарматов // Максимально развивать местное топливо. Сб. – 1944. – С. 29–33.
9. *Сарматов М.И*. Добывание торфяного топлива по способу «пневмоторф» / М.И. Сарматов // Торфяная промышленность. – 1946. – № 2. – С. 9–14.
10. *Сарматов М.И*. Пневматическая машина для собирания фрезторфа из расстила / М.И. Сарматов // Максимально развивать местное топливо. Сб. – 1947. – С. 13–20.
11. *Сарматов М.И.* Фреза для пнистой залежи / М.И. Сарматов // Торфяная промышленность. – 1948. – № 2. – С. 3–7.
12. *Сарматов М.И.* Фреза для пнистой залежи / М.И. Сарматов // Торфяная промышленность. – 1948. – № 3. – С. 8–13.
13. *Сарматов М.И.* Сплошное фрезерование пнистого торфяного массива / М.И. Сарматов // Торфяная промышленность. – 1948. – № 6. – С. 16–20.
14. *Сарматов М.И*. Оборудование заводов механической переработки торфа / М.И. Сарматов. – М.–Л.: Госэнергоиздат, 1948. – 383 с.
15. *Сарматов М.И*. Схемы брикетных прессов непрерывного действия / М.И. Сарматов // Торфяная промышленность. – 1948. – № 6. – С. 24–28.
16. *Сарматов М.И*. Элементы теории и расчета прессов для брикетирования угля / М.И. Сарматов. – М.: Углетехиздат, 1954. – 240 с.
17. *Сарматов М.И*. Разработка пнистых залежей путем сплошного фрезерования торфа с древесными включениями / М.И. Сарматов, Г.И. Кужман // Труды МТИ. – 1956. – Вып. 4. – С. 39–69.
18. *Сарматов М.И*. Замечания к статье канд. техн. наук В.А. Завьялова «О затрате энергии на брикетирование торфа» / М.И. Сарматов // Торфяная промышленность. – 1959. – № 1. – С. 30–32.
19. *Сарматов М.И*. Схемы брикетных прессов непрерывного действия / М.И. Сарматов // Торфяная промышленность. – 1959. – № 6. – С. 24–28.
20. *Сарматов М.И*. К расчету ленточного брикетного пресса / М.И. Сарматов // Торфяная промышленность. – 1961. – № 1. – С. 29–31.
21. *Булынко М.Г*. Брикетирование торфа / М.Г. Булынко, В.Н. Иванов, М.И. Сарматов. – М.–Л.: Госэнергоиздат, 1962. – 304 с.