ISSN 2224-1523

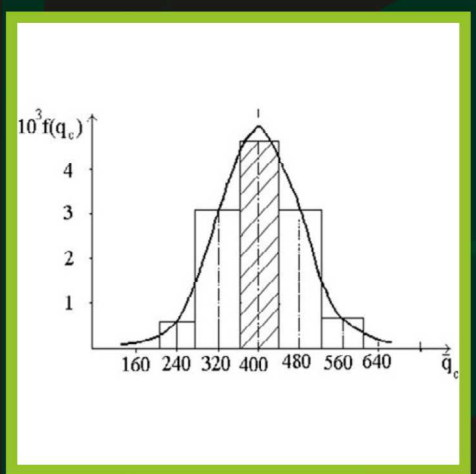
Научный журнал

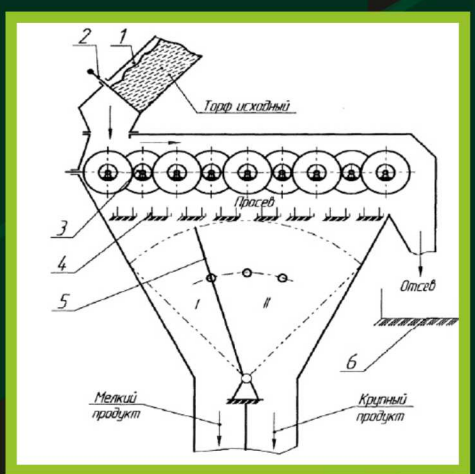
Восточно-Европейского института торфяного дела
Тверского государственного технического университета

ИНСТОРФ

№14 (67) 2016

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

№ 14 (67)
июль–декабрь 2016 г.

Тверь 2016

УДК 622.331(05)
ББК 26.343.4я5

Труды Инсторфа: научный журнал. № 14 (67) (июль–декабрь 2016 г.). Тверь: ТвГТУ, 2016. 61 с.

Учредитель и издатель: Тверской государственный технический университет

Главный редактор
проф., д. ф.-м. н. А.В. 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

Подписано в печать ??.12.16 г.
Формат 60×84 1/8. Усл. печ. л. ??.
ООО «Издательство «Триада»
170034, г. Тверь, пр. Чайковского, д. 9, оф. 514

ISSN 2224-1523

© Тверской государственный технический университет, 2016

СОДЕРЖАНИЕ

Инишева Л.И., Кобак К.И., Порохина Е.В.

Роль болот в углеродном цикле (на примере Северо-западного и Сибирского округов России) 3

Ахметьева Н.П., Беляев А.Ю., Гринченко О.С., Кричевец Г.Н., Кудряшова В.В., Лапина Е.Е., Михайлова А.В.

Заказник «Журавлиная Родина»: современное состояние и охрана от торфяных пожаров на осушенном болоте «Дубенский массив» 12

Горячёв В.И., Михеев И.И.

К вопросу обоснования применения валково-дискового грохота для подготовки к кипованию фрезерного малоразложившегося торфа 22

Васильев А.Н.

Обоснование величины переходящих запасов торфа на предприятии 27

Фомин К.В., Крылов К.С., Харламов В.Е.

Методика оценки скоростной характеристики двигателя трактора торфяного фрезерующего агрегата при выполнении технологической операции 33

Кондратьев А.В.

Совершенствование процесса разделения торфяной смеси на валковом сепараторе 41

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

К вопросу определения рациональной схемы валкового сепаратора для торфо-перерабатывающих предприятий 46

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

Исследование тягового сопротивления валкователя фрезерного торфа 51

Копенкина Л.В.

Выдающийся ученый и руководитель в истории торфяного дела (к 115-й годовщине со дня рождения профессора С.Г. Солопова) 56

УДК 551.312.2

Инишева Л.И.

Инишева Лидия Ивановна, член-корреспондент РАН, профессор. Руководитель лаборатории «Агроэкология» ТГПУ (Томский государственный педагогический университет). 634041, г. Томск, ул. Киевская, 60. inisheva@mail.ru. 8(3822)52-00-99

Кобак К.И.

Кобак Кира Ивановна, д. г. н., профессор. Государственный гидрологический институт. 194017, С.-Петербург, ул. Дрезденская, д. 4, кв. 106. kkobak@pu.kielce.pl. Факс: 8(812)3231028

Порохина Е.В.

Порохина Екатерина Владимировна, к. б. н., доцент кафедры биологии растений и биохимии ТГПУ (Томский государственный педагогический университет). 634041, г. Томск, ул. Киевская, 60. porohkatrin@yandex.ru. 8(3822)52-00-99

Inisheva L.I.

Inisheva Lidiya I. Dr of Agricultural Science, Prof. Tomsk State Pedagogical University

Kobak K.I.

Kobak Kira I. Dr. of Geographical Sc., Prof., State Hydrological Institute

Porokhina E.V.

Porokhina Elena V., PhD, Associate Professor, Department of Plant Biology and Biochemistry, Tomsk State Pedagogical University

РОЛЬ БОЛОТ В УГЛЕРОДНОМ ЦИКЛЕ (НА ПРИМЕРЕ СЕВЕРО-ЗАПАДНОГО И СИБИРСКОГО ОКРУГОВ РОССИИ)

Аннотация. Проанализирована скорость аккумуляции углерода в период голоцена в Сибирском и Северо-Западном округах России балансовым методом, а также по модели Климо в модификации Турчинович; определены современные скорости аккумуляции углерода и линейного прироста торфа.

Ключевые слова: торфяное болото, заболачивание, голоцен, современный период, углерод, баланс, моделирование.

THE ROLE OF MIRES IN CARBON CYCLE (ON EXAMPLE OF NORTH-WEST AND SIBERIAN REGIONS OF RUSSIA)

Abstract. Velocity of carbon accumulation in the period of the Holocene in Siberian and Noth-West regions of Russia by balance method and by Klimo's model in Turchinovich's modification is analyzed. Modern rate of accumulation of carbon and a linear growth of peat are determined.

Key words: peat mire, paludification, Holocene, modern period, carbon, balance, modeling

Введение

В Париже, 13 декабря 2015 г. было принято Глобальное соглашение, которое было одобрено в Париже на Всемирной конференции ООН по климату, и которое должно прийти на смену Киотскому протоколу в период после 2020 года. Это свидетельствует о том, что за прошедший период получены не все ответы на вопросы, возникшие в связи с изменением климата. Вместе с тем, современное содержание CO_2 в атмосфере увеличилось за XX век с 280 до 360 ppm, что, вероятно, связано с деятельностью человека. В этой связи оценка пулов и потоков углерода как между составляющими биогеоценоз компонентами, так и с внешней средой остается в настоящее время первоочередной задачей экологии. В увеличении пула углерода, несомненно, велика роль болот и накопления в них торфа.

Целью данного сообщения является оценка процесса заболачивания и скорости аккумуляции углерода в БЭС на примере Северо-Западного и Сибирского округов. В статье использованы оригинальные результаты за длительный период исследований, а также данные из литературных источников, на авторов которых в тексте даются ссылки.

Объекты и методы исследований

Наибольшая заторфованность территории России характерна для Сибирского округа (более 10%), в северной части которого она достигает 80% (рис. 1).

Особенность этого региона – наличие крупных торфяных болот с площадью более 50 тыс. га. Общая площадь торфяных болот достигает 13,4 млн га с запасами торфа более 48,4 млрд. т. Среди них выделяется группа уникальных торфяных болот: Васюганское (5,3 млн. га), Озерное большое (572,4 тыс. га), Лайменское (50,2 тыс. га), Салымо-Юганское (73,2 тыс. га).

Степень заторфованности Северо-Западного федерального округа составляет 5–10%, занимаемая площадь – 8,1 млн га с запасами торфа более 24 млрд т.

Радиоуглеродное датирование торфяных залежей определялось на радиоуглеродной установке *QUANTULUS-1220* (бензольно-сцинтилляционный вариант) в лаборатории геологии и палеоклиматологии кайнозоя Института геологии и минералогии СО РАН. Прирост торфа за весь период голоцена проведен по результатам абсолютных датировок нижних и верхних границ слоев торфяных отло-

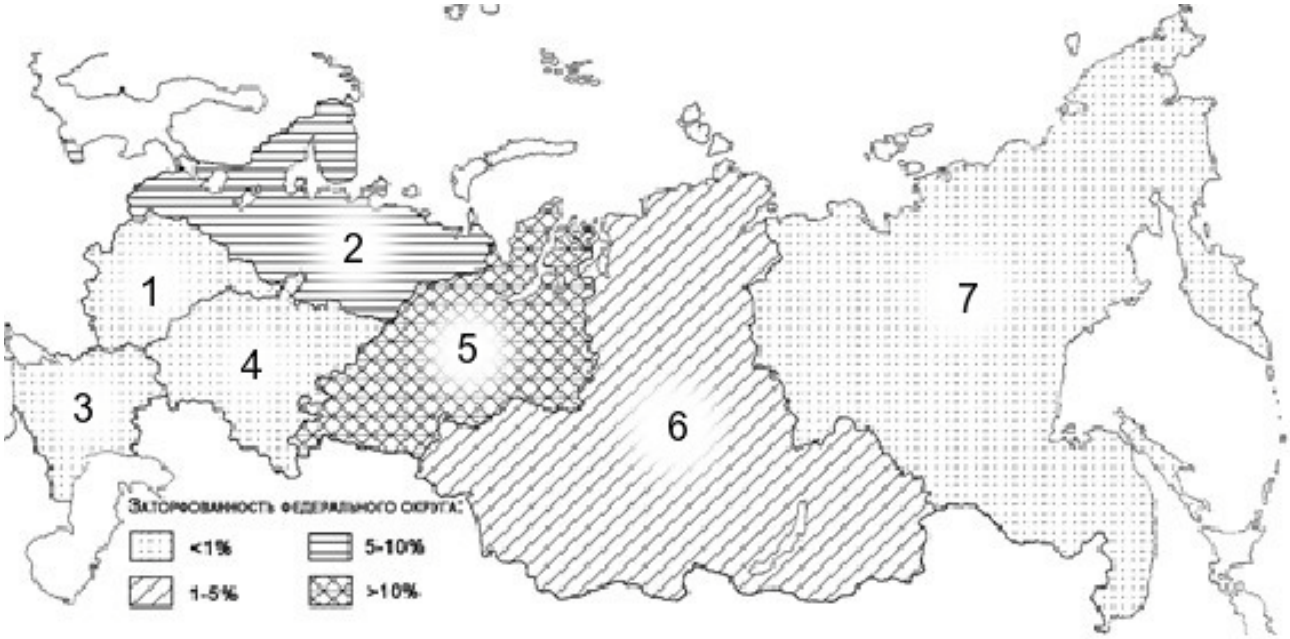


Рис. 1. Заторфованность территории России по федеральным округам. Федеральный округ, субъект РФ: 1 – Центральный; 2 – Северо-Западный; 3 – Южный; 4 – Приволжский; 5 – Уральский; 6 – Сибирский; 7 – Дальневосточный

Fig. 1. The degree of paludification of the territory of Russia on Federal districts. Federal districts: 1 – Central; 2 – North-Western; 3 – Southern; 4 – Privolzhskij; 5 – Ural'skij; 6 – Siberian; 7 – Dal'nevostochnij

жений соответствующей мощности. В случае отсутствия абсолютных датировок возраст слоев определялся по результатам полинологического анализа. Для определения современной скорости аккумуляции углерода в БЭС могут быть использованы два основных метода. Первый из них – это сведение баланса углерода в экосистемах, основанное на определении первичной продуктивности болотных растений (NPP), измерениях эмиссии газов с поверхности и выноса углерода болотными водами. Второй – использование моделей процессов аккумуляции торфа и углерода, базирующихся на исторических сведениях о функционировании БЭС [1].

В течение нескольких вегетационных периодов (май, июль, сентябрь) на болотных стационарах изучали поступление и выделение углерода в торфяной залежи. Надземную продукцию определяли укосным методом, подземную – методом монолитов, эмиссию CO_2 и CH_4 проводили камерным методом, анализ газа осуществляли на газовом хроматографе «Кристалл-5000.2». Современные скорости аккумуляции углерода и линейного прироста торфа определяли по модели Клаймо в модификации Турчинович [2].

Результаты и обсуждение

Ранее проведенными исследованиями установлено, что начало и развитие болотообразования на территории России относятся только к голоцену и его возрастной предел находится между 10–12 тыс. лет [3].

Накопление торфа в голоцене. На Северо-Западе России в атлантическое время голоцена, период климатического оптимума (7800–4600 лет назад) торфообразование было интенсивным, и наблюдался большой прирост торфа (табл. 1). Наиболее активное болотообразование отмечено в период 7000–5000 лет назад (л. н.), когда сформировалось более 40% площади современных болот. В суббореальное время (5000–4000 л. н.) число и площади вновь образующихся болот были минимальными (150 га/год) и близкими к интенсивности болотообразования в последнем тысячелетии (около 130 га/год). Нетто-аккумуляция углерода в болотах Северо-Запада, по нашим расчетам, уменьшалась в течение голоцена от 34,5 гС/м^2 год (бореальное время) до 9–10 гС/м^2 год (в субатлантике). В атлантическое время она составляла 27 гС/м^2 год, а в суббореале – 17 гС/м^2 год.

Таблица 1. Скорость заболачивания и накопление углерода в отдельные фазы голоцена в некоторых болотных массивах Сибирского и Северо-Западного округов

Table 1. The rate of mire formation and of carbon accumulation in some periods of the Holocene in mires of Siberian and North-Western districts

Показатели	Федеральный округ	Фазы голоцена			Среднее за голоцен
		Субатлантический SA (0–2500)	Суббореальный и атлантический, SB+AT (2500–7500)	Бореальный (начало улучшения климата) BO (7500–9500)	
Степень проявления торфообразования	С	–	Активизация AT	Начало активизации – PB	–
	СЗ	–	Активизация AT (7000–5000)	–	–
Скорость заболачивания	С	4–15 см/год	40–60 см/год – AT 5–10 см/год – SB	–	9687 га/год
	СЗ	–	670–755 га/год – AT 150 га/год – SB	–	150–755 га/год
NPP, гС/м^2 год	С	11,2	27– A, 17 – SB	137 – PB 45,5	36,5
	СЗ	9–10 18	45 – A, 43 – SB	34,5 – PB, 45	–
Скорость торфонакопления, мм/год	С	0,3	0,1–0,2 – SB	1,4–1,6 2,04 – PB 0,86	0,62
	СЗ	0,2	0,4 – SB	0,7–0,8	0,59

Примечания: С – Сибирский округ; СЗ – Северо-Западный округ, PB – предбореал, *NPP – net primary productivity* – чистая первичная продукция.

Нетто-аккумуляция углерода олиготрофными болотами Северо-Запада, по нашей оценке, составляла 45 гС/м^2 год (в бореале и атлантике), 43 гС/м^2 год в суббореале и 18 гС/м^{2}год в субатлантическое время [4]. Анализ скорости торфонакопления в болотах, расположенных на многолетнемерзлых грунтах и снабженных радиоуглеродными датировками (базальный возраст 7680–10610 лет), показал, что скорость во вторую половину голоцена (в суббореале и субатлантике) часто на порядок ниже (0,08 мм/год), чем в первую (0,55 мм/год), когда она соответствовала приросту немерзлых торфяников [5].

На территории Западной Сибири начало процессов торфообразования и торфонакопления относится к предбореальному времени и обусловлено окончанием Сартанского оледенения и потеплением климата. В бореале процесс торфообразования активизируется, а в Атлантике наступление болот на суходолы происходит со скоростью 40–60 см/год (5000–6000 л. н.), что продолжается до второй половины атлантического периода (см. табл. 1).

Скорость торфонакопления в бореале в северной тайге была максимальной за весь голоцен, достигая в Сибири 1,4–1,6 мм/год (8500–9000 л. н.), что было в два раза выше интенсивности торфонакопления в северо-западных БЭС Европейской части [6].

Наиболее интенсивным накопление было на стыке предбореального и бореального времени, когда средний прирост торфа был 2,04 мм/год, что соответствовало аккумуляции углерода 137 г/м^2 год (PB2) и 0,86 мм/год и 45,5 гС/м^2/год в бореальное время. В субатлантике средний прирост торфа составлял 0,3 мм/год, а аккумуляция углерода 11,2 г/м^2/год. Такие показатели предполагают вывод о современном затухании процесса торфонакопления. Рассмотрим прирост торфа на Западно-Сибирской равнине за фазы голоцена (рис. 2).

Максимальная величина линейной скорости торфонакопления в целом по голоцену в Сибирском округе установлена для болотных систем подтайги и лесостепи (1,4 и 1,5 мм/год). В северном направлении скорость торфонакопления уменьшается. В средней тайге скорость линейного прироста торфа составляет 0,57 мм/год, в северной – 0,37 мм/год, в лесотундре – 0,35 мм/год, в тундре – 0,31 мм/год. В лесостепной зоне Западной Сибири, особенно в займищах, процесс торфонакопления также замедлен – 0,73 мм/год и более интенсивно протекает только в рямах – 1,64 мм/год. Минимальный прирост торфяных отложений (0,27–0,34 мм/год) отмечен для суббореального периода, когда климат был относительно сухим и холодным.

Таким образом, анализ скорости торфонакопления в целом в Северной Евразии в зональном аспекте за голоцен свидетельствует о том, что, несмотря на различия, в историях болотообразовательного процесса исследуемых территорий прослеживается ряд общих черт. Так, для северных торфяников как Северо-Запада, так и Западной Сибири начало голоцена (предбореальное и бореальное время) характеризуется высокими темпами торфонакопления – до 1,4–1,6 мм/год в Западной Сибири и 0,8 мм/год в Северо-Западном округе. В Западной Сибири заболачиванием, в основном, была охвачена северная часть, а на юге существовали лишь немногочисленные торфяники [24].

Новосанчуговское похолодание и последовавший после короткого потепления ряд новых похолоданий привели к тому, что в период 7000–6000 л. н. на севере наблюдался локальный минимум торфонакопления. В это же время в южных районах – в южнотаежной подзоне и в лесостепи установлены локальные максимумы торфообразования как в Северо-Западном округе, так и в Западной Сибири.

Похолодание, начавшееся 4,5 тыс. л. н., обусловило уменьшение скорости торфонакопления в Северо-Западном регионе и Западной Сибири. Интенсивность торфонакопления в Западной Сибири была значительно выше, чем на Европейском Севере, особенно в ранние временные отрезки голоцена (9000–7000 л. н.). В лесостепной зоне и подзоне южной тайги Западной Сибири климатический оптимум голоцена сопровождался аридизацией климата [16], что привело к снижению скорости торфонакопления. В торфяниках Северо-Западного региона это не зафиксировано.

Процесс заболачивания в настоящем времени. В течение ряда лет нами изучалась современная скорость аккумуляции углерода в болотах балансовым методом. В результате было получено, что расход углерода в БЭС значительно уступает уровню фотосинтетической нетто-аккумуляции (77,4 гС/м^2 год и 125 гС/м^2 год соответственно). Большая

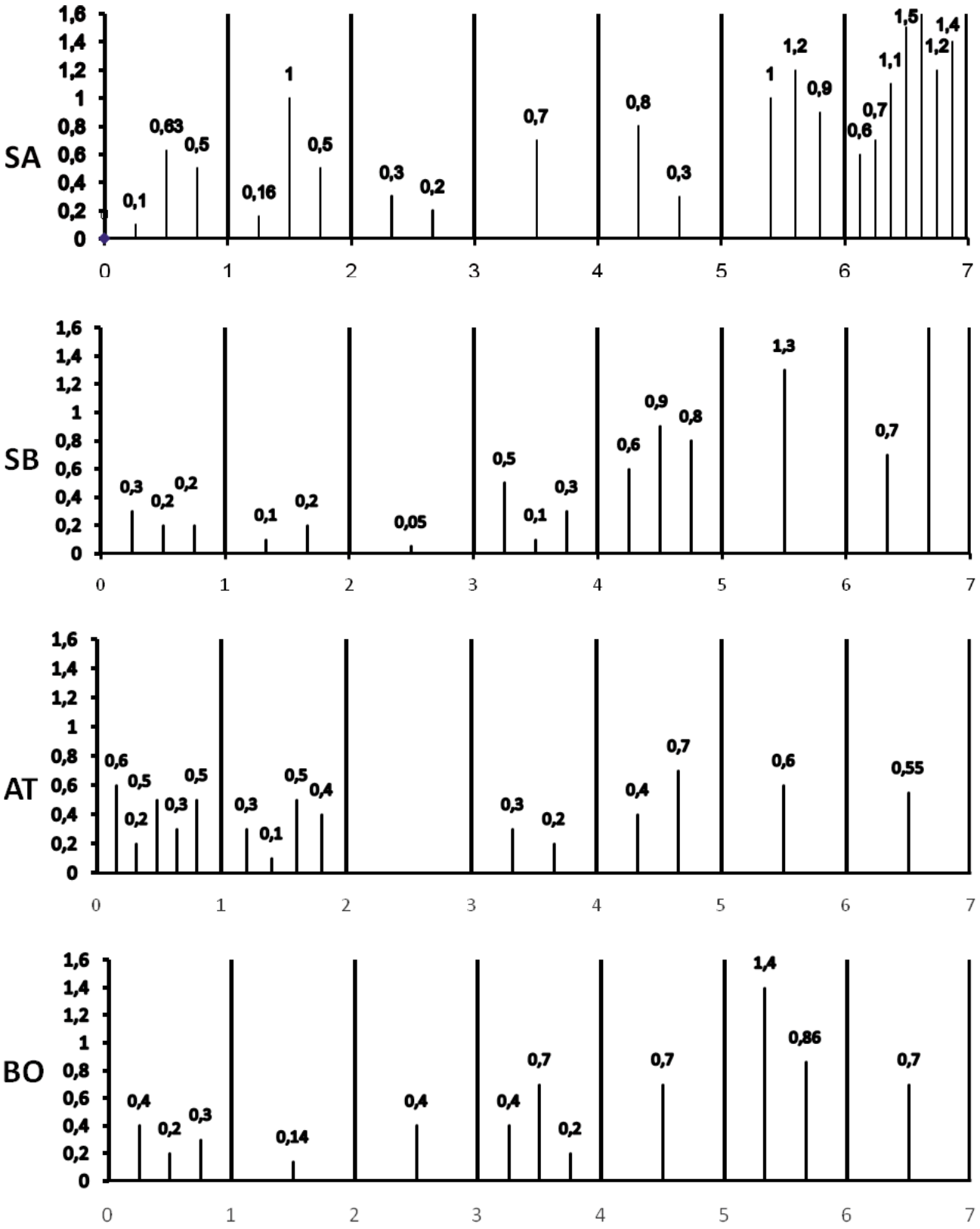


Рис. 2. Динамика вертикальной скорости торфонакопления по зонам Сибирского округа, мм/год; южные границы зон: 1 – тундра, 2 – лесотундра, 3 – северная тайга, 4 – средняя тайга, 5 – южная тайга, 6 – подтайга, 7 – лесостепь. Периоды голоцена: *SA* – субатлантический, *SB* – суббореальный, *AT* – атлантический, *BO* – бореальный, *PB* – предбореальный. Использованы источники: [6–23]

Fig. 2. The dynamic of vertical rate of peat accumulation on zones of Siberian district, mm/year: 1 – tundra, 2 – forest-tundra, 3 – northern taiga, 4 – middle taiga, 5 – south taiga, 6 – podtaiga, 7 – forest-steppe. Periods of Holocene: SA – subatlantic, SB – subboreal, AT – atlantic, BO – boreal, PB – predboreal. Literature are used: [6–23]

часть потерь углерода обусловлена эмиссией CO_2 (в среднем 69 гС/м^2 год, или 55,2% от NPP) и CH_4, доля которого значительно меньше (0,3–6,5 гС/м^2 год, или 2,7% NPP). Определенный экспериментально вынос углерода болотными водами составлял 5,5% NPP (6,9 гС/м^2 год). На основании результатов полевых исследований, проведенных ранее и в настоящее время, средняя аккумуляция определяется величиной 48–60 гС/м^2 год [25, 26].

Авторы пришли к выводу о преобладании процесса аккумуляции углерода в торфяной залежи Сибирского округа и прогрессирующем торфообразовательном процессе в настоящее время. И скорость этого накопления в разные по погодным условиям годы варьирует от небольшой до достаточно высокой (в 3–4 раза выше потерь).

Результаты изучения скорости трансгрессии болот Северо-Запада свидетельствуют о том, что с начала 13-го столетия эта скорость возрастала, достигая к началу 90-х годов 20-го столетия 44,6 см/год, а на некоторых болотах (Ламмин-Суо) – 166,3 см/год [27]. Аналогичные исследования, проведенные в Ленинградской области на верховом болоте Ламмин-Суо (без учета эмиссии метана) показали, что современная нетто-аккумуляция углерода составляет 12% NPP (31,4 гС/м^2 год), вынос углерода болотными водами –5% NPP, а эмиссия газов достигает 83% NPP [28]. Линейный рост болот – их наступление на окружающие суходолы – достигает в настоящее время 30–50 см/год, а вертикальный прирост торфа равен в среднем 3 мм/год. Вариации вертикального прироста находятся в интервале от 1 мм/год в залежах древесного (травяного) торфа до 10–12 мм/год (олиготрофные сфагновые торфы).

С использованием модели вертикального роста болот [29] в модификации Турчинович и др. [2] были определены современные скорости аккумуляции углерода и линейного прироста торфа некоторых типов болот России (табл. 2). В расчетах использованы собственные значения параметров и литературные данные [27, 30–35].

Приведенные значения параметра Аа для болот оценены нами с помощью модели вертикального роста болот. Расчеты показали, что современная скорость аккумуляции углерода (при среднем содержании углерода в абсолютно сухом веществе 51,7%) варьирует от 10,3 гС/м^{2}год в полигональных болотах до 51,7 гС/м^{2}год в низинных травяных болотах. Таким образом, по нашим оценкам в настоящее время ежегодная аккумуляция углерода на болотах России составляет 37,6 млн т. Из подчиненного ландшафта болото превращается в автономный ландшафт.

Количественная характеристика интенсивности заболачивания хорошо отражена в работах Института географии РАН [36, 37]. По мнению этих авторов, развитие болот через несколько тысяч лет приведет к полному заболачиванию и заторфовыванию Западно-

Таблица 2. Максимально возможный линейный прирост торфа в некоторых типах болот России в современную фазу голоцена

Table 2. The maximum possible peat increment in some types of Russia mires in the modern period of the Holocene

Тип болот	Продуктивность фитомассы, кг/м^2 год (АСВ)	Плотность торфа в акротелме, кг/м^3 (АСВ)	Толщина акротелма, м	Константа разложения, Аа, в год	Поток органического вещества в катотелм, кг/м^2 год (АСВ) (Рс)	Линейный прирост торфа, мм/год
Аапа	0,14–0,54	65–90	0,1–0,3	0,02–0,06	0,058	0,46–0,53
Грядово-мочажинные верховые	0,43–0,52	30–50	0,38–0,44* 0,42–0,49 (р)	0,01–0,05	0,070	0,88–0,93
Верховые облесенные: Европейская часть Западная Сибирь	0,30–0,63 0,21–0,63	30–50	0,49–0,54* 0,47–0,58 (р)	0,01–0,04	0,063–0,079	0,79–0,84 1,00–1,10
Низинные (лесные)	0,78	140	0,85	0,06	0,02	0,10–0,20
Низинные травяно-лесные	0,72	100 ПО	0,49	0,01	0,10	0,70–0,90

Примечания: * – данные полевых наблюдений, р – расчетные данные, АСВ – абсолютно сухое органическое вещество.

Сибирской равнины. Поэтому многие специалисты рассматривают в настоящее время арктические и бореальные БЭС как нетто-сток углерода из атмосферы [1, 6, 27, 38–44].

Имеет также приоритет утверждение, в котором болота представлены как постоянные нетто-источники парниковых газов в атмосферу [45]. По мнению авторов этой статьи, на одних участках Западно-Сибирской равнины с явными факторами заболачивания процесс будет прогрессировать, на других – может происходить естественное осушение. Так, на Салымо-Юганской БЭС в ХМАО – процесс болотообразования, явно прогрессирующий на этой территории.

Возвращаясь к вопросам экологии биосферы, заметим, что ценность БЭС, как уже упоминалось выше, будет возрастать. Поэтому между различными формами рационального природопользования на торфяных болотах должны существовать правильные соотношения между потребностью общества и биосферной необходимостью сохранения БЭС в естественном состоянии.

Выводы

Анализ скорости торфонакопления за голоцен свидетельствует о том, что в историях болотообразовательного процесса Европы и Сибири прослеживается ряд общих черт. Прежде всего, то, что для БЭС Северо-Западного округа и Сибири начало голоцена (предбореальное и бореальное время) характеризуется высокими темпами торфонакопления – до 1,4–1,6 мм/год в Сибири и 0,8 мм/год в Северо-Западном округе. Интенсивность торфонакопления в Сибири была значительно выше, особенно в ранние периоды голоцена (9000–7000 л. н.). В период 7000–6000 л. н. на севере исследуемых округов наблюдался локальный минимум торфонакопления; в южных районах установлены максимумы торфообразования. Таким образом, изменения скорости торфонакопления на севере и на юге находились в противофазе.

В настоящее время процесс болотообразования в целом замедлился, но проявление зональности в его трансгрессии сохранилось. В современный период минимальное торфонакопление наблюдается на севере и максимальное – на юге, и в ближайшие 200–300 лет скорость торфонакопления на юге достигнет 0,8 мм/год в среднем по Евразии.

Библиографический список

1. *Clymo R.S.* Assessing the accumulation of carbon in peatlands / R.S Clymo // Northern peatlands in global climate change. – FDITA. Helsinki: Publ. of Academy of Finland, 1996. – P. 207–212.
2. *Турчинович И.Е.* Моделирование многолетних скоростей торфонакопления разными типами болот Северо-Запада России / И.Е. Турчинович, К.И. Кобак, Н.Ю. Кондрашева, А.А. Торопова // Динамика болотных экосистем Северной Евразии в голоцене. – Петрозаводск: КНЦ РАН, 2000. – С. 60–62.
3. *Нейштадт М.И.* О нижней границе голоцена / М.И. Нейштадт // Палинология голоцена. – Москва: АН СССР, 1971. – С. 7–17.
4. *Kobak K.I.* Changes in carbon pools of peatland and forests in northwestern Russia during the Holocene / K.I. Kobak, N. Yu. Kondrasheva, I. Ye.Turchinivich // Global and Planetary Change. – 1998. – N 16–17. – P. 75–84.
5. *Вомперский С.Э.,* Вертикальный прирост торфа на болотах России в голоцене по данным радиоуглеродных датировок / С.Э. Вомперский, О.П. Цыганова, Т.В. Глухова, Н.А. Валяева // Динамика болотных экосистем Северной Евразии в голоцене. – Петрозаводск: КНЦ РАН, 2000. – С. 53–55.
6. *Васильев, С.В.* Скорость торфонакопления в Западной Сибири / С.В. Васильев // Динамика болотных экосистем Северной Евразии в голоцене. – Петрозаводск: КНЦ РАН, 2000. – С. 56–59.
7. *Трофимов В.Т.* Инженерно-геологические условия Гыданского полуострова / В.Т. Трофимов, Ю.Б. Баду, Ю.К. Васильчук. – М.: Изд-во Моск. ун-та, 1986. – 21 с.
8. *Васильчук Ю.К.* Некоторые черты палеогеографии голоцена Ямала / Ю.К. Васильчук, Е.А. Петрова, А.К. Серова // Бюл. комис. по изучению четвертичного периода. – 1983. – № 52. – С. 134–143.
9. *Фирсов Л.В.* Абсолютный возраст и первая для севера Сибири стандартная пыльцевая диаграмма голоценового торфяника / Л.В. Фирсов, С.Л. Троицкий, Т.П. Левина и др. // Бюл. комис. по изучению четвертичного периода. – 1974. – № 41. – С. 121–127.
10. *Лисс О.Л.* Возраст болот центральной части Западно-Сибирской равнины / О.Л. Лисс, Н.А. Березина, Г.Г Куликова // Природные

условия Западной Сибири. – М.: Изд-во МГУ, 1976. – Вып.6. – С. 69–86.
11. *Хотинский Н.А.* Радиоуглеродный возраст и климатические условия развития бугристых торфяников Надым-Казымского междуречья в голоцене / Н.А. Хотинский, В.А. Климанов // Вопросы экологии растений, болот, болотных местообитаний и торфяных залежей. Петрозаводск, 1985. – С. 132–140.
12. *Кинд Н.В.* Позднее- и послеледнековье Сибири / Н.В Кинд // Голоцен. – М.: Наука, 1969. – С. 195–201.
13. *Левковская Г.М.* Абсолютный возраст района г. Игарки и расчленение голоцена Западной Сибири / Г.М. Левковская, Н.В. Кинд, Ф.С. Завельский и др. // Бюл. комис. по изучению четвертичного периода. – 1970. – № 37. – С. 94–174.
14. *Нейштад М.И.* Возникновение и скорость развития процесса заболачивания / М.И Нейштадт // Научные предпосылки освоения болот Западной Сибири. – М.: Наука, 1977. – С. 39–48.
15. *Архипов С.А.* Палинологическая характеристика и абсолютный возраст торфяника в устье р. Томи / С.А. Архипов, М.Р. Ботах // Палеопалинология Сибири. – М.: Наука, 1980. – С. 118–123.
16. *Хотинский Н.А.* Голоцен Северной Евразии / Н.А. Хотинский. – М.: Наука, 1977. – 197 с.
17. *Левина Т.П.* Радиохронометрия и пыльцевая стратиграфия голоценового торфяника Каянское займище (Барабинская лесостепь) / Т.П. Левина, В.В. Орлова, В.А. Панычев и др. // Региональная геохронология Сибири и Дальнего Востока. – Новосибирск: Наука, СО РАН, 1987. – С. 136–143.
18. *Климанов В.А.* Изменение климата на территории Барабинской равнины / В.А. Климанов, Т.П. Левина, В.В. Орлова // Труды института геологии и геофизики. – 1987. – № 690. – С. 143–149.
19. *Фирсов Л.В.* Стратиграфия, геохронология и стандартная споро-пыльцевая диаграмма голоценового торфяника болота Гладкое в Новосибирске / Л.В. Фирсов, В.С. Волкова, Т.П. Левина и др. // Проблемы стратиграфии и палеографии плейстоцена Сибири. Новосибирск: Наука, СО РАН, 1982. – С. 96–107.
20. *Лапшина Е.Д.* Болота Западной Сибири: автореф. дис. на соиск. учен. степ. д-ра биол. наук. / Лапшина Елена Дмитриевна. – Томск, ТГУ, 2004. – 37 с.
21. *Новиков С.М.* О развитии болотных массивов в лесной зоне / С.М. Новиков // Метеорология и гидрология. – 1991. – № 3. – С. 17–24.
22. *Гаджиев И.М.* Роль торфообразования в формировании почвенного покрова Сибирских Увалов в голоцене / И.М. Гаджиев, Б.А. Смоленцев // Динамика болотных экосистем Северной Евразии в голоцене. – Петрозаводск: Карельский научный центр РАН, 2000. – С. 63–65.
23. *Архипов С.А.* Палинологическая характеристика двух голоценовых торфяников из долины средней и нижней Оби / С.А. Архипов, Т.П. Левина, В.А. Панычев // Палеопалинология Сибири. – М.: Наука, 1980. – С. 123–128.
24. *Болотные системы* Западной Сибири и их природоохранное значение / О.Л. Лисс, Л.И. Абрамова, Н.А. Аветов, Н.А. Березина и др. – Тула: Гриф и Ко, 2001. – 584 с.
25. *Инишева Л.И.* Сток и эмиссия углерода в Васюганском болоте / Л.И. Инишева, Е.А. Головацкая // Большое Васюганское болото. Современное состояние и процессы развития. – Томск, Изд-во СО РАН, 2002. – С. 123–133.
26. *Инишева Л.И.* Развитие процесса заболачивания и скорость аккумуляции углерода в болотных экосистемах России / Л.И. Инишева, К.И. Кобак, И.Е. Турчинович // География и природные ресурсы. – Т. 34. – № 3. – 2013 – С. 60–68.
27. *Кузьмин Г.Ф.* Болота и их использование / Г.Ф. Кузьмин // Сборник научных трудов НИИ торфяной промышленности. – СПб., 1993. – 140 с.
28. *Кобак К.И.* Биотические компоненты глобального углеродного цикла / К.И. Кобак. – СПб.: Гидрометеоиздат, 1988. – 246 с.
29. *Clymo R.S.* Limits to peat bog growth / R.S. Clymo // Phil. Trans. Royal Soc. – 1984. – V. 303b. – P. 605–654.
30. *Базилевич Н.И.* Биологическая продуктивность экосистем Северной Евразии / Н.И. Базилевич. – М.: Наука, 1993. – 140 с.
31. *Базилевич Н.И.* Биотический круговорот на пяти континентах. Азот и зольные элементы в природных наземных экосистемах / Н.И. Базилевич, А.А. Титлянова. – Новосибирск: Изд–во СО РАН, 2008. – 381 с.

32. *Боч М.С.* Содержание и скорость аккумуляции углерода в болотах бывшего СССР / М.С. Боч, К.И. Кобак, Т.П. Кольчугина, Т.С. Винсон // Бюллетень МОИП, отд. Биол. – 1994. – Т. 99. – Вып. 4. – С. 59–70.
33. *Болота* Западной Сибири / Под ред. К.Е. Иванова, С.М. Новикова. – Л.: Гидрометеоиздат, 1976. – 448 с.
34. *Елина Г.А.* Структурно-функциональная организация и динамика болотных экосистем Карелии / Г.А. Елина, О.Л. Кузнецов, А.И. Максимов. – Л.: Наука, 1984. – 128 с.
35. *Титлянова А.А.* Биологическая продуктивность травянистых экосистем / А.А. Титлянова, Н.И. Базилевич, В.А. Снытков. – Новосибирск: Наука, 1988. – 134 с.
36. *Вендров С.Л.* Влагооборот на равнинах Западной Сибири, его роль в формировании природы и пути преобразования / С.Л. Вендров, И.П. Герасимов, Л.Ф., Куницын, М.И Нейштадт // Изв. АН СССР, сер. геогр. – 1966. – № 5. – С. 3–18.
37. *Нейштадт М.И.* Возникновение и скорость развития процесса заболачивания / М.И. Нейштадт // Научные предпосылки освоения болот Западной Сибири. – Москва: Наука, 1977. – С. 39–48.
38. *Tolonen K.* Preliminary estimates of long-term carbon accumulation and loss in the 25 boreal peatlands / K. Tolonen, H. Vasander, A.W. H. Damman, R.S. Clymo // Suo. – 1993. – V. 43. – N 4–5. – P. 277–280.
39. *Vitt D.H.* Spatial and temporal trends in carbon storage of peatlands of continental western Canada through the Holocene / D.H. Vitt, D.V. Beilman, L.A. Halsey // Canadian Journ. of Earth Science. – 2000. – V. 37. – P. 283–287.
40. *Zoltai S.C.* Wetlands of boreal Canada / S.C. Zoltai, S. Taylor, J.K. Jeglum, G.F. Mills, J.D. Johnson // Wetlands of Canada. – Montreal-Quebec: Polyscience Publication, 1988. – P. 97–154.
41. *Вомперский С.Э.* Роль болот в круговороте углерода / С.Э. Вомперский // Биогеоценотические особенности болот и их использование: XI чтения памяти акад. В.Н. Сукачева. – Москва: Изд–во РАН, 1994. – С. 5–37.
42. *Вомперский С.Э.* Заболоченность территории России как фактор связывания атмосферного углерода / С.Э. Вомперский, О.П. Цыганова, А.Г. Ковалев, Т.В., Глухова, Н.А. Валяева // Глобальные изменения природной среды и климата. – Москва: Изд-во РАН, 1999. – С. 124–145.
43. *Пьявченко Н.И.* Болотообразовательный процесс в лесной зоне / Н.И. Пьявченко // Значение болот в биосфере. – Москва: Наука, 1980. – С. 7–16.
44. *Глебов Ф.З.* Динамика палеорастительности, палеоклимата, накопления торфа и углерода в междуречье Оби и Васюгана (Западно–Сибирская низменность) / Ф.З. Глебов, Л.С., Толейко, В.А. Климанов, Л.В. Карпенко, И.С. Дашковская // Динамика болотных экосистем Северной Евразии в голоцене. – Петрозаводск: Карельский научный центр РАН, 2000. – С. 16–19.
45. *Oechel W.C.* Effect of global change on the carbon balance of arctic plants and ecosystems / W.C. Oechel, W.D. Billings // Arctic ecosystems in a changing climate. – San Diego: Academ. Press, 1992. – P. 139–162.

УДК 556.56:504.06:519.6:543.8

Ахметьева Н.П.*

Беляев А.Ю.*

Гринченко О.С.*

Кричевец Г.Н.*

Кудряшова В.В.*

Лапина Е.Е.*

Михайлова А.В.*

ЗАКАЗНИК «ЖУРАВЛИНАЯ РОДИНА»: СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ И ОХРАНА ОТ ТОРФЯНЫХ ПОЖАРОВ НА ОСУШЕННОМ БОЛОТЕ «ДУБЕНСКИЙ МАССИВ»

Аннотация. Приведены результаты работ сотрудников ИВП РАН на Дубненском болотном массиве заказника «Журавлиная Родина» за период 2002–2015 гг. Показано влияние параметров среды (влажность торфа, уровень болотных вод, осадки, подтопление болотного массива и др.) на состояние болота. Даны модельные оценки влияния мероприятий по обводнению, проведенных в 2013–2014 г., на состояние подземных вод.

Ключевые слова: особо охраняемые территории, заказник «Журавлиная Родина», нарушенное торфяное болото, торфяные пожары, обводнение, численное моделирование.

Akhmetyeva N.P.*

Belyaev A.Y.*

Grinchenko O.S.*

Krichevets G.N.*

Kudryashova V.V.*

Lapina E.E.*

Mikhailova A.V.*

ZHURAVLINAYA RODINA WILDLIFE RESERVE: THE CURRENT STATE AND FIRE PROTECTION ON THE DRAINED MIRE «DUBENSKY MASSIF»

Abstract. The results of studies carried out by researchers of WPI RAS in Dubninskii Bog area in the Zhuravlinaya Rodina Wildlife Reserve in 2002–2015 are given. The effect of environmental characteristics (peat moisture content, bog water level, precipitation, underflooding of the bog, etc.) on bog state is demonstrated. Model estimates are given for the effect of rewetting operations carried out in 2013–2014 on the state of groundwater.

Key words: protected area, Zhuravlinaya Rodina Wildlife Reserve, disturbed peat mire, peat fires, rewetting, numerical modeling.

* Сведения об авторах приведены в конце статьи.

Введение

Заказник «Журавлиная Родина» (далее – Заказник) находится на севере Московской области (МО). Он состоит из двух участков: Апсарёвского урочища и западной части Дубненского болотного массива (рис. 1), являющейся главным предметом рассмотрения статьи. На территории заказника встречается ~250 видов птиц, 63 вида из них занесены в Красную книгу МО, 18 – в Красную книгу России. Заказник – это место миграционных остановок водоплавающих и хищных птиц, куликов и журавлей. Общая площадь заказника ~11 000 га, его болотной части – 1170 га. Заказник основан в 1979 г. Действует целый комплекс охранных мероприятий по сохранению редких животных и растений, их местообитаний, реликтовых ландшафтов, озер и болот ледникового происхождения, истоков рек, реликтовых еловых лесов. Осенью перед перелетом здесь собираются стаи журавлей, крупнейшие в центральной части Европейской России. Охрана заказника и создание благоприятных условий обитания является важнейшей задачей Талдомской администрации, ученых, орнитологов, экологов и любителей природы.

Сотрудники ИВП РАН на протяжении 15 лет ведут наблюдения в Заказнике за численностью и поведением журавлей, а также за состоянием торфяных массивов, качеством болотных вод; с 2010 г. изучается гидрологический режим болот с целью разработки рекомендаций по противопожарной безопасности [1–3].

Торфяные пожары на территории заказника и на примыкающей к нему территории происходят, однако они не носят катастрофического характера, как это случается на других торфяниках МО, хотя для животного мира заказника их последствия могут быть губительными. Последние пожары здесь произошли в 2002-м и 2003 гг. В жаркие засушливые годы 2010 и 2011, когда Москва подвергалась воздействию смога в результате многочисленных пожаров на Мещерской низменности, в Заказнике пожаров не было.

Цель работы – исследование пожароопасности болот Заказника на основе определения влажности верхнего слоя залежи на болотах различных типов (верхового, переходного, низинного) в зависимости от количества осадков и летней среднесуточной температуры воздуха, а также оценка эффективности работ по обводнению, выполненных в 2012–2014 гг.

Особенности объекта исследования

Болотный массив включает участки верхового и низинного типов (рис. 2) с незначительной долей площади болота переходного типа [3]. Поверхность верхового болота покрыта сфагновым мхом с мощностью дернины 10–15 см. Под ним залегает светло-бурый практически неразложившийся слой из отмершего мха с остатками болотных трав мощностью 25–30 см. С глубины 0,4 м залегает прослойка слаборазложившегося темноокрашенного слоя торфа мощностью 1–2 см. Ниже – бурый слаборазложившийся пушицево-сфагновый торф. Далее по глубине степень разложения торфа увеличивается. Если в поверхностном слое коэффициент фильтрации торфа составляет в среднем 0,1 м/сут, то на нижней границе верхнего слоя его значение падает до 0,01 м/сут. На глубине 3–4 м торфяная залежь верхового участка подстилается суглинками с примесью раковин.

В зависимости от водности года уровень болотной воды (УБВ), который определялся в пробуренных скважинах частично осушенного массива, колеблется в широких пределах, например в период летней межени 2011 г. он составлял 1,5–1,7 м, а в 2015 г. – 0,1–0,2 м.

Торфяная залежь низинного участка болота с поверхности представлена, главным образом, хорошо разложившимися видами торфа – древесно-осоковым или древесно-тростниковым. Залежь осушена мелиоративными каналами. Ее мощность около 2 м, а местами до 4 м. Торфяные отложения подстилаются органо-минеральными отложениями и суглинками. УБВ в летнюю межень устанавливается в скважине на глубине 1,2–1,5 м.

Суглинки и орагано-минеральные отложения отличаются весьма низкими значениями коэффициента фильтрации (~0,001 м/сут) и ведут себя как водоупорный горизонт, а фильтрация воды из водоподающих каналов или водонакопительных прудов происходит только в слое торфа.

Методика исследований

Полевые исследования проводили в 2002, 2003, 2011, 2014 и 2015 гг., в основном в весенне-осенний период.

Использовали ручной буровой комплект Эдельмана: набор пробоотборников для бурения и отбора проб почвенных почв, включаю-

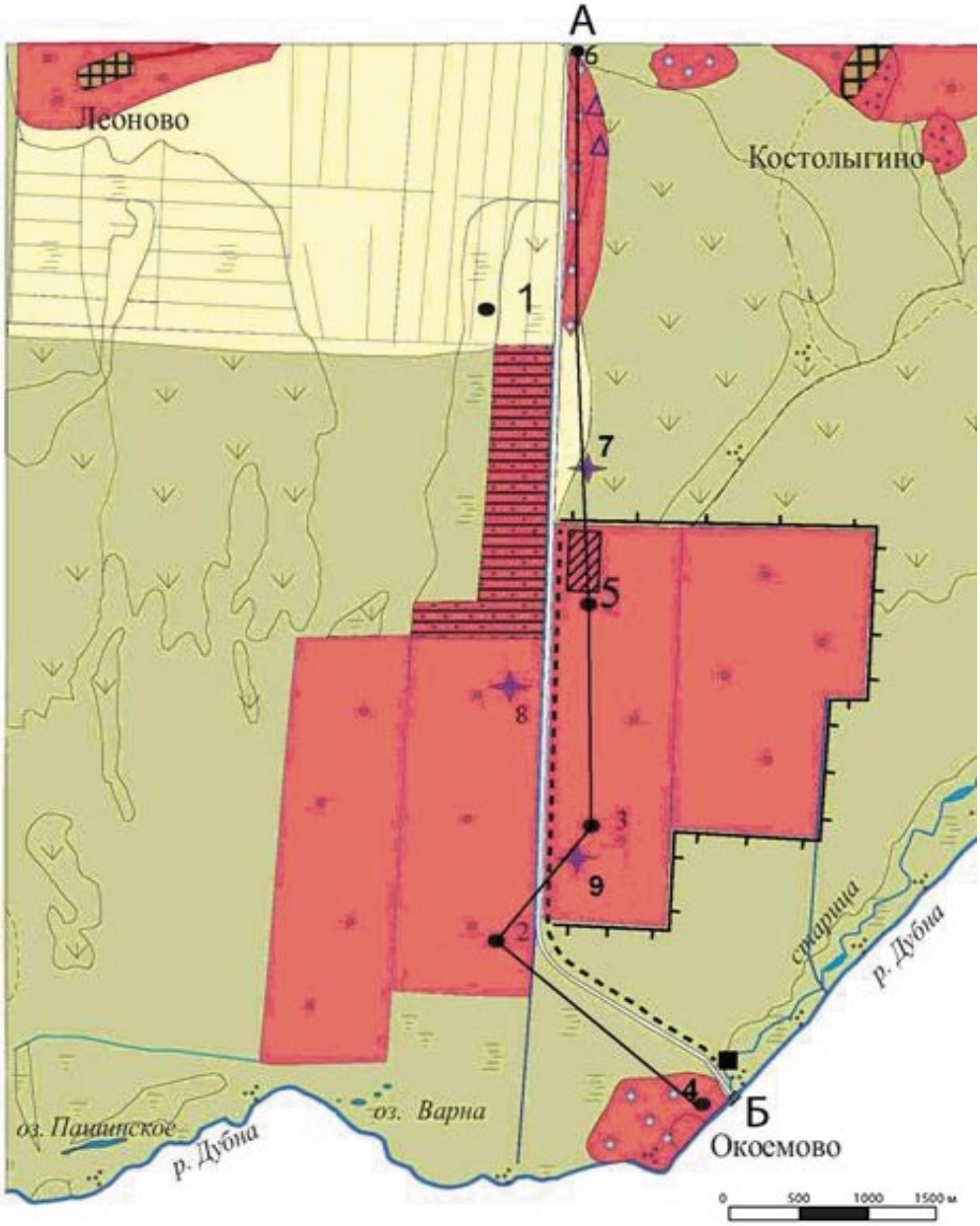


Рис. 1. Обзорная схематическая карта района работ

1. Природные участки

1.1. Болотные участки

- верховой
- низинный
- переходный
- заболоченные участки (леса, луга)

1.2. Лесной участок

- хвойный и смешанный лес

1.3. Луговой участок

- пойменные луга

1.4. Кустарник и мелколесный участок

- рябина, черноольшанник и т. д.

2. Объекты антропогенного воздействия

- населенные пункты
- торфоразработки
- места пожара
- сельскохозяйственные участки (овощи и кормовые злаки)

3. Территории с различной степенью нарушенности

- слабонарушенные
- средненарушенные
- нарушенные

4. Водные объекты

- насосная станция
- водопровод напорный
- искусственный пруд
- канал

5. Прочие

- грунтовые дороги
- тропы
- границы типов ландшафта
- скважины ручного бурения
- скважины режимные

Fig. 1. Schematic map of the survey area

1. Natural areas

1.1. Wetland areas

- high-land subzone
- low-land subzone
- transitional
- boggy areas (forest, meadow)

1.2. Forest area

- coniferous and mixed forest

1.3. Meadow area

- floodplain meadows

1.4. Shrub and low-forest area

- rowan, alder, ect.

2. Object of human impact

- populated localities
- peateries
- sites of the fire
- agricultural lands (vegetables and fodder cereals)

3. Areas with different degrees of disturbance

- low impact
- medium impact
- high impact

4. Water features

- pumping station
- pressure water pipe
- artificial pond
- canal

5. Other

- dirt roads
- trailways
- landscape type boundaries
- hand-drilled bore
- monitoring wells

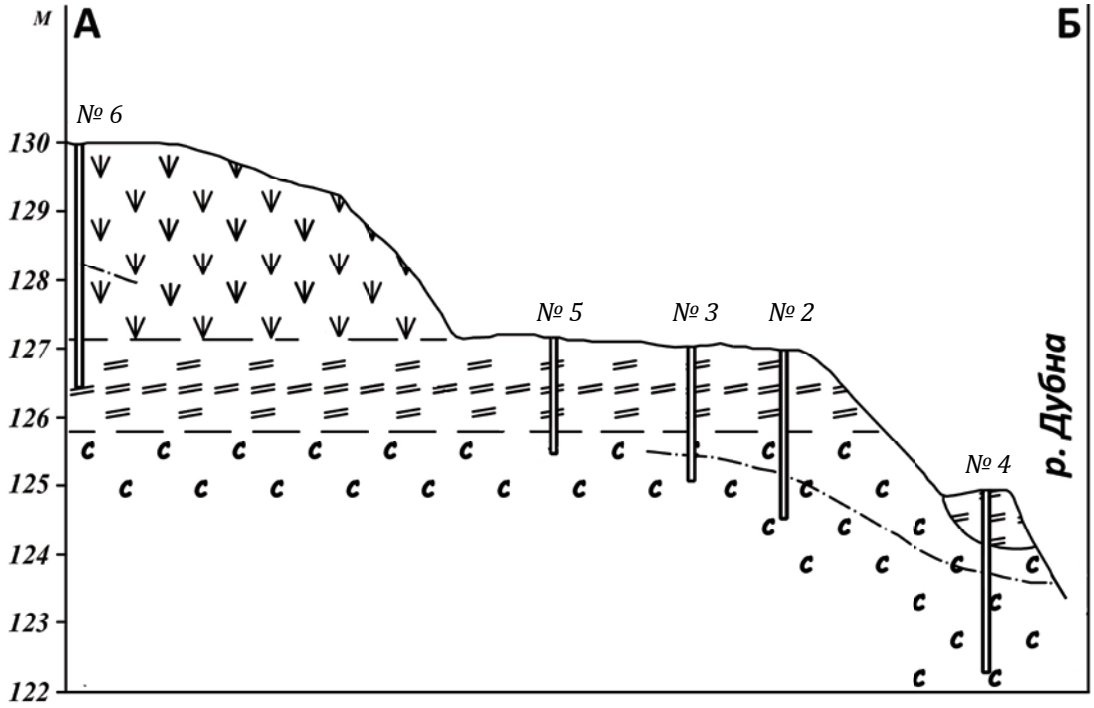


Рис. 2. Схематический геологический разрез по линии АБ (рис. 1)

Fig. 2. Schematic geological section along the line AB (fig. 1)

- Верховой торф (Highland peat)
- Низинный т орф (Lowland peat)
- Суглинок (Loam)
- № 3 Номер скважины (Number drilled)

щий бур, рукоятку и наращиваемые стержни со стыковым соединением.

Естественную влажность торфа определяли в лаборатории Иваньковской научно-исследовательской станции ИВП РАН весовым методом в алюминиевых бюксах с крышками. Естественная влажность определялась как разность масс образца до и после просушки, отнесенная к массе образца до просушки.

В работе использовали также данные метеостанции г. Твери.

Расчеты подтопления территории проведены на персональном компьютере по оригинальной модели.

Результаты работы

В 2002 г. наблюдались следующие погодные условия: дождевые осадки составили: за май – 27 мм; за июнь – 46,2 мм; за июль – 35,9 мм; за август – 12,8 мм. Среднесуточная температура воздуха: в мае – ~10 °С; в июне – 15–17 °С; в июле – 20–25 °С; в августе – 13–21 °С (рис. 3).

На открытой от древесной растительности площадке низинного торфяника в августе 2002 г. получен профиль влажности (табл. 1), где в верхнем слое (10–20 см) произошло некоторое уменьшение влажности торфа, а ниже 0,3 м влажность торфа составляла 70–80%, что показательно для осушенных торфяных отложений. Аналогичная закономерность наблюдалась и для участка переходного болота.

Таблица 1. Распределение влажности торфа по разрезу в августе 2002 г. (влажность приводится как весовая естественная)

Table 1. Vertical distribution of peat humidity in August 2002 (natural gravimetric peat humidity)

Тип болота, текущий УБВ	Глубина, м	Влажность, %
Низинное, УБВ 1,2 м	0,1	61,9
	0,3	69,6
	0,45	78,6
	0,6	79,8
	0,7	75,9
	0,9	72,4
	1,1	76,9
Переходное, УБВ 1,8 м	0,2	71,7
	0,4	73,0
	0,6	81,7
	0,9	86,5

Распределение влажности верхового торфа в августе 2003 г. было следующим: на глубине 0,2 м – 88,1%; 0,4 м – 75,4%; 0,6 м – 73,7%; 0,8 м – 75,1%, в верхнем слое уменьшение влажности не было обнаружено, несмотря на то, что в середине 2003 г. стояла сухая и жаркая погода, количество осадков за этот период составило 5 мм, а среднесуточная температура – 17–24 °С (рис. 4).

Для сравнения, летом 2011 г. стояла жаркая сухая погода: в июле – начале августа практически не было дождей, количество осадков за этот период составило 10 мм, среднесуточная температура – 20–23 °С (рис. 5). Влажность торфа, определенная в начале августа, во всех скважинах (низинного участка (рис. 2, скважины № 2, 3 и 5) и верхового (скважина № 6), определялась значительно меньшими значениями в слое до 0,3 м (рис. 6).

Данные по изменению влажности торфа показывают, что весной после таяния снега влажность торфа максимальная, причем по всей глубине разреза (80–96%). Со временем эпюра влажности несколько меняется – в верхнем слое (до 20–30 см) происходит уменьшение естественной влажности на 10–15% (иногда более), а ниже 30 см влажность торфа почти не изменяется.

На осушенных торфяных полях, претерпевших внесение минеральных удобрений и распашку, происходит нарушение структуры торфа, ведущее к более резкому изменению влажности торфа по разрезу. Например, в засушливое лето 2011 г. влажность верхнего слоя торфа на так называемом «морковном» поле (скважина № 3) снизилась до 28,3%, а на поле сеяных трав (скважина № 5, рис. 2) уменьшилась до 44% (данные на 20 августа 2011 г.). На участке верхового болота влажность верхних слоев торфа в это же время снизилась лишь на несколько процентов (скважина № 6).

Известно, что в поверхностном залежном слое торфяника предельная пожароопасная влажность торфа составляет для низинного торфа 69%, а для верхового – 72% [4]. Торф в виде собранной в кучи или штабели торфяной крошки саморазогревается при влажности <30–35% [5]. Таким образом, влажность торфа в поверхностном слое залежи величиной 28,3% и 44% указывает на то, что на территории Дубненского массива в летний период создается пожароопасная обстановка, при которой внешние причины могут вызвать возгорание торфа.

В отличие от сред с регулярной пористостью, УБВ в осушенной торфяной залежи не оказывает прямого влияния на распределение влажности по разрезу, особенно при его глубоком положении (табл. 1) [1]. Это связано с тем, что характеристика водоотдачи торфа и влагоперенос в длительно осушаемых торфяных залежах могут быть очень сложными и низкими по своим значениям.

Полевые исследования показали, что на изучаемом участке болота при сухой жаркой летней погоде УБВ в скважинах иногда не устанавливается длительное время на глубине до 3 м от поверхности. В обычные годы он составляет в мае 0,1–0,3 м, а в период летней межени снижается до 1,2–1,5 м (рис. 7).

Влажность верхнего слоя на осушаемых торфяниках главным образом зависит от харак-

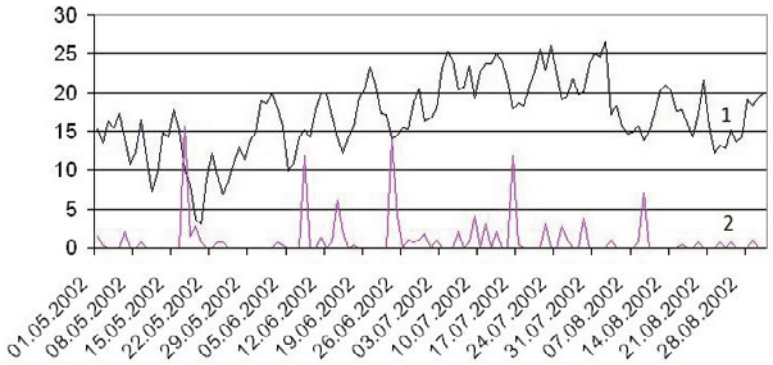


Рис. 3. Осадки и среднесуточная температура за май–август 2002 г., м/с Тверь: 1 – среднесуточная температура (°С); 2 – осадки (мм)

Fig. 3. Rainfall and average daily temperature in May–August, 2002, meteorological station Tver (m/s Tver): 1 – average daily temperature (°C); 2 – rainfall (mm)

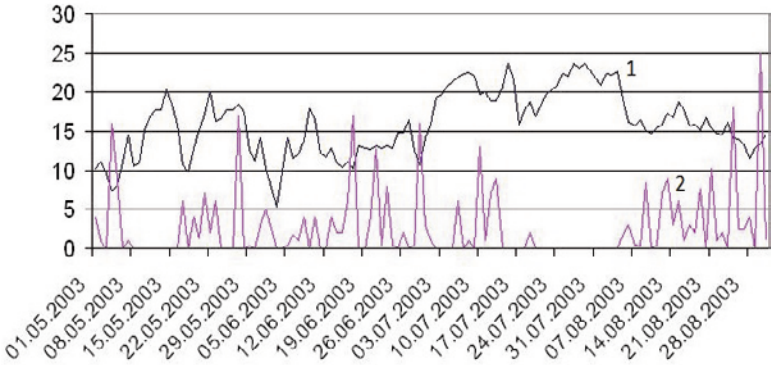


Рис. 4. Осадки и среднесуточная температура за май–август 2003 г. (m/s Tver):
1 – среднесуточная температура (°С);
2 – осадки (мм)

Fig. 4. Rainfall and average daily temperature in May–August, 2003 (m/s Tver):
1 – average daily temperature (°C);
2 – rainfall (mm)

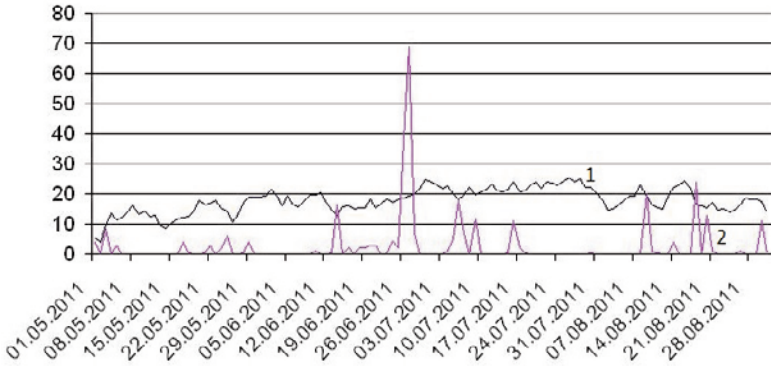


Рис. 5. Осадки и среднесуточная температура за май–август 2011 г. (m/s Tver):
1 – среднесуточная температура (°С);
2 – осадки (мм)

Fig. 5. Rainfall and average daily temperature in May–August, 2011 (m/s Tver):
1 – average daily temperature (°C);
2 – rainfall (mm)

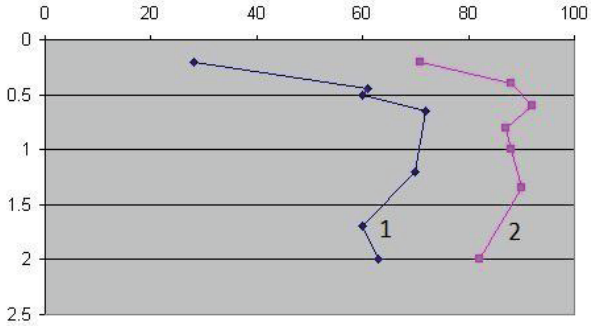


Рис. 6. Распределение влажности (%) по глубине (м), 2011 г.:
1 – низинное болото;
2 – верховое болото

Fig. 6. Moisture distribution (%) over depth (m), 2011:
1– fens; 2 – bog

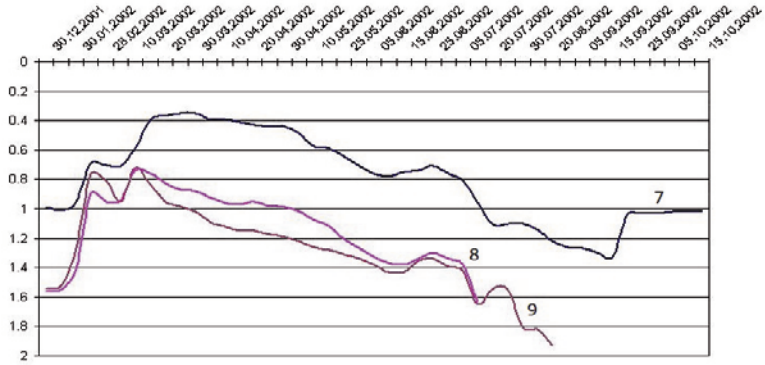


Рис. 7. Уровень болотных вод в режимных скважинах № 7, № 8 и № 9

Fig. 7. Bog water level in monitoring wells N 7, N 8, and N 9

тера атмосферных осадков. Приводимые графики УБВ относятся к 2002 г. с годовыми осадками 490 мм (данные метеорологического поста Иваньковской НИС ИВП РАН, г. Конаково). Вертикальное распределение влажности во всей торфяной залежи, сформировавшееся после таяния снега, мало меняется в летнее время по всей глубине разреза залежи кроме его верхней двадцатисантиметровой (иногда тридцатисантиметровой) части. Даже в самые жаркие летние месяцы влажность может измениться лишь на несколько процентов (до 10%).

Поэтому в целях предотвращения торфяных пожаров на территории болотного массива рекомендуется организовать мониторинг влажности торфа на участках, где можно ожидать ее падения, а также в местах, где сельскохозяйственное использование торфяных массивов ведет к нарушению естественной структуры торфа. Исходя из приведенных материалов, на мониторинговых площадках необходимо пробурить наблюдательные скважины за УБВ глубиной 1–3 м в зависимости от условий, и в летний период отбирать образцы торфа на определение влажности в разрезах глубиной до 0,5 м. Замеры уровня воды и отбор проб на влажность в жаркие летние месяцы рекомендуется проводить еженедельно. При обнаружении пониженной влажности торфа (<69–72%) следует вести наблюдения (обход территории) за состоянием выявленных пожароопасных участков через каждые 3 дня.

На торфяном болоте «Журавлиная Родина» в 2012–2014 гг. проведены работы по обводнению на участке в районе скважин № 3 и № 5 (рис. 1). Гидротехнические работы, выполненные на этом участке, заключались, в основном, в обеспечении территории резервуарами поверхностных вод, то есть каналами и пожарным прудом, находящимися в шаговой доступности, а также в организации путей подъезда к ним. Эти мероприятия отвечают требованиям служб, ответственных за тушение возникающих пожаров. В то же время для уменьшения вероятности возникновения пожаров, а также для целей экологического характера гораздо важнее обеспечить распределение воды по торфяному массиву, а не наличие ее в каналах.

Открытые водоемы оказывают влияние на динамику уровня подземных вод, причем они могут способствовать как повышению, так и понижению уровня, так как система каналов на массиве «Журавлиная родина» предполагает возможность регулировать уровни воды в них. Однако обычно при обводнении торфяников оценки запасов подземных вод имеют низкую надежность или не делаются вообще. Это связано с тем, что на болотных массивах значительной площади практически трудно за короткий срок (период проектирования) собрать данные, необходимые для постановки и решения фильтрационных задач. На торфяниках такие параметры, как коэффициенты фильтрации грунта, начальная влажность и начальный УБВ, интенсивность внешних притоков и оттоков влаги за счет осадков, испарения и транспирации характеризуются высокой изменчивостью и никогда не бывают известны с достаточной для постановки задач достоверностью. Фактически доступными характеристиками объекта обычно являются данные геодезической съемки и общие сведения о геологических типах пород, слагающих и подстилающих торфяник. Любые модельные расчеты состояния подземных вод, основанные только на этих доступных данных, будут уязвимы для критики при экспертизе проекта обводнения, поэтому проектировщики стараются избегать каких-либо количественных прогнозных оценок в отношении влияния произведенных работ на состояние подземных вод на торфянике.

Некоторые грубые оценки эффективности мероприятий по обводнению болота Дубенский массив можно, тем не менее, построить, опираясь на имеющуюся минимальную гидрогеологическую информацию, при помощи сильно упрощенных фильтрационных схем.

Система гидротехнических сооружений для обводнения участка Дубенского массива представляет собой сеть каналов, восстановленных на месте бывших дренажных канав, а также построенных вновь. Эта сеть имеет выход в р. Дубну. Расстояние между соседними параллельными каналами составляет ~500 м, а их глубина – порядка 3 м. Каналы в ряде мест перегорожены регулируемыми плотинами, позволяющими распределять имеющуюся в них воду равномерно по всей сети и задерживать ее попадание в реку. Забор воды для заполнения каналов осуществляется по мере необходимости из реки в искусственный водоем (пруд), расположенный в зоне с наивысшей отметкой рельефа в северной части обводняемого участка. Проект обводнения предполагает, что посредством управления уровнем воды в каналах можно контролировать и уровень грунтовых вод на всей площади участка. В частности, если в засуш-

ливый период поднять уровень воды в каналах на пару метров, то и грунтовые воды со временем поднимутся. Это, в свою очередь, снизит вероятность возникновения пожаров на болоте и благотворно скажется на условиях существования местной флоры и фауны.

Для очень приблизительной оценки характерного времени, за которое УБВ в какой-нибудь точке, удаленной от соседних параллельных каналов на расстояние L = 250 м, отреагирует на изменение уровня воды в каналах, можно воспользоваться приближенной формулой

$$T \sim \frac{mL^2}{kH},$$

где k – коэффициент продольной фильтрации грунта, m – эффективная пористость ненасыщенной зоны (то есть доля объема среды, находящейся над поверхностью грунтовых вод, занятая воздухом), H – толщина слоя между водоупором и поверхностью грунтовых вод.

Эта формула следует из простейшей профильной модели безнапорной фильтрации в слое однородного грунта, размещенного на ровном горизонтальном водоупоре, в приближении Буссинеска. Фактическая структура среды не отвечает условиям, принятым в этой модели. Породы, занятые грунтовыми водами, весьма далеки от однородных. Коэффициент фильтрации меняется на пару порядков по вертикали и в горизонтальном направлении. Диапазон изменения эффективной пористости m не столь велик, но пространственное распределение этого параметра также неизвестно.

Работы, проведенные на болоте, не позволили выявить единую границу, которую можно принять в качестве водоупора. Во всяком случае, такая граница в масштабах рассматриваемого участка болотного массива вряд ли является ровной и горизонтальной. Тем не менее, учитывая монотонность приведенного выражения по k, H, m, можно надеяться получить грубые оценки сверху или снизу для характерного времени T, если взять значения этих параметров «с запасом». Предполагая, что $k \leq 0{,}1$ м/сут, $m \geq 0{,}2$, $H \leq 10$ м, мы получим

$$T \geq 12\,500 \text{ сут.}$$

Отсюда следует вывод, что уровень грунтовых вод на территории между каналами не успеет существенно отреагировать на изменение уровней воды в каналах за приемлемое время. За те несколько недель, по истечении которых начнутся осенние дожди и снижение пожароопасности перестанет быть актуальным, изменение уровня за счет горизонтального перемещения грунтовых вод в направлении от каналов окажется несущественным.

В соответствии с этой оценкой уровень грунтовых вод будет регулироваться главным образом вертикально ориентированными процессами, то есть инфильтрацией, испарением и транспирацией. Влияние изменений уровня воды в каналах на грунтовые воды будет сказываться только в зонах, близко примыкающих к каналам. На остальной площади массива для активного управления уровнем грунтовых вод с помощью системы каналов требуется либо грунт с коэффициентом фильтрации на три порядка больше, что совершенно не характерно для болотных отложений на территории Заказника, либо расстояние между каналами должно быть порядка 20 м, что недопустимо по экономическим и экологическим причинам. Следует отметить, что для болотных массивов, подстилаемых мощными песчаными горизонтами (к таким массивам относятся, например, многие участки торфяников Мещеры), мероприятия по обводнению, аналогичные примененным на «Журавлиной Родине», могут оказаться эффективными в отношении возможностей оперативного регулирования положения УБВ.

По аналогичной методике можно оценивать некоторые другие параметры, характеризующие эффективность мероприятий по обводнению территории Заказника. Например, при помощи той же модели для оценки характерного расстояния l, от ближайшего канала, на котором уровень грунтовых вод существенно изменяется при изменении уровня в канале за приемлемое время t, получается приближенная формула

$$l \sim \sqrt{kHt / m}.$$

Полагая здесь $k \leq 0{,}1$ м/сут, $m \geq 0{,}2$, $H \leq 10$ м, $t \leq 30$ сут, мы получим

$$l \leq 12 \text{ м.}$$

Эта оценка показывает, что регулирование положения поверхности грунтовых вод возможно в зоне, находящейся в 10–20 м от действующих каналов. Эта зона занимает небольшую долю общей площади Заказника, но, тем не менее, определенное значение для обеспечения пожарной безопасности она может иметь.

Выводы

1. На основании многолетних работ на Дубненском массиве заказника «Журавлиная Родина», включая бурение 30 скважин, составлено около 20 эпюр влажности торфяных отложений различного типа. Показано, что в некоторые годы создаются условия, благоприятные для возникновения пожаров. В эти годы требуется проводить еженедельные обходы территории, следить за наличием воды в прудах и каналах, а также измерять влажность торфа и УБВ на мониторинговых площадках.
2. При установленных параметрах среды Дубненского массива горизонтальное перемещение грунтовых вод за те несколько летних недель, по истечении которых начнутся осенние дожди, обводнение перестанет быть актуальным, и уровень грунтовых вод будет регулироваться вертикальными процессами: т. е. инфильтрацией, испарением и транспирацией. Для активного управления уровнем с помощью системы каналов необходимо уменьшить расстояние между ними до 20–40 м.

Выражаем благодарность лицам, принимавшим участие в полевых работах в различные годы: М.Я. Войтехову, А.А. Горскому, В.Л. Зазуле.

Работа выполнена при поддержке РФФИ, проект № 14–05–00555 «Пожары на болотах: экологические последствия и динамика восстановления».

Библиографический список

3. *Ахметьева Н.П.* Влажность торфа и возникновение пожаров на болотах / Н.П. Ахметьева, Е.Е. Лапина, В.В. Кудряшова // Мелиорация и водное хозяйство, 2014. – № 3. – С. 26–29.
4. *Беляев А.Ю.* Оценка эффективности мероприятий по обводнению болотных массивов с использованием математической модели / А.Ю. Беляев, Н.П. Ахметьева, Г.Н. Кричевец, А.В. Михайлова // Труды 9-й Международной конф. «Анализ, прогноз и управление природными рисками в современном мире (ГЕОРИСК–2015)». – М., 2015. – Т. 2. – С. 54–59. – Эл. ресурс: http://geoenv.ru/index.php/ru/georisk/provedennye-konferentsii.
5. *Гринченко О.С.* Официальный сайт заказника «Журавлиная Родина»/ О.С. Гринченко. – М., 2016. – Электронный ресурс: http://www.craneland.ru/.
6. Перспективное использование выработанных торфяных болот / Под ред. В.В. Панова. – Тверь: Триада, 2013. – 280 с.
7. *Фалюшин П.Л.* Проверка способа прогнозирования склонности торфа к самовозгоранию / П.Л. Фалюшин, Т.Я. Кашинская, А.В. Ребров, А.И. Куприянов // Торфяная промышленность, 1986. – № 3. – С. 20–23.

Сведения об авторах

1. Ахметьева Нина Петровна, автор для ведения переписки, с. н. с., к.г.-м.н., лаборатория гидрогеологических проблем охраны окружающей среды ИВП РАН, 119333, г. Москва, ул. Губкина, д. 3. 8-499-135-54-15. nakhmeteva@rambler.ru

Akhmetyeva Nina Petrovna, author for correspondence. Ph. D. (Candidate of geological-mineralogical sciences), senior research of Environmental Hydrogeology Laboratory, Water Problems Institute of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Gubkina, 3. 8-495-416-44-29. nakhmeteva@rambler.ru

2. Беляев Алексей Юрьевич, старший научный сотрудник, к.ф.-м.н. Лаборатория гидрогеологических проблем охраны окружающей среды ИВП РАН, 119333, г. Москва, ул. Губкина, д. 3. Направления научных исследований: гидродинамические процессы в пористых средах; нелинейные уравнения с гистерезисом. Тел. 8-903-764-92-14. believ@aqua.lazer.ru

Belyaev Alexey Yuryevich, Ph. D. (Physics and Mathematics), senior research of Environmental Hydrogeology Laboratory, Water Problems Institute of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Gubkina, 3. 8-499-135-54-15. beliaev@aqua.lazer.ru

3. Гринченко Ольга Сергеевна, н. с. Лаборатория динамики наземных экосистем под влиянием водного фактора ИВП РАН, директор ГУ «Талдомская администрация ООПТ». Тел. 8-916-130-03-06. taoopt@mail.ru.

Grinchenko Olga Sergeevna, researcher,
Laboratory of dynamic of terrestrial ecosystems under the influence of water factor, Water Problems Institute of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Gubkina, 3. State director of Taldomskaya administration of the nature protected territories (TAOOPT), Moscow region, Taldom district. 8-916-130-03-06. taoopt@mail.ru

4. Кричевец Геннадий Николаевич, с. н. с., к. г.-м. н., лаборатория гидрогеологических проблем ох-

раны окружающей среды ИВП РАН, 119333, г. Москва, ул. Губкина, д. 3. Тел. 8-903-966-68-03. gkrich@yandex.ru.

Krichevets Gennadiy Nikolaevich, Ph. D. (Candidate of geological-mineralogical sciences), senior research of Environmental Hydrogeology Laboratory of Water Problems Institute of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Gubkina, 3. 8-499-135-54-15. gkrich@yandex.ru

5. Кудряшова Вера Вадимовна, м. н. с., ИВП РАН, отдел охраны водной среды (Иваньковская научно-исследовательская станция). г. Конаково, ул. Белавинская д. 61 А. Тел.: (48242) 3-67-34, 3-67-45, 3-67-35. Сайт: www.iwp.ru

Kudryashova Vera Vadimovna, junior researcher, Water Problems Institute of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Gubkina, 3. (48242) 3-67-34. http://www.iwp.ru/

6. Лапина Елена Егоровна, с. н. с., к. г.-м. н., ИВП РАН, отдел охраны водной среды (Иваньковская научно-исследовательская станция). Тел.: 8 (48242) 3-67-45, 8-910-837-01-91. shtriter_elena@rambler.ru

Lapina Elena Egorovna, Ph.D. (candidate of geological-mineralogical sciences), senior research, Water Problems Institute of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Gubkina, 3. 8 (48242) 3-67-45, 8-910-837-01-91. shtriter_elena@rambler.ru

7. Михайлова Алла Владимировна, с. н. с., к.х.н., лаборатория инструментальных методов и органических реагентов. Федеральное государственное бюджетное учреждение науки «Ордена Ленина и Ордена Октябрьской Революции Институт геохимии и аналитической химии им. В.И. Вернадского» Российской академии наук (ГЕОХИ РАН). 119991, ГСП-1, Москва, ул. Косыгина. 19. Тел. 8-903-712-92-71. xemafiltra@yandex.ru

Mikhailova Alla Vladimirovna, Ph.D. (analytical chemistry), senior research, Vernadsky Institute of Geochemistry and Analytical Chemistry of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Kosyigina, 19. 8-903-712-92-71. xemafiltra@yandex.ru

УДК 622.331

Горячёв В.И.

Горячёв Валентин Иванович, д. т. н., профессор кафедры инженерной графики Тверского государственного технического университета, 170023, Тверь, Академическая , 12. (4822)789358

Михеев И.И.

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

К ВОПРОСУ ОБОСНОВАНИЯ ПРИМЕНЕНИЯ ВАЛКОВО-ДИСКОВОГО ГРОХОТА ДЛЯ ПОДГОТОВКИ К КИПОВАНИЮ ФРЕЗЕРНОГО МАЛОРАЗЛОЖИВШЕГОСЯ ТОРФА

Аннотация. В статье проведён анализ возможности применения волково-дискового грохота для подготовки к кипованию фрезерного малоразложившегося торфа. Лабораторными и опытно-промышленными исследованиями установлена необходимость корректировки скоростного режима вращения дисков с последующей проверкой предложенных решений на модернизированном валково-дисковом грохоте.

Ключевые слова: валково-дисковый грохот, кипование, торф, скоростной режим.

Goryachyov V.I.

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

Mikheyev I.I.

Mikheyev Igor Ivanovich, Ph.D, Associate professor of Chair Engineering Graphics of the Tver State Technical University, mikheev1937@yandex.ru

TO THE QUESTION OF APPLICATION OF THE ROLL AND DISK SCREENING MACHINE FOR PREPARATION TO PILLING OF THE MILLING LOW-DECAYED PEAT

Abstract. In article the analysis of a possibility of application of a volkovo-disk screening machine for preparation to pilling of the milling low-decayed peat is carried out. Laboratory and trial researches established need of correction of the high-speed mode of rotation of disks with the subsequent verification of the proposed solutions on the modernized roll and disk screening machine.

Key words: roll and disk screening machine, pilling, peat, high-speed mode.

В настоящее время на торфобрикетных заводах для подготовки фрезерного торфа применяются валково-дисковые грохоты типа ГВД [1,2], применение которых следует считать целесообразным также в цехах подготовки к кипованию фрезерного малоразложившегося торфа (степень разложения до 25%) для разделения смеси торфяных частиц на два класса крупности: крупный, с средневзвешенным диаметром частиц более 8 мм, пригодных для кипования, и мелкий, с средневзвешенным диаметром частиц до 3 мм для производства удобрительных субстратов [3].

Для проверки предложенного решения были проведены лабораторные исследования в два этапа.

На первом этапе определялись зависимости плотности насыпной массы фрезерного малоразложившегося торфа различного гранулометрического состава смеси мелких фракций и смеси крупного остатка от средневзвешенного диаметра. Исследования проводились с наиболее представительными малоразложившимися комплексно-верховыми торфами месторождений «Оршинский Мох», «Васильевский Мох» и «Маркино-Городищенского» торфяного массива со степенью разложения 20–35% и влажностью 40–60%.

В результате для частиц фрезерного торфа получены эмпирические зависимости вида показательной функции $\gamma = \alpha D\beta$ [4], в которых D – средневзвешенный диаметр смеси частиц фрезерного торфа, мм; γ – плотность насыпной массы смеси частиц фрезерного торфа, приведенная к влажности 50%, кг/м^3.

Применительно к упомянутым торфам:

для мелкого продукта (D_1 = 0,5–6,0 мм);

$\gamma_1 = 290\ D_1^{-0,164}$ кг/м^3;

для крупного продукта (D_2 = 6,0–12,5 мм);

$\gamma_2 = 384\ D_2^{-0,34}$ кг/м^3;

α и β – эмпирические коэффициенты.

В указанных интервалах D определение плотности насыпной массы γ смеси частиц фрезерного торфа с применением полученных зависимостей даёт относительное отклонение не более 5%, что приемлемо для практических расчётов.

Лабораторными опытами установлено также, что с увеличением среднего размера диаметра частиц торфа в пределах крупности отдельной фракции, плотность насыпной массы уменьшается в широких пределах. Так, отличие плотностей мелкой фракции (0–1мм) от крупной (10–15 мм) составляет 100–150 кг/м^3 (табл. 1). Наиболее интенсивное снижение плотности по фракциям наблюдается до размера частиц 3–5 мм.

На втором этапе для проверки проведенных теоретических и лабораторных исследований был разработан и изготовлен опытно-промышленный валково-дисковый грохот. Новая конструкция валково-дискового грохота (рис. 1) по принципу работы аналогична известным техническим решениям [1, 2].

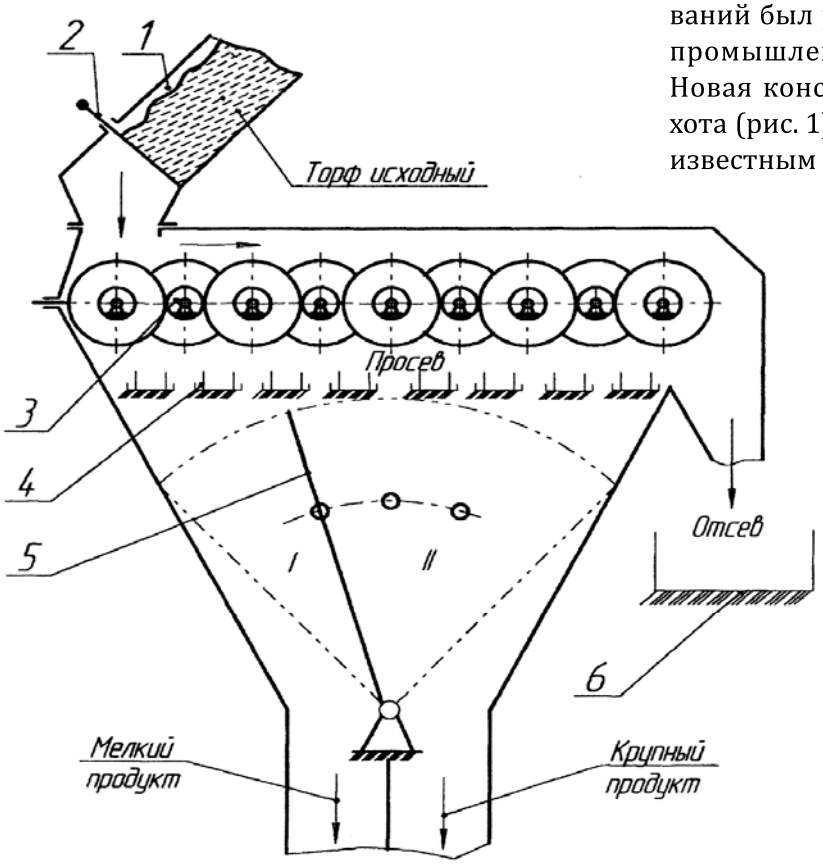


Рис. 1. Схема опытно-промышленного валково-дискового грохота: 1 – лоток; 2 – шибер; 3 – вал с дисками; 4 – ловушка; 5 – заслонка дроссельная; 6 – лоток

Fig. 1. A scheme of a trial roll and a disk screening machine: 1 – a tray; 2 – a slide gate; 3 – a shaft with disks; 4 – a trap; 5 – a throttle flap; 6 – a tray

Таблица 1. Интерпретация фракционного состава исходного торфа

Table 1. Fractional composition of the initial peat

Крайние размеры фракций, мм	Влажность, %	Плотность, кг/м³	Содержание фракций		Суммарный выход, %	
			по массе, г	в %	по плюсу (крупного остатка)	по минусу (мелких фракций)
0–1	51,8	328	180	13,2	100	13,2
1–2	60,0	284	260	19,1	86,6	32,3
2–3	59,4	234	200	14,7	67,7	47,0
3–5	61,6	209	230	16,9	53,0	63,9
5–7	57,6	198	140	10,3	36,1	74,2
7–10	57,6	182	70	5,1	25,8	79,3
10–25	56,2	168	280	20,7	20,7	100

Отличительными конструктивными особенностями его от ГВД-1 являлись:

- общее количество валов – 9 (вместо 6) для более тщательного фракционирования поступающего фрезерного торфа;
- размеры ячейки (щели) между дисками и валами – 11×135 мм (вместо 5×90 мм);
- наличие дроссельной заслонки 5 для деления массового потока на мелкий и крупный продукты.

С целью исследования изменения средневзвешенного диаметра смеси торфяных частиц и плотности их насыпной массы по длине просеивающей поверхности грохота в начале работы под каждым рядом ячеек щелевидных отверстий между валами временно устанавливались ловушки 4 в виде металлических коробов (мешков). После удаления ловушек подрешётное пространство делилось дроссельной заслонкой на две зоны: первая – для отбора мелкого продукта, вторая – для крупного.

Частота вращения валов с дисками изменялась по длине грохота в соответствии с рекомендациями [1, 2]: каждый последующий вал вращался в 1,15 раза быстрее предыдущего. В предложенной конструкции частота вращения первого вала равнялась n_1 = 71 об/мин и далее n_2 = 82, n_3 = 94, n_4 = 108, n_5 = 124, n_6 = 143, n_7 = 164, n_8 = 189 и n_9 = 217 об/мин (рис. 2).

Опытно-промышленный валково-дисковый грохот испытывался в цехе производства кипованного верхового малоразложившегося торфа и получения торфоминеральных удобрительных смесей на торфоперерабатывающем участке (ТПУ) в п. Н. Орша Калининского района Тверской области.

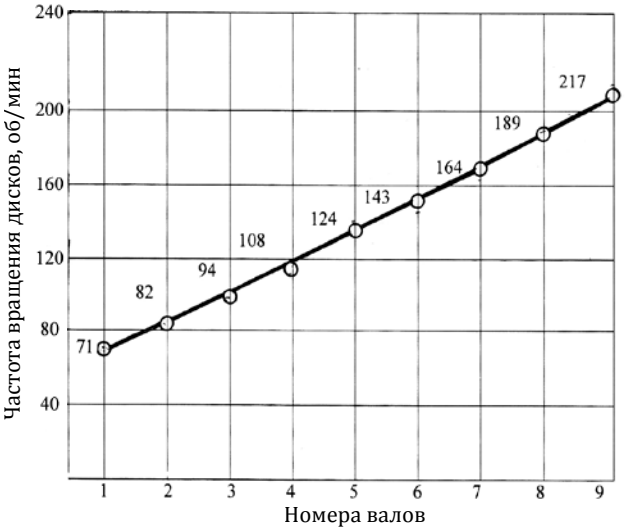


Рис. 2. Частота вращения валов ВГД-1

Fig. 2. Rotation freguency of shafts VGD-1

Подготовка поступающего в цех фрезерного верхового торфа степенью разложения 20–25% заключалась в разделении исходного материала на валково-дисковом грохоте на два класса: крупный продукт для кипования и мелкий продукт для получения удобрительных смесей [5].

В исследованиях использовался торф с Емельяновского ТПУ (участок № 3) степенью разложения 20–25%, влажностью 57,7% и плотностью насыпной массы 248 кг/м³. Содержание фракций, их влажность и плотность приведены в табл. 2, параметры смеси мелких и крупных фракций – в табл. 2.

Таблица 2. Средневзвешенный диаметр частиц и плотность насыпной массы смеси мелких фракций и крупного остатка

Table 2. A mean-weighted diameter of particles and density of the balk containing mixtures of shallow fractions and the large part of the rest

Фракция, мм	Средневзвешенный диаметр смеси частиц, мм		Плотность насыпной массы смеси частиц, кг/м³	
	мелких фракций	крупного остатка	мелких фракций	крупного остатка
0–1	0,5	–	328	–
1–2	1,08	6,90	306	225
2–3	1,53	8,43	290	215
3–5	2,18	10,08	272	200
5–7	2,71	12,93	260	190
7–10	3,09	15,70	253	180
10–25	6,06	17,50	248	168

В ходе исследований изучались распределение просева торфа и его фракционный состав по длине грохота в зависимости от производительности. Результаты опытов сведены в табл. 3–5.

Таблица 3. Распределение просева торфа (%) по длине грохота в зависимости от производительности

Table 3. Distribution of peat screening (%) longwise a screening machine depending on the efficiency

Производительн., т/ч	№ ряда ячеек								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9 (отсев)
10	20,8	25,4	22,4	15,6	12,9	1,9	0,7	0,3	4,2
20	20,2	24,6	19,7	14,3	10,5	6,2	3,2	1,3	5,7
30	19,7	23,3	18,4	13,4	11,7	7,2	4,4	1,9	6,0

Таблица 4. Изменение средневзвешенного диаметра смеси частиц торфа (D, мм) по длине грохота в зависимости от производительности

Table 4. Change of the mean-weighted diameter of peat particles mixture (D, mm) longwise a screening machine depending on the efficiency

Производительн., т/ч	№ ряда ячеек								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9 (отсев)
10	3,85	3,56	4,81	4,42	4,63	5,45	7,21	8,25	14,37
20	3,36	4,05	3,01	5,07	4,72	4,85	3,59	5,99	12,94
30	5,11	4,02	3,95	4,13	5,08	4,32	6,40	6,17	12,33

Таблица 5. Изменение суммарного средневзвешенного диаметра смеси частиц торфа (D, мм) по длине грохота с учётом доли выхода просева по мелкому/крупному продуктам

Table 5. Change of cooperative mean-weighted diameter of peat particles mixture (D, mm) longwise a screening machine taking into account a screening exit share on shallow/large products

Производительн, т/ч	№ ряда ячеек							
	1	2	3	4	5	6	7	8
10	3,85	3,69	4,06	4,12	4,19	4,21	4,24	4,25
	4,25	4,36	4,74	4,68	4,94	6,33	7,97	8,25
20	3,36	3,74	3,52	3,80	3,91	3,97	3,96	3,99
	3,99	4,15	4,19	4,85	4,69	4,66	4,47	5,99
30	5,11	4,52	4,35	4,31	4,41	4,41	4,50	4,53
	4,53	4,38	4,53	4,81	5,17	5,26	6,33	6,17

Экспериментально установлено (табл. 4), что независимо от производительности примерно 75–85% поступающего торфа просеивается на первых 3–4 рядах ячеек грохота. Наибольшая интенсивность этого процесса наблюдается между вторым и третьим валами. Начиная с 5-го вала интенсивность плавно затухает от 10–13% до 1–2%. Увеличение средневзвешенного диаметра смеси частиц торфа по длине грохота (табл. 5) наблюдается лишь на 5–6 ряду ячеек.

Из анализа данных табл. 6 следует, что выделить на грохоте смесь крупных частиц торфа средневзвешенным диаметром 7,0 мм и более (пригодного для кипования) практически невозможно, хотя в исходном торфе таких фракций содержится около 70% (табл. 2, 3), что объясняется, по нашему мнению, двумя причинами:

- первая – большое измельчение крупных фракций при оборотах валов выше 100 об/мин, что приводит к увеличению динамических нагрузок на частицы торфа;
- вторая – значительный унос самых крупных частиц средневзвешенным диаметром 12–15 мм в отсев (табл. 4, 5).

Выводы

1. Получены эмпирические зависимости плотности насыпной массы смеси частиц фрезерного торфа γ от средневзвешенного диаметра частиц фрезерного торфа D мм для разделения смеси торфяных частиц на два класса крупности: крупный, с средневзвешенным диаметром частиц более 8 мм, пригодных для кипования, и мелкий, с средневзвешенным диаметром частиц до 3 мм для производства удобрительных субстратов [3]. Применение предложенных эмпирических зависимостей даёт относительное отклонение полученных значений от фактических результатов не более 5%, что приемлемо для практических расчётов и даёт возможность заранее прогнозировать плотность насыпной массы γ по средневзвешенному диаметру частиц D.

2. Испытания опытно-промышленного валково-дискового грохота показали, что существующий скоростной режим вращения дисков с последовательным нарастанием числа оборотов неприемлем для получения продукта, пригодного к кипованию. Поэтому необходим анализ скоростного режима вращения дис-

ков с последующей проверкой предложенных решений на модернизированном валково-дисковом грохоте.

Библиографический список

1. *Кислов Н.В.* Применение сепараторов пней и валково-дисковых грохотов для подготовки торфа к брикетированию /Н.В. Кислов, М.В. Молочко // Обзор информ. М.: ЦБНТИ Минтопрома РСФСР, 1986. – 33 с.
2. *Горфин О.С.* Машины и оборудование по переработке торфа. Ч1. Производство торфяных брикетов: уч. пособ./ О.С. Горфин, А.В. Михайлов // Изд-е 2-е, доп. и перераб. – Тверь: ТвГТУ, 2013. – 248 с.
3. *Башилов А.М.* Обоснование выбора способа и типа грохота для сортировки на классы крупности фрезерного малоразложившегося торфа / А.М. Башилов // Свойства, структура, методы изучения торфа и слабых грунтов. Мат. научн.-техн. межд. конф. – Тверь: ТвГТУ, 1999. – С. 103–106.
4. *Башилов А.М.* Исследование зависимости плотности насыпной массы фрезерного торфа от его фракционного состава / А.М. Башилов // Развитие механики торфа и научных основ создания машин и оборудования торфяного производства. – Матер. научн.-техн. конф. – Тверь: ТвГТУ, 2001. – С. 12–17.
5. *Башилов А.М.* Патент на изобретение РФ № 2184759. Способ подготовки фрезерного торфа для кипования /А.М. Башилов, В.И. Горячёв // Опубл. 10.07.2002. – Бюл. № 19.

УДК ???

Васильев А.Н.

Васильев Алексей Николаевич, д. т. н., профессор кафедры механизации природообустройства и ремонта машин (МПРМ) ТвГТУ. (4822)789470

ОБОСНОВАНИЕ ВЕЛИЧИНЫ ПЕРЕХОДЯЩИХ ЗАПАСОВ ТОРФА НА ПРЕДПРИЯТИИ

Аннотация. В статье показана программа для расчета надежности реализации плана торфяной компании. В ходе эксперимента было смоделировано 20 лет работы компании. Объем запасов торфа на предприятии составляет не более 30% от плана компании.

Ключевые слова: добыча торфа, резерв торфа, поставки торфа.

Vasilyev A.N.

Vasiliev Alexey N. DrSc., Professor of the Department of Environmental Engineering of Mechanization and Repair Machinery (MPRM) TvGTU. (4822) 789470

REASONS FOR SIZE OF RESIDUAL INVENTORIES OF PEAT OF A COMPANY

Abstract. The article shows the program for calculating the reliability of the implementation plan of a company. In the course of the experiment 20 years of the company was simulated. The amount of peat reserves in enterprise is not more than 30% of company's plan.

Key words: extraction of peat, peat reserve, supply of peat.

Зависимость основных технологических показателей производства фрезерного торфа от погодных условий сезона существенна. Выбор наиболее целесообразной плановой величины сезонного сбора торфа позволяет свести к минимуму зависимость поставок продукции потребителю от метеорологических условий.

Погодные условия в сезонах неодинаковые, следовательно, возможное число циклов и сборы торфа с одного гектара будут различными. Вместе с тем потребители должны быть обеспечены необходимым количеством торфа каждый год вне зависимости от метеорологических условий. Такую обеспеченность можно создать путём установления проектных показателей либо применительно к погодным условиям самого худшего за многолетний период сезона, либо применительно к некоторому среднему сезону.

Выполнение плана поставок торфа потребителям компенсируется за счёт резерва создаваемого путём перевыполнения плана в те сезоны, которые по своим погодным условиям более благоприятны, чем принятый средний.

Представление сезонного сбора и резервного запаса R торфа как дискретной случайной величины позволяет рассматривать последовательность значений резерва $_i$ в качестве однородной цепи Маркова, имеющей конечное число состояний.

Составим матрицу вероятностей движения резерва торфа на предприятии.

		Резерв торфа на конец сезона в единицах δ					
		0	1	2	...	M_{-1}	M
Резерв торфа на начало сезона в единицах d	0	H_i	P_{i+1}	P_{i+2}	...	P_{i+M-1}	F_{i+M}
	1	H_{i-1}	P_i	P_{i+1}	...	P_{i+M-2}	F_{i+M-1}
	2	H_{i-2}	P_{i-1}	P_i	...	P_{i+M-3}	F_{i+M-2}
	...	...	...	...	...	...	...
	M_{-1}	H_{i-M+1}	P_{i-M+2}	P_{i-M+1}	...	P_i	F_{i+1}
	M	H_{i-M}	P_{i-M+1}	P_{i-M+2}	...	P_{i-1}	F_i

Элементам матрицы присвоены обозначения:

$$i = \frac{q_p}{\delta}, \quad \mathrm{M} = \left[\frac{R_{max}}{\delta}\right],$$

где q_p – расчетное (плановое) значение сезонного сбора, т/га; δ – единичный объем или «шаг квантования» значений сезонного сбора для замены непрерывного распределения дискретным, т/га; R_{max} – максимальная величина резерва торфа на предприятии, т/га.

$$H^m = P\,(\tilde{q} < q_{\ i}) = \int_{-\infty}^{q_i} f(q)dq = \Phi^*\left(\frac{q_i - \overline{q}}{\sigma}\right);$$

вероятность того, что значение сезонного сбора будет меньше заданного

$$P_i = P\,(q^T) = \int_{\delta^*(i+\frac{1}{2})}^{\delta^*(i+\frac{1}{2})} f(q)dq\,;$$ – вероятность того,

что значение сезонного сбора равно заданному

$$F_i = P\,(^H > q_i) = 1 - \int_{-\infty}^{q_i} f(q)dq = 1 - \Phi^*\left(\frac{q_i - \overline{q}}{\sigma}\right).$$ –

вероятность того, что значение сезонного сбора больше заданного.

По формуле полной вероятности из матрицы движения резерва составим систему уравнений для вычисления вероятности $P\,(R_j)$

$$P(R_0) = P(R_0) \cdot H_i + P(R_1) \cdot H_{i-1} + P(R_2) \cdot H_{i-2} + \ldots + P\,(R_M) \cdot H_{i-M}$$

$$P(R_1) = P(R_0) \cdot P_{i+1} + P(R_1) \cdot P_i + P(R_2) \cdot P_{i-1} + \ldots + P(R_M) \cdot P_{i-M+1}$$

.....

$$P(R_M) = P(R_0) \cdot \mathrm{F}_{i+M} + P(R_1) \cdot \mathrm{F}_{i+M-1} + P(R_2) \cdot F_{i+M-2} + \ldots + P(R_M) \cdot \mathrm{F}_i$$

Матрица вероятности движения резерва торфа на предприятии или первое уравнение системы частично читается так:

величина резерва на конец сезона будет равна нулю в том случае, если резерв торфа на начало сезона был равен нулю и план текущего сезона выполнен не свыше расчётного значения (q_p) или если резерв торфа на начало сезона был равен 1δ и план текущего сезона выполнен не свыше q_p – δ, или если резерв торфа на начало сезона был равен 2δ и план текущего сезона выполнен P_{i-2} не свыше q_p – 2δ и т. д.

Решив систему линейных алгебраических уравнений, получим распределение вероятностей $P\,(R_j)$ резерва торфа. Вероятность недовыполнения плана поставок торфа потребителю определяется:

$$\mu = P(R_0) \cdot H_{i-1} + P(R_1) \cdot H_{i-2} + \ldots + P(R_M) \cdot H_{i-M-1}.$$

Тогда уровень надёжности поставки фрезерного торфа равен

$$\eta = 1 - \mu.$$

Пример. Определить надёжность поставки торфа потребителю и среднюю величину резерва торфа, если распределение сезонного сбора торфа q_c находится в согласии с нормальным законом с параметрами $\overline{q}_c = 400$ т/га, $\sigma_q = 80$ т/га. Расчётное значение сезонного сбора принять $q_{ср} = \overline{q}$. Величина максимального резерва торфа не ограничена.

Построим кривую нормального распределения сезонного сбора с параметрами $\overline{q}_c = 400$ т/га, $\sigma_q = 80$ т/га (рис. 1). Необходимые для построения кривой данные определяем по формулам [1]

$$q = \overline{q} + u\sigma; \quad f(q) = \frac{f(u)}{\sigma}.$$

Результаты расчёта сведём в табл. 1.

Таблица 1. Параметры кривой нормального распределения сезонного сбора

Table 1. The parameters of the normal distribution curve of the seasonal collection

u	–3	–2	–1	0	1	2	3
q	160	240	320	400	480	560	640
$f(q)$	0,0044	0,054	0,242	0,3989	0,242	0,054	0,0044
$10^3 f(q)$	0,055	0,675	3,03	4,98	3,03	0,675	0,055

$$f(u) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{\frac{-u^2}{2}}$$

u – нормальные случайные величины.

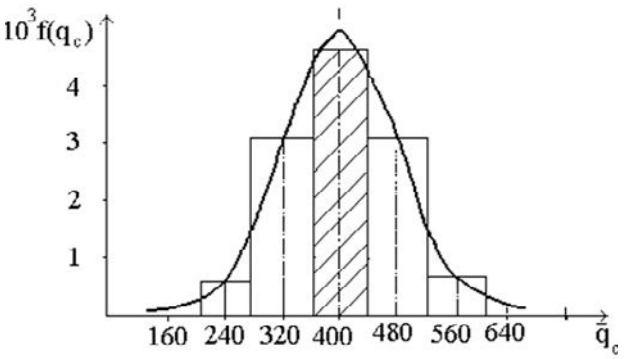


Рис. 1. Гистограмма распределения сезонного сбора

Fig. 1. Histogram of distribution of the seasonal collection of peat

Заменим плотность распределения $f(q)$ сезонного сбора дискретным распределением. Для этого шаг дискретности или единичную массу δ примем равной $\delta = \sigma_q = 80$ т/га (для уменьшения числа уравнений в системе). Значения случайной величины q_c и соответствующие им вероятности рассчитываются по формулам:

$$P_i = P(q_i) = \int_{\delta*(i+\frac{1}{2})}^{\delta*(i+\frac{1}{2})} f(q)dq$$

$$H_i = P(\tilde{q} < q_i) = \int_{-\infty}^{q_i} f(q)dq = \Phi^*\left(\frac{q_i - \overline{q}}{\sigma}\right)$$

$$F_i = P(\tilde{q} > q_i) = 1 - \int_{-\infty}^{q_i} f(q)dq = 1 - \Phi^*\left(\frac{q_i - \overline{q}}{\sigma}\right)$$

Результаты расчётов сведём в табл. 2.

Таблица 2. Результаты расчёта вероятностей

Table 2. Results of calculation of a probabilities

u	–3	–2	–1	0	1	2	3
q_i	160	240	320	400	480	560	640
$H_i = P(\tilde{q} < q_i)$	0,0014	0,0228	0,1587	0,5	0,8413	0,9772	0,9986
$F_i = P(\tilde{q} > q_i)$	0,9986	0,9772	0,8413	0,5	0,1587	0,0228	0,0014
$P(q_i)$	0,006	0,0606	0,2417	0,383	0,2417	0,0606	0,006

$$P(\tilde{q} < 160) = \Phi^*\left(\frac{160-400}{80}\right) = \Phi^*(-3) = 0{,}0014.$$

$$F_i = P(\tilde{q} > 320) = 1 - \Phi^*\left(\frac{q-\overline{q}}{\sigma}\right) = 1 - \Phi^*\left(\frac{320-400}{80}\right) =$$

$$= 1 - \Phi^*(-1) = 1 - 0{,}1587 = 0{,}8413.$$

$$P(q_i) = P(400) = \Phi^*\left(\frac{440-400}{80}\right) - \Phi^*\left(\frac{360-400}{80}\right) =$$

$$= \Phi^*(0{,}5) - \Phi^*(-0{,}5) = 0{,}6915 - 0{,}3085 = 0{,}3830.$$

$$P(320) = \Phi^*\left(\frac{360-400}{80}\right) - \Phi^*\left(\frac{280-400}{80}\right) =$$

$$= \Phi^*(-0{,}5) - \Phi^*(-1{,}5) =$$
$$= 0{,}3085 - 0{,}0668 = 0{,}2417.$$

Составим матрицу вероятностей движения резерва торфа на предприятии (табл. 3).

Таблица 3. Матрица вероятностей движения резерва торфа

Table 3. Matrix of probability of the peat reserves movements

		Резерв торфа на конец сезона в единицах δ			
		0	1	2	3
Резерв торфа на начало сезона в единицах d	0	0,5	0,2417	0,0606	0,0014
	1	0,1587	0,383	0,2417	0,228
	2	0,0228	0,2417	0,383	0,1587
	3	0,0014	0,0606	0,2417	0,5

Составим систему уравнений для вычисления вероятностей движения резерва торфа на предприятии.

$$\begin{cases} P(R_0)=P(R_0)\cdot 0{,}5+P(R_1)\cdot 0{,}1587+P(R_2)\cdot 0{,}0228+P(R_3)\cdot 0{,}0014 \\ P(R_1)=P(R_0)\cdot 0{,}2471+P(R_1)\cdot 0{,}383+P(R_2)\cdot 0{,}2417+P(R_3)\cdot 0{,}0606 \\ P(R_2)=P(R_0)\cdot 0{,}0606+P(R_1)\cdot 0{,}2417+P(R_2)\cdot 0{,}383+P(R_3)\cdot 0{,}2417 \\ P(R_0)+P(R_1)+P(R_2)+P(R_3)=1 \end{cases}$$

Перенесём неизвестные в одну сторону.

$$\begin{cases} -0{,}5\cdot P(R_0)+0{,}1587\cdot P(R_1)+0{,}0228\cdot P(R_2)+0{,}0014\cdot P(R_3)=0 \\ 0{,}2417\cdot P(R_0)-0{,}6170\cdot P(R_1)+0{,}2417\cdot P(R_2)+0{,}0606\cdot P(R_3)=0 \\ 0{,}0606\cdot P(R_0)+0{,}2417\cdot P(R_1)-0{,}6170\cdot P(R_2)+0{,}2417\cdot P(R_3)=0 \\ P(R_0)+P(R_1)+P(R_2)+P(R_3)=1 \end{cases}$$

Каждое уравнение делим на коэффициент при $P\ (R_0)$.

$$\begin{cases} P(R_0)-0{,}3174\cdot P(R_1)-0{,}0456\cdot P(R_2)-0{,}0028\cdot P(R_3)=0 \\ P(R_0)-2{,}5528\cdot P(R_1)+P(R_2)+0{,}25072\cdot P(R_3)=0 \\ P(R_0)+3{,}9884\cdot P(R_1)-10{,}1815\cdot P(R_2)+3{,}9884\cdot P(R_3)=0 \\ P(R_0)+P(R_1)+P(R_2)+P(R_3)=1 \end{cases}$$

Вычтем первое уравнение из остальных.

$$\begin{cases} P(R_0)-0{,}3174\cdot P(R_1)-0{,}0456\cdot P(R_2)-0{,}0028\cdot P(R_3)=0 \\ -2{,}2356\cdot P(R_1)+1{,}0456\cdot P(R_2)+0{,}25352\cdot P(R_3)=0 \\ 4{,}3058\cdot P(R_1)-10{,}1359\cdot P(R_2)+3{,}9912\cdot P(R_3)=0 \\ 1{,}3174\cdot P(R_1)+1{,}0456\cdot P(R_2)+1{,}0028\cdot P(R_3)=1 \end{cases}$$

Делим на $P\ (R_1)$ начиная со второго уравнения.

$$\begin{cases} P(R_0)-0{,}3174\cdot P(R_1)-0{,}0456\cdot P(R_2)-0{,}0028\cdot P(R_3)=0 \\ P(R_1)-0{,}46775\cdot P(R_2)-0{,}11341\cdot P(R_3)=0 \\ P(R_1)-2{,}354\cdot P(R_2)+0{,}92694\cdot P(R_3)=0 \\ P(R_1)+0{,}79368\cdot P(R_2)+0{,}7612\cdot P(R_3)=0{,}75907 \end{cases}$$

Вычтем второе уравнение из третьего и четвёртого.

$$\begin{cases} P(R_0)-0{,}3174\cdot P(R_1)-0{,}0456\cdot P(R_2)-0{,}0028\cdot P(R_3)=0 \\ P(R_1)-0{,}46775\cdot P(R_2)-0{,}11341\cdot P(R_3)=0 \\ -1{,}88625\cdot P(R_2)+1{,}04035\cdot P(R_3)=0 \\ 1{,}26143\cdot P(R_2)+0{,}87461\cdot P(R_3)=0{,}75907 \end{cases}$$

Каждое уравнение, начиная с третьего, делим на $P(R_2)$.

$$\begin{cases} P(R_0)-0{,}3174\cdot P(R_1)-0{,}0456\cdot P(R_2)-0{,}0028\cdot P(R_3)=0 \\ P(R_1)-0{,}46775\cdot P(R_2)-0{,}11341\cdot P(R_3)=0 \\ P(R_2)-0{,}55154\cdot P(R_3)=0 \\ P(R_2)+0{,}69335\cdot P(R_3)=0{,}60175 \end{cases}$$

Вычтем третье уравнение из четвёртого.

$$\begin{cases} P(R_0)-0{,}3174\cdot P(R_1)-0{,}0456\cdot P(R_2)-0{,}0028\cdot P(R_3)=0 \\ P(R_1)-0{,}46775\cdot P(R_2)-0{,}11341\cdot P(R_3)=0 \\ P(R_2)-0{,}55154\cdot P(R_3)=0 \\ 1{,}24489\cdot P(R_3)=0{,}60175 \end{cases}$$

Обратный ход.
$P(R_3) = 0{,}60175 / 1{,}24489 = 0{,}48338$
$P(R_2) = 0{,}55154 \cdot 0{,}48338 = 0{,}2666$
$P(R_1) = 0{,}46775 \cdot 0{,}2666+0{,}11341 \cdot 0{,}48338 = 0{,}1795$
$P(R_0) = 0{,}3174 \cdot 0{,}1795+0{,}0456 \cdot 0{,}2666+0{,}0028 \cdot 0{,}48338 = 0{,}07052$

Проверка.

$P(R_0) + P(R_1) + P(R_2) + P(R_3) = 0{,}07052 + 0{,}1795 + 0{,}2666 + 0{,}48338 = 1$

Запишем закон распределения резерва торфа.

Таблица 4. Распределение резерва торфа на предприятии

Table 4. Distribution of peat reserves at a company

δ	0	1	2	3
R_i, т/га	0	80	160	240
$P(R_i)$	0,07052	0,1795	0,2666	0,48338

Средний размер резерва

$$\overline{R} = \sum R_i \cdot P(R_i) = 0\cdot 0{,}07052 + 80\cdot 0{,}1795 + 160\cdot$$
$$\cdot 0{,}2666 + 240\cdot 0{,}48338 = 173{,}0 \ \textit{т/га.}$$

Средний размер резерва в долях от среднего

$$\overline{R}_{П} = \frac{\overline{R}}{q} = \frac{173{,}0}{400} = 0{,}433, \text{ т. е. } \overline{R} = 0{,}433\overline{q}.$$

Вероятность недовыполнения поставок торфа потребителю

$$\mu = P(R_0)\cdot H_{i-1} + P(R_1)\cdot H_{i-2} + P(R_2)\cdot H_{i-3} =$$
$$= 0{,}07052\cdot 0{,}1587 + 0{,}1795\cdot 0{,}0228 +$$
$$+0{,}2666\cdot 0{,}0014 = 0{,}01565.$$

Надёжность поставки торфа потребителю составит

$$\eta = 1 - 0{,}01565 = 0{,}98435.$$

Расчеты выполнялись по 54 метеорологическим станциям с определением суммарной эффективной испаряемости за сезон. Л.М. Малковым установлена связь между суммарной эффективной испаряемостью за сезон и сезонным сбором. Число лет наблюдений по метеостанциям составляло от 54 до 66. Первоначально если коэффициент вариации суммарной эффективной испаряемости за сезон составлял менее $v \le 0{,}3$, то использовался закон нормального распределения; если $v > 0{,}3$, принималось гамма распределения с целочисленными параметрами. Затем для всех метеостанций применялось эмпирическое SB-распределение Джонсона без фиксированного начала и конца. Моделировалось 20 лет работы предприятия.

Рассчитывалось число лет невыполнения плана предприятием, минимальная, максимальная и средняя величина недопоставки торфа потребителю с надежностью 0,95 и 0,99 при ограничении ежегодной величины перевыполнения плана (величина переходящего

остатка или резерв торфа на предприятии) 0, 10, 20, 30, … 100%. С увеличением величины переходящих запасов торфа на предприятии возрастают «замороженные» средства.

Рациональная величина переходящих запасов торфа на предприятии составила не более 30% плана предприятия. Выше приведен пример (часть большой программы), который будет использоваться магистрами на первом этапе при ручном счете для обоснования уровня надежности производственной программы автотранспортного предприятия.

Библиографический список

1. *Гмурман В.Е.* Руководство к решению задач по теории вероятностей и математической статистике: учеб. пособие для втузов, 9-е изд. стер. – М.: Высшая школа, 2004. – 404 с.

УДК 622.23.05:622.7

Фомин К.В.

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

Крылов К.С.

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

Харламов В.Е.

Харламов Вячеслав Евгеньевич, к. т. н., доцент кафедры «Механизации природообустройства и ремонта машин», ТвГТУ

Fomin K.V.

Prof., Chair, «Mechanization of environmental and repair machines» of the Tver State Technical University (TSTU) . 170023, Tver, Academicheskaya, 12

Krylov K.S.

Associate Professor, «Mechanization of environmental and repair machines»
TSTU

Harlamov V.E.

Associate Professor, «Mechanization of environmental and repair machines»
TSTU

МЕТОДИКА ОЦЕНКИ СКОРОСТНОЙ ХАРАКТЕРИСТИКИ ДВИГАТЕЛЯ ТРАКТОРА ТОРФЯНОГО ФРЕЗЕРУЮЩЕГО АГРЕГАТА ПРИ ВЫПОЛНЕНИИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ОПЕРАЦИИ

Аннотация. В процессе эксплуатации торфяных фрезерующих агрегатов нагрузки на их рабочих органах имеют резко переменный, случайный характер, который обусловлен случайным изменением физико-механических свойств торфа, профиля карты, глубины фрезерования, угловой скорости вращения рабочего органа, наличием древесных включений и многими другими факторами. Эти факторы приводят к снижению энергетических показателей работы двигателя трактора.
В статье предложена методика оценки скоростной характеристики двигателя на стадии проектирования с учетом случайного характера нагрузки на рабочем органе при выполнении технологической операции.
Данный подход дает возможность учитывать влияние динамических свойств двигателя, фрезерующего агрегата и вероятностных характеристик нагрузки на рабочем органе на технико-экономические показатели работы фрезерующего агрегата.

Ключевые слова: машинно-тракторный, агрегат торфяной фрезерующий агрегат, динамика двигателя, плотность распределения, угловая скорость.

METHODOLOGY OF ESTIMATION OF SPEED DESCRIPTION OF ENGINE TRACTORS OF PEAT MILLING AGGREGATE AT IMPLEMENTATION TO TECHNOLOGICAL OPERATION

Abstract. In operating a peat milling units load on their working bodies are sharply variable, random, which is caused by the random change of physico-mechanical properties of peat, profile card, depth of cut, the angular velocity of rotation of the working body, the presence of charcoal inclusions and many other factors. These factors lead to reduction in the energy performance of the engine of the tractor.
In the article the technique of an estimation speed of the engine at the design stage taking into account the random nature of the load on the working body when performing technological operations
This approach enables to consider the influence of the dynamic properties of the en-gine, the milling Assembly and the probabilistic characteristics of the load on the working body on the technical and economic performance of the milling Assembly at the design stage.

Key words: machine-tractor unit, peat milling aggregate, the dynamics of the engine, distribution density, angular velocity .

В процессе эксплуатации торфяных фрезерующих агрегатов нагрузка на их рабочих органах имеет резко переменный, случайный характер, который обусловлен случайным изменением физико-механических свойств торфа, профиля карты, глубины фрезерования, угловой скорости вращения рабочего органа, наличием древесных включений и многими другими факторами.

Известно [1, 2], что при работе в таких условиях энергетические показатели двигателя трактора резко снижаются. Поэтому актуальным вопросом является разработка методов анализа работы двигателя еще на стадии проектирования фрезерующего агрегата.

При работе двигателя трактора в составе торфяного фрезерующего агрегата для установившегося режима при выполнении технологической операции динамические процессы могут быть описаны с помощью уравнения [1, 3]

$$I_0 \frac{d\omega_\partial}{dt} = M_\partial(\omega_\partial) - \bar{M}_c(\omega_\partial) - M_{cn}(t), \quad (1)$$

где I_0 – приведенный момент инерции двигателя и движущихся частей агрегата; ω_∂ – угловая скорость двигателя; $M_\partial(\omega_\partial)$ – крутящий момент двигателя; $\bar{M}_c(\omega_\partial)$ – среднее значение приведенного суммарного момента сопротивления на валу двигателя; $M_{cn}(t)$ – переменное, случайное значение момента со средним значением равным нулю.

Учитывая, что время корреляции момента сопротивления на фрезе мало [4] по сравнению со временем переходного процесса в двигателе внутреннего сгорания, то, как показано в [5], для анализа выражения (1) можно воспользоваться методом, основанным на замене реального процесса внешних воздействий эквивалентным δ-коррелированным. В этом случае плотность распределения *w* изменения угловой скорости вращения, которая описывается уравнением (1), может быть получена на основании уравнения Фоккера–Планка–Колмогорова [5]:

$$\frac{\partial w}{\partial t} = \frac{s}{2}\frac{\partial^2 w}{\partial \omega^2} + \frac{\partial}{\partial \omega}\left[F(\omega_\partial) w\right], \quad (2)$$

где $F(\omega) = -\left(M_\partial(\omega_\partial) - \bar{M}_c(\omega_\partial)\right)/I_0$; $s \approx D_m / I_0^2$ – интенсивность белого шума; D_m – дисперсия момента сопротивления на рабочем органе.

Из уравнения (2) можно получить стационарное распределение, если положить $\partial w/\partial t = 0$ и решить его относительно *w*, учитывая граничные условия $w(-\infty, t) = w(\infty, t) = 0$ [5]

$$w(\omega_\partial) = C \exp\left[\frac{2}{I_0 s}\int_0^{\omega_\partial}\left(M_\partial(\nu) - \bar{M}_c\right) d\nu\right]. \quad (3)$$

Постоянная С определится из условия нормировки плотности вероятности $w(\omega_4)$ на $(-\infty, \infty)$

$$C = \frac{1}{\int_{-\infty}^{\infty} w(\omega_\partial) d\omega_\partial} = \frac{1}{\int_{-\infty}^{\infty} \exp\left[\frac{2}{I_0 s}\int_0^{\omega_\partial}\left(M_\partial(\nu) - \bar{M}_c\right) d\nu\right] d\omega_\partial}. \quad (4)$$

Для крутящего момента двигателя может быть использована квадратичная аппроксимация безрегуляторной и корректорной ветвей и линейная для регуляторной ветви скоростной характеристики [1, 3]

$$\begin{cases} M_\partial(\omega_\partial) = a_0 + b_0\omega_\partial + c_0\omega_\partial^2 & при \quad \omega_m > \omega_\partial > \omega_0 \\ M_\partial(\omega_\partial) = a_k + b_k\omega_\partial + c_k\omega_\partial^2 & при \quad \omega_n > \omega_\partial > \omega_m, \\ M_\partial(\omega_\partial) = a_p + b_p\omega_\partial & при \quad \omega_x > \omega_\partial > \omega_m \end{cases}$$

где a_0, b_0, c_0 – коэффициенты аппроксимации безрегуляторного участка характеристики; a_k, b_k, c_k – коэффициенты аппроксимации корректорного участка; a_p, b_p – коэффициенты, относящиеся к регуляторному участку;

$$a_0 = M_m + c_0\omega_m^2;\ b_0 = -2c_0\omega_m;\ c_0 = \frac{M_0 - M_m}{(\omega_0 - \omega_m)^2};$$

$$a_k = M_m + c_k\omega_m^2;\ b_k = -2c_k\omega_m;\ c_k = \frac{M_n - M_m}{(\omega_n - \omega_m)^2};$$

$$a_p = \frac{M_n\omega_x}{(\omega_x - \omega_n)};\ b_p = -\frac{M_n}{(\omega_x - \omega_n)};$$

где M_n, ω_n – номинальное значение момента и угловой скорости двигателя; ω_x – угловая скорость на холостом ходу; M_m, ω_m – точка, соответствующая концу корректорного участка характеристики двигателя; M_0, ω_0 – крутящий момент и угловая скорость, соответствующая минимально устойчивому режиму работы двигателя.

Специфической особенностью торфяных фрезерующих агрегатов является то, что мощность, идущая на привод рабочего органа, как правило, значительно больше мощности, необходимой для обеспечения поступательного движения агрегата. Это связано с малыми скоростями движения трактора. В этом случае влияние на работу двигателя переменного характера момента нагружения со стороны ходовых устройств меньше, чем от нагрузок на рабочем органе. Поэтому для инженерных расчетов приведенный момент сопротивления передвижению трактора и агрегата может быть принят как постоянная величина, рассчитываемая по известным методикам [6].

Момент сопротивления на валу двигателя $\bar{M}_A(\omega_4)$ с учетом момента на рабочем органе фрезерующего агрегата и момента от сил сопротивления перемещению трактора и фрезера может быть представлен в виде

$$\bar{M}_A(\omega_4) \approx A_c + B_c\omega_4^2,$$

где [6] $A_c = M_x + PA_p$, $B_c = PB_p$,

$$P = \frac{BHi_xR(1-\varepsilon_b)}{i_p};$$

$$A_p = A_T(1-\varepsilon) + A_П\varepsilon;$$

$$B_p = \frac{\left[\gamma_T(1-\varepsilon) + \gamma_Д\varepsilon\right]\left[\left(i_xR(1-\varepsilon_b)\right)^2 \mp 2i_xR(1-\varepsilon_b)i_p\sin\alpha_p + i_p^2\right.}{2\cdot 10^3},$$

где M_x – приведенный момент сопротивления передвижению трактора и агрегата; B – ширина захвата рабочего органа; H – глубина фрезерования; R – радиус ведущей звездочки (колеса) трактора; i_x – передаточное отношение трансмиссии трактора по ходу; i_p – передаточное отношение привода рабочего органа; ε_b – коэффициент буксования [6]; $A_Т$ – удельный расход энергии на фрезерование торфа [6]; $A_П$ – удельный расход энергии фрезерования древесных включений [6]; ε – средняя пнистость; γ_T – плотность торфа; $\gamma_Д$ – плотность древесины; α_p – координатный угол силы реакции залежи.

Удельные расходы энергии на фрезерование торфа и древесины являются функциями от средней толщины стружки, которая определяется кинематикой рабочего органа [6]

$$\delta_{cp} = f_\delta(c) = f_\delta\left(\frac{2\pi i_xR(1-\varepsilon)}{zi_p}\right).$$

С учетом характеристики двигателя и момента сопротивления на рабочем органе для плотности распределения скорости вала двигателя из (3) получим:

при $\omega_m > \omega_4 > \omega_0$

$$w(\omega_4) = C\exp\left[\frac{2}{I_0s}\left((c_0 - B_c)\frac{\omega_4^3}{3} + b_0\frac{\omega_4^2}{2} + (a_0 - A_c)\omega_4\right)\right];$$

при $\omega_n > \omega_4 > \omega_m$

$$w(\omega_\partial) = C\exp\left[\frac{2}{I_0 s}\left((c_0 - B_c)\frac{\omega_m^3}{3} + b_0\frac{\omega_m^2}{2} + (a_0 - A_c)\omega_m\right) + \right.$$

$$\left. + \frac{2}{I_0 s}\left((c_k - B_c)\frac{\omega_\partial^3}{3} + b_k\frac{\omega_\partial^2}{2} + (a_k - A_c)\omega_\partial\right) - \frac{2}{I_0 s}\left((c_k - B_c)\frac{\omega_m^3}{3} + b_k\frac{\omega_m^2}{2} + (a_k - A_c)\omega_m\right)\right];$$

при $\omega_x > \omega_\partial > \omega_n$

$$w(\omega_\partial) = C\exp\left[\frac{2}{I_0 s}\left((c_0 - B_c)\frac{\omega_m^3}{3} + b_0\frac{\omega_m^2}{2} + (a_0 - A_c)\omega_m\right) + \right.$$

$$+ \frac{2}{I_0 s}\left((c_k - B_c)\frac{\omega_n^3}{3} + b_k\frac{\omega_n^2}{2} + (a_k - A_c)\omega_n\right) - \frac{2}{I_0 s}\left((c_k - B_c)\frac{\omega_m^3}{3} + b_k\frac{\omega_m^2}{2} + (a_k - A_c)\omega_m\right) +$$

$$\left. + \frac{2}{I_0 s}\left((b_p - B_c)\frac{\omega_4^2}{2} + (a_p - A_c)\omega_4\right) - \frac{2}{I_0 s}\left((b_p - B_c)\frac{\omega_n^2}{2} + (a_p - A_c)\omega_n\right)\right]. \quad (5)$$

Постоянная интегрирования C определится из (4).

Дисперсия момента сопротивления на рабочем органе торфяного фрезерующего агрегата D_m может быть определена на основе предложенных моделей формирования нагрузки на фрезе при взаимодействии с торфом [7, 8]

$$M_y(\varphi) = \sum_{m=1}^{M}\sum_{n=-\infty}^{\infty} M_{nm}(\varphi - \varphi_{nm}; P_{nm}),$$

где M – число плоскостей резания; n – номер импульса нагружения на m-й плоскости резания; $M_{nm}(\varphi)$ – функция, описывающая изменения момента сопротивления на одиночном режущем элементе в m-й плоскости резания; φ_{nm} – момент возникновения n-го импульса нагрузки на m-й плоскости резания; P_{nm} – случайные параметры n-го импульса на m-й плоскости резания (амплитуда, длительность или параметры их определяющие – физико-механические свойства торфа, такие как его предельное напряжение сдвига и плотность, глубина фрезерования, угловая скорость фрезы и поступательная скорость агрегата).

При взаимодействии рабочего органа с древесными включениями момент сопротивления равен [7, 9]

$$M_{dy}(\varphi) = \sum_{n=-\infty}^{\infty}\sum_{s=1}^{S} M_{ns}(\varphi - \varphi_{ns}; P_{ns}),$$

где S – число актов взаимодействия режущих элементов с n-м древесным включением; $M_{ns}(\varphi)$ – функция, описывающая изменения момента нагружения на одиночном ноже при s-м акте взаимодействия с n-м древесным включением; φ_{ns} – момент возникновения импульса нагрузки при s-м акте взаимодействия режущего элемента с n-м древесным включением; P_{ns} – случайные параметры импульса (амплитуда, момент возникновения и длительность) при s-м акте взаимодействия режущего элемента с n-м древесным включением.

Спектральная плотность момента сопротивления на рабочем органе при взаимодействии с торфом равна [10]

$$S_T(\omega) = \frac{2}{\varphi_T}\left(\frac{M}{2}\sum_{q=1}^{Q}\left[\frac{{}^2 f_1(\omega; P)}{P_q^2}\right]_m D_q - \frac{M}{2}\sum_{q=1}^{Q}\left[\frac{{}^2 f_2(\omega; P)}{P_q^2}\right]_m D_q + \right.$$

$$+ \left\{ f_1(\omega; m_q) + \frac{1}{2}\sum_{q=1}^{Q}\left[\frac{{}^2 f_2(\omega; P)}{P_q^2}\right]_m D_q \right\}\sum_{m=1}^{M}\sum_{l=1}^{M}\exp\left(-j\omega(\varphi_m - \varphi_l)\right)\frac{2\pi}{\varphi_T}\sum_{r=-\infty}^{\infty}\delta\left(\omega - \frac{2\pi r}{\varphi_T}\right) +$$

$$+\sum_{m=1}^{M}\sum_{l=1}^{M}\sum_{q<s}\left[\frac{{}^{2}f_2(\omega;P)}{P_q\ P_s}\right]_m K_{mlqs}\exp\left(-j\omega(\varphi_m-\varphi_l)\right)+$$

$$+\lim_{N\to\infty}2\sum_{p=1}^{2N}\left(1-\frac{p}{2N+1}\right)\mathrm{Re}\sum_{m=1}^{M}\sum_{l=1}^{M}\sum_{q<s}\left[\frac{{}^{2}f_3(\omega;P)}{P_q\ P_s}\right]_m\times$$

$$\times K_{qmlsp}\exp\left(-j\omega(\varphi_m-\varphi_l)\right)\exp\left(-j\omega p\varphi_T\right)\Bigg),\ \omega\neq 0.$$

где введены следующие обозначения:

$f_1(\omega;P)=\left|S_0(\omega;P)\right|^2$,

$f_2(\omega;P)=S_0(\omega;P_m)S_0^*(\omega;P_l)$,

$f_3(\omega;P)=S_0(\omega;P_{nm})S_0^*\left(\omega;P_{l;n-p}\right)$,

φ_T – угол между соседними ножами в одной плоскости резания; Q – число параметров импульвов; m_q, D_q, K_{mlqs}, K_{qmlsp} – соответственно, математическое ожидание, дисперсия, корреляционные и взаимные корреляционные функции параметров импульсов; $\delta(\omega)$ – дельта-функция; φ_m – угол сдвига между режущими элементами, находящимися на первой и m-й плоскостях резания; $S_0(\omega)$ – спектр одиночного импульса нагружения на ноже

$$S_0(\omega)=\int_0^{\varphi_\tau}M(\varphi)\exp(-j\omega\varphi)d\varphi,$$

$M(\varphi)$ – функция, описывающая изменение момента нагружения на одиночном режущем элементе в пределах угла контакта с залежью; φ_τ – угол контакта режущего элемента с залежью.

Спектральная плотность при взаимодействии рабочего органа с древесными включениями может быть записана [11]

$$S_D(\omega)=2\lambda\sum_{k=1}^{K}\sum_{l=1}^{L}\sum_{i=1}^{I}P_kP_lP_i\sum_{\delta=0}^{\infty}P(\chi_{kli}=\delta)\sum_{\chi=1}^{\delta}\sum_{z=1}^{\delta}m_1\Big\{S\left(\omega;\tau_{\chi kliH};\tau_{\chi kliK}\right)\times$$

$$\times S^*(\omega;\tau_{zkliH};\tau_{zkliK})\exp\left(-j\omega\left(t_{\chi kli}-t_{zkli}\right)\right)\Big\},\ \omega\neq 0,$$

где λ – среднее число древесных включений, попадающих на рабочий орган в единицу времени; K, L – число интервалов, на которые разбиты плотности распределения размеров древесных включений $W(d)$ и их глубин залегания $W(H)$; число I различных форм древесных включений и вероятность встретить их в залежи P_i; P_k – вероятность встречи древесного включения из интервала размеров $d_k \div d_{k+1}$ с рабочим органом; P_l – вероятность встречи древесного включения в интервале глубин залегания $H_l \div H_{l+1}$;

$$P_k=\int_{d_k}^{d_{k+1}}W(d)dd,\ P_l=\int_{H_l}^{H_{l+1}}W(H)dH,$$

$P(\chi_{kli}=\delta)$ – вероятность появления δ импульсов нагружения, обусловленных элементарными актами взаимодействия ножей с древесным включением размером d_{kcp}, глубиной залегания H_{lcp} и i-й формы, $\delta = 0,1\ldots$; $\tau_{\chi kli}=\tau_{\chi kliK}-\tau_{\chi kliH}$ – длительность χ-го импульса, обусловленного элементарным актом взаимодействия режущего элемента с древесным включением размером d_{kcp}, глубиной залегания H_{lcp} и i-й формы; $t_{\chi kli}$ – сдвиг между началом взаимодействия рабочего органа с древесным включением и χ-м импульсом нагрузки при взаимодействии с древесным включением размером d_{kcp}, глубиной залегания H_{lcp} и i-й формы; $S(\omega)$ – спектр элементарного импульса нагружения; $m_1\{\ \}$ – усреднение, связанное со случайным местом попадания древесного включения по ширине рабочего органа и формой древесного включения.

Считая статистически независимыми моменты сопротивления на рабочем органе при взаимодействии с торфом и древесными включениями для спектральной плотности суммарного момента имеем

$$S_m(\omega) = S_T(\omega) + S_D(\omega).$$

Дисперсия суммарного момента на рабочем органе равна

$$D_m = \frac{1}{2\pi}\int_0^{\infty} S_m(\omega)d\omega. \qquad (6)$$

На рис. 1 представлены плотности распределения угловой скорости вращения вала двигателя СМД–62 (трактор Т–150) при действии случайного переменного момента нагружения рассчитанные с помощью выражения (5) при различных величинах дисперсии момента D_m (1 – D_m = 500 Н²м²; 2 – D_m= 2000 Н²м²; 3 – D_m = 8 000 Н²м²; 4 – D_m = 32 000 Н²м²) и среднем значении момента, равном 540 Нм, соответствующем номинальному значению.

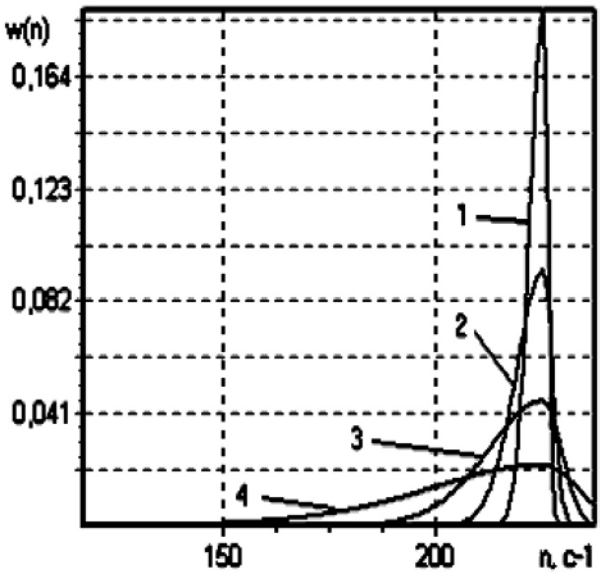


Рис. 1. Плотности распределения угловой скорости вала двигателя при различной дисперсии момента сопротивления на фрезе

Fig. 1. The density of angular distribution the speed of the motor shaft at different the dispersion of the torque on the cutter

Выходные показатели двигателя: [1]: = 237,17 рад/с; ω_n = 225,13 рад/с; ω_m = 151,83 рад/с; ω_0 = 62,82 рад/с; M_n = 540 Нм; M_m = 726 Нм; M_0 = 637,6 Нм. Приведенный момент инерции вращающихся масс двигателя – 3,6 кгм²; приведенный момент инерции ведомых частей муфты сцепления – 0,177 кгм²; приведенный к валу двигателя момент инерции вращающихся масс передачи трактора – 1,44 кгм². Моменты инерции поступательно движущихся масс трактора в зависимости от скорости передвижения: I передача – 0,9 кгм²; II передача – 1,14 кгм²; III передача – 1,44 кгм² [1].

Выражение (5) позволяет построить скоростную характеристику двигателя с учетом действия переменного случайного момента нагружения [12]. Для этого по оси ординат откладываются значения момента m_n, а по оси абсцисс значение средней угловой скорости вала двигателя при заданном значении m_n

$$m_\omega = \int_{-\infty}^{\infty} \omega_\partial w(\omega_\partial) d\omega_\partial,$$

где плотность распределения угловой скорости $w(\omega_\partial)$ рассчитывается с помощью (5) при заданном значении момента и дисперсии, определяемой выражением (6).

Скоростная характеристика двигателя при агрегатировании трактора с машиной послойно-поверхностного фрезерования МТФ-14, полученная с помощью расчета, представлена на рис. 2, где 1 – статическая характеристика двигателя 2 – характеристика при моменте с дисперсией D_m = 32 000 Н²м² (среднеквадратическое значение момента σ_m = 178,8 Нм, коэффициент вариации $V_m = \sigma_m / m_n$ меняется от 25 до 40%).

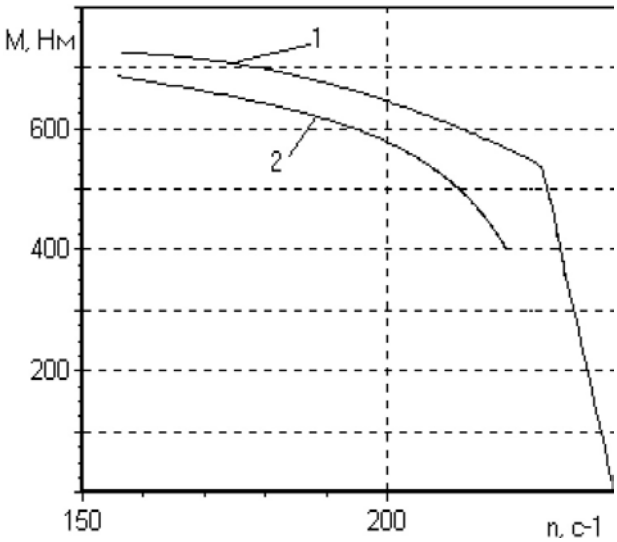


Рис. 2. Характеристика двигателя СМД-62 при действии случайного момента (расчет)

Fig. 2. The density of angular distribution the speed of the motor shaft at different the dispersion of the torque on the cutter

Для определения вероятностных характеристик момента нагружения на рабочем органе машины послойно-поверхностного фрезерования была использована методика, представленная в [13].

Скоростная характеристика двигателя, полученная экспериментально [2], при выполнении технологической операции послойно-поверхностного фрезерования ($V_M \approx 20–50\%$ [2]), представлена на рис. 3.

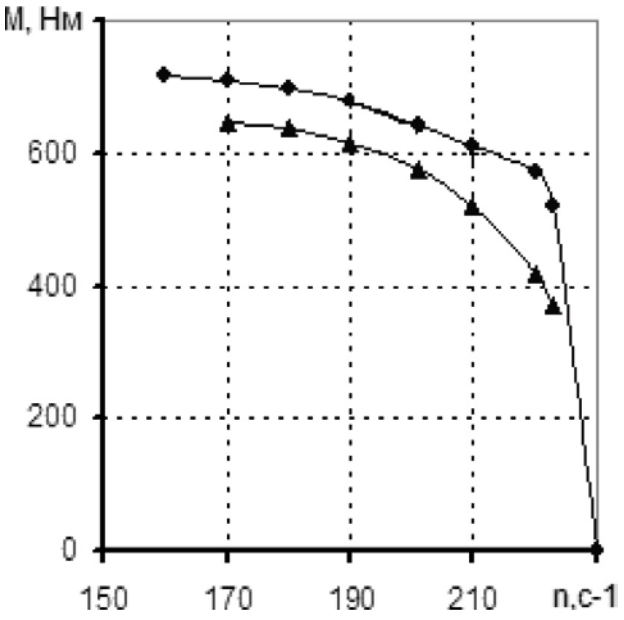


Рис. 3. Характеристика двигателя (эксперимент [2]):
—●— статическая характеристика;
—▲— послойно-поверхностное фрезерование

Fig. 3. Engine performance (experiment [2]):
—●— static characteristic;
—▲— layers-superficial milling

Плотность распределения угловой скорости вращения вала двигателя может быть использована для уточнения значений спектральных плотностей нагрузок на рабочем органе агрегата и движущего момента двигателя [3], а также позволяет определить скоростную характеристику двигателя.

Предложенный подход дает возможность учитывать влияние динамических свойств двигателя трактора, фрезера и вероятностных характеристик нагрузки на рабочем органе на технико-экономические показатели работы фрезерующего агрегата на стадии проектирования.

Библиографический список

1. *Кутьков Г.М.* Тяговая динамика трактора – М.: Машиностроение, 1980. – 215 с.
2. *Лукьянчиков А.Н.* Теоретико-экспериментальные основы агрегатирования машин торфяного производства [Текст]: дисс… д. т. н. / Лукьянчиков, Анатолий Николаевич. – Тверь, 1999. – 375 с.
3. *Самсонов Л.Н.* Элементы статистической динамики торфяных фрезерующих агрегатовУчебное пособие для вузов / Л. Н. Самсонов, К.В. Фомин – Тверь: Тверской государственный технический университет, 2005. – 168 с.
4. *Самсонов Л.Н.* Анализ характера нагружения на рабочем органе торфяного фрезерующего агрегата /Л.Н. Самсонов, К.В. Фомин // Развитие механики торфа и научных основ создания машин и оборудования торфяного производства. Материалы научно-технической конференции. – ТГТУ, 2001. – С. 106–110.
5. *Деминтберг М.Ф.* Нелинейные стохастические задачи механических колебаний – М.: Наука, 1980. – 368 с.
6. *Солопов С.Г.* Торфяные машины и комплексы / С.Г. Солопов, Л.О. Горцаколян, Л.Н. Самсонов – М.: Недра, 1981. – 415 с.
7. *Фомин К.В.* Научные основы статистической динамики торфяных фрезерующих агрегатов: Дисс… д. т. н. – Тверь, 2002. – 330 с.
8. *Фомин К.В.* Моделирование и анализ момента нагружения на рабочем органе торфяного фрезерующего агрегата // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). 2000. Т. 2. – С. 222–226.
9. *Фомин К.В.* Моделирование нагрузки на рабочем органе торфяного фрезерующего агрегата при взаимодействии с древесными включениями // В сб.: Сборник научных трудов молодых ученых ТГТУ. – Тверь, 1998. – С. 51–54.
10. *Самсонов Л.Н., Фомин К.В.* Определение вероятностных характеристик момента нагружения на рабочем органе торфяного фрезерующего агрегата // Известия высших учебных заведений. Горный журнал. 2003. № 3. – С. 106–112.
11. *Фомин К.В.* Анализ нагрузок на рабочем органе торфяного фрезерующего агрегата при взаимодействии с древесными включениями // В сб.: Торфяная отрасль и повы-

шение эффективности использования энергобиоресурсов. Материалы научно-практической конференции. – Тверской государственный технический университет. 2000. – С. 130–132.

12. *Самсонов Л.Н., Фомин К.В.* Оценка работы двигателя трактора при эксплуатации торфяного фрезерующего агрегата // В сб.: Торф в решении проблем энергетики, сельского хозяйства и экологии. Материалы международной конференции. 2006. – С. 66–68.
13. *Самсонов Л.Н., Фомин К.В.* Методика анализа динамической нагруженности приводов торфяных машин послойно-поверхностного фрезерования // Горное оборудование и электромеханика. 2004. № 1. – С. 20–24.

УДК 621.928.26

Кондратьев А.В.

Кондратьев Александр Владимирович, д. т. н., заведующий кафедрой «Строительные и дорожные машины и оборудование» ФГБОУ ВО «Тверской государственный технический университет» (ТвГТУ), avkondr@ya.ru

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ПРОЦЕССА РАЗДЕЛЕНИЯ ТОРФЯНОЙ СМЕСИ НА ВАЛКОВОМ СЕПАРАТОРЕ

Аннотация. С целью совершенствования процесса просеивания торфа рассматривается валковый сепаратор с активным интенсификатором. Приведены результаты сравнительных исследований валкового сепаратора с подвижными фартуками и без них. С помощью многофакторного планирования эксперимента для сепаратора с активным интенсификатором определены оптимальные параметры, обеспечивающие наиболее высокую эффективность разделения торфяной смеси.

Ключевые слова: валковый сепаратор, подвижные фартуки, валы с дисками, эффективность сепарации, торф.

Kondratiev A.V.

Prof., Head of the Chair of Building and Road Machines and Equipment, Tver State Technical University (TSTU)

IMPROVING THE PROCESS OF SEPARATION OF THE PEAT MIXTURE ON ROLLER SEPARATOR

Abstract. In order to improve the process of peat sifting roller separator with active intensifier is considered. The results of comparative studies of roller separator with moving aprons and without them were shown in this paper. Optimal settings to ensure the highest efficiency of separation of the peat mixture were determined by using multivariate experiment planning for the separator with active intensifier.

Key words: the roller separator, moving aprons, shafts with discs, separation efficiency, peat.

Для повышения интенсивности процесса отделения от торфа древесных включений на валковом сепараторе машины глубокого фрезерования было предложено устанавливать над поверхностью сита подвижные фартуки (интенсификатор) [1–5]. В связи с этим на первом этапе необходимо было провести ряд сравнительных исследований процесса сепарации торфа на валковом устройстве с фартуками и без них.

Изучение процесса просеивания торфа выполняли на стенде валкового сепаратора, основные конструктивные параметры которого соответствовали характеристикам машины глубокого фрезерования. Влияние конструктивных и кинематических параметров сепарирующего устройства на эффективность сепарации торфа изучали при подаче массы 12,9 кг/с, что соответствует средней подаче торфяной смеси на машине МП-20. В качестве материала для сепарации использовали верховой торф (R = 10…15%), предварительно измельченный на куски 0,12…0,20 м, согласно выставке Г-образных ножей машины глубокого фрезерования. Относительная влажность торфа составляла 84%. При этом каждую навеску торфа (40 кг) пропускали через сепаратор три раза.

На рисунке 1 представлены сравнительные результаты изменения эффективности сепарации торфа в зависимости от угла наклона поверхности валкового сита.

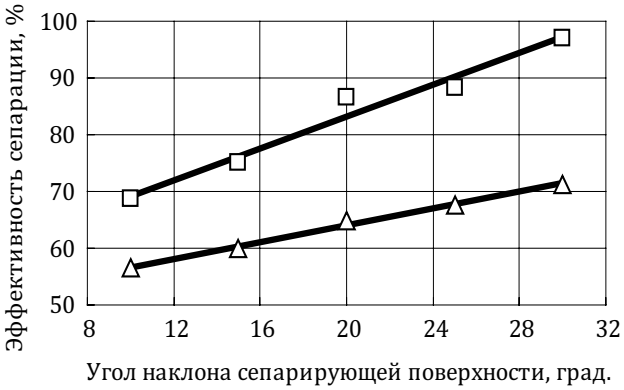


Рис. 1. Влияние угла наклона сита на эффективность сепарации:
□ – устройство с фартуками;
Δ – устройство без фартуков

Fig. 1. Influence of the screen angle on the separation efficiency:
□ – a device with an aprons;
Δ – device without aprons

Из представленных данных видно, что с увеличением угла наклона эффективность сепарации торфа возрастает, причем более интенсивно на сепараторе с подвижными фартуками, где численные значения эффективности выше на 12…26% по сравнению с сепаратором без фартуков в диапазоне углов α от 10 до 30°. Вместе с тем было замечено, что на свободной поверхности сепаратора наблюдалось скатывание торфяных частиц в сторону, обратную направлению вращения дисков при $\alpha > 20°$, что вызывало сгруживание (накопление) торфа на сепараторе. Поэтому все последующие сравнительные исследования проводились на сепараторе с углом наклона поверхности сита к горизонту 20°.

Зависимость эффективности сепарации от частоты вращения валов с дисками показана на рис. 2, где также можно наблюдать явное преимущество валкового устройства с подвижными фартуками.

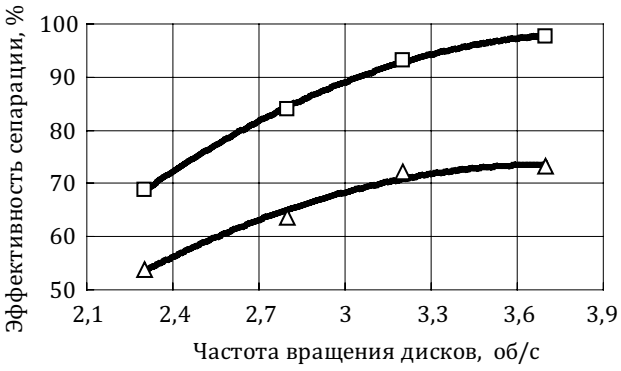


Рис. 2. Влияние скорости вращения дисков на эффективность сепарации:
□ – устройство с фартуками;
Δ – устройство без фартуков

Fig. 2. Influence of the disk rotation speed on the separation efficiency:
□ – a device with an aprons;
Δ – device without aprons

При этом в обоих вариантах наблюдалось повышение просеиваемости торфа с увеличением частоты вращения дисков. Следует также отметить, что на сепараторе без интенсифекатора рост эффективности наблюдался только до скорости вращения дисков 3,20 $с^{-1}$. Дальнейшее повышение частоты существенного влияния на результативность сепарации не оказывало. Это объясняется тем, что время полета торфяных частиц после их схода с дисков и скорость перемещения материала по сепаратору

увеличиваются с повышением частоты вращения валов. По этой причине время нахождения частиц непосредственно на вращающихся дисках уменьшается, и эффективность сепарации торфа снижается. На сепараторе с подвижными фартуками, наоборот, с ростом скорости вращения дисков происходит более интенсивное разрушение и просеивание кусков торфа. Интенсифицирующее устройство не только ограничивает траекторию полета торфяных частиц, которые после встречи с фартуками падают обратно на вращающиеся диски, но и обеспечивает надежное перемещение компонентов смеси по наклонной рабочей поверхности без скатывания в обратном направлении. При этом средняя скорость транспортирования сепарируемого материала в основном определяется скоростью перемещения фартуков над вращающимися дисками сепаратора.

Не менее существенное влияние на просеиваемость торфа оказывает его исходная крупность (размер торфяных кусков, превышающий промежуток между дисками), с возрастанием которой результативность просеивания падает (рис. 3). Однако следует заметить сравнительно небольшое уменьшение эффективности (около 14%) на сепараторе с интенсификатором. В то же время на устройстве без фартуков наблюдалось снижение эффективности сепарации почти на 32%.

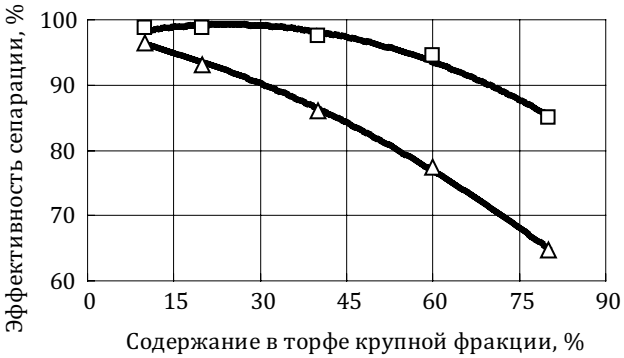


Рис. 3. Влияние фракционной крупности торфа на эффективность сепарации:
☐ – устройство с фартуками;
Δ – устройство без фартуков

Fig. 3. Influence of the fractional size of peat on the separation efficiency:
☐ – a device with an aprons;
Δ – device without aprons

Итоговое сравнение просеивания торфа на сепараторе с подвижными фартуками и без них представлено на рисунке 4, где показано изменение количественного показателя торфа, находящегося на валковом сите, по мере продвижения торфяной смеси по вращающимся валам с дисками при угле наклона сита +20° и частоте вращения дисков 3,20 $с^{-1}$. Из графического материала видно, что если вначале на сепарирующей поверхности (2-й вал) на устройстве с фартуками количество непросеянного торфа на 6% меньше чем на сепараторе без фартуков, то на уровне 10-й вала почти в два раза, а в конце сита (18-й вал) в 9-й раз меньше.

Настоящие результаты объясняются возросшей перерабатывающей способностью валкового сепаратора, оснащенного подвижными фартуками, которые наряду с транспортирующими действиями выполняют тормозящие и прижимные функции, что и обеспечивает интенсификацию процесса измельчения вращающимися дисками кусков торфа до просеиваемого размера. Кроме того, фартуки ограничивают траекторию полета торфяных частиц, что повышает время их нахождения на вращающихся дисках и увеличивает вероятность прохождения мелкой фракции в отверстиях сита. Сравнительные исследования показали, что установка подвижных фартуков позволила увеличить эффективность процесса сепарации торфа на 15…30%.

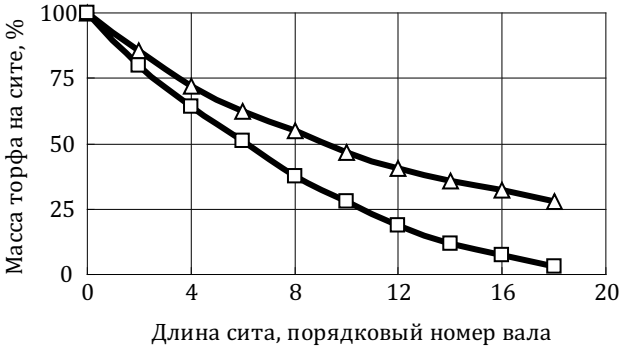


Рис. 4. Просеиваемость торфа по длине сепаратора:
☐ – устройство с фартуками; Δ – устройство без фартуков

Fig. 4. Sifting of the peat along the length of the separator:
☐ – a device with an aprons; Δ – device without aprons

Для установления оптимальной области работы валкового сепаратора с активным интенсификатором был реализован централь-

ный композиционный ротатабельный план второго порядка для наиболее важных трех факторов: подачи торфяной смеси; частоты вращения дисков и скорости передвижения фартуков.

В качестве сепарирующего материала использовался верховой торф степенью разложения 10…15%, влажностью 82…85% и куски древесины, взятые с залежи после прохода фрезы машины РАПП-3А, относительная влажность которых составляла 55…62%. Количество корневых остатков в исходной торфяной смеси составляло 5% от всей массы (торф + пни), что соответствует 3% объемной пнистости.

На основании результатов экспериментальных исследований были определены границы численных значений рассматриваемых факторов, интервалы варьирования которых представлены в таблице.

В целом изменения факторов подачи материала и частоты вращения дисков соответствовали аналогичным параметрам машины глубокого фрезерования МП-20 (РАПП-3А).

Границы области исследований

The boundaries of the research

Факторы	Обозначение	Интервал варьирования	Значения факторов				
			–1,682	–1	0	+1	+1,682
q – подача торфа, кг/с	X_1	4	8	11	15	19	22
n – частота вращения дисков, $с^{-1}$	X_2	0,33	2,56	2,79	3,12	3,45	3,68
$V_ф$ – скорость фартуков, м/с	X_3	0,06	0,27	0,31	0,37	0,43	0,47

По результатам использования планирования второго порядка получили зависимость эффективности сепарации торфа от рассмотренных параметров технологического процесса просеивания:

$$E = 210 - 4{,}54q - 49{,}28n - 62{,}17V_ф + $$
$$+ 0{,}12q^2 + 9{,}55n^2$$

С использованием данного выражения были получены графические зависимости эффективности сепарации торфа от изменения частоты вращения валов с дисками при $V_ф$= 0,37 м/с (рис. 5).

Представленные зависимости показывают возрастание эффективности сепарации торфа с увеличением частоты вращения дисков с одновременным снижением эффективности при повышении подачи материала на сито. При этом область наиболее предпочтительных значений скорости вращения дисков соответствует интервалу 3,62…3,68 $с^{-1}$.

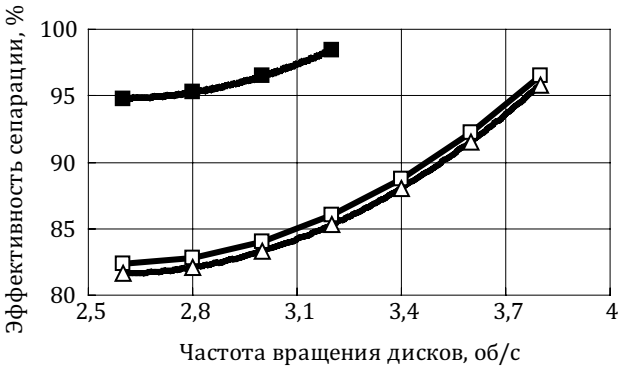


Рис. 5. Эффективность сепарации торфа в зависимости от частоты вращения дисков: ■ – q = 11 кг/с; □ – q = 15 кг/с; Δ – q = 19 кг/с

Fig. 5. Efficiency of the peat separation depending on the rotational speed of disks: ■ – q = 11 kg/s; □ – q = 15 kg/s; Δ – q = 19 kg/s

На рис. 6 представлен характер изменения эффективности сепарации торфа от скорости перемещения фартуков при частоте вращения дисков 3,65 $с^{-1}$. С увеличением скорости фартуков происходит уменьшение эффективности по линейной зависимости. В связи с этим наибольшей эффективности просеивания будет соответствовать значение скорости фартуков равное 0,27 м/с. Еще большее снижение скорости фартуков, ограничивается подачей торфяной смеси на сепаратор, которая практически равна скорости перемещения фартуков 0,27 м/с. В противном случае, при $V_ф$ < 0,27 м/с на сепарирующей поверхности будет происходить сгруживание торфяной массы, что, в конечном итоге, приведет к прекращению процесса сепарации.

Для оптимальных значений частоты вращения дисков (3,65 $с^{-1}$) и скорости движения фартуков (0,27 м/с) была построена зависимость изменения эффективности просеивания торфа от величины подачи материала на сито (рис. 7).

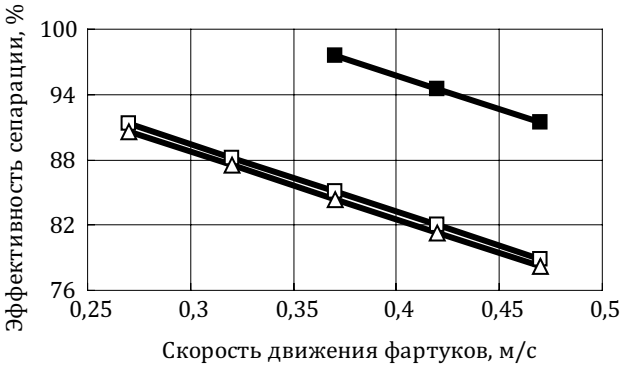


Рис. 6. Влияние скорости фартуков на эффективность сепарации торфа:
■ – q = 11 кг/с; □ – q = 15 кг/с; Δ – q = 19 кг/с

Fig. 6. Aprons speed effect on the peat separation efficiency:
■ – q = 11 kg/s; □ – q = 15 kg/s; Δ – q = 19 kg/s

Рис. 7. Влияние подачи материала на эффективность сепарации торфа

Fig. 7. Material feed effect on the peat separation efficiency

Из представленного материала можно увидеть, что с увеличением подачи сначала до q = 19 кг/с происходит снижение эффективности сепарации, а потом наблюдается ее возрастание. Это происходит по причине сгруживания торфа на валковом сите, вследствие чего время просеивания подаваемой порции торфа существенно повышается, что в реальных условиях при непрерывной подаче материала приведет к остановке технологического процесса сепарации. Поэтому в рамках проведенных исследований подачу торфяной смеси q = 19 кг/с можно считать оптимальной, исходя из надежности протекания процесса сепарации и высоких показателей эффективности.

Таким образом, в ходе экспериментальных исследований удалось обосновать схему валкового сепаратора с активным интенсификатором (подвижные фартуки) и определить оптимальные его параметры для совершенствования процесса просеивания торфа. Предлагаемое устройство валкового типа с подвижными фартуками может использоваться не только на машинах, осуществляющих выделение древесных включений из торфяной залежи, но и в подготовительных отделениях предприятий по переработке торфяного сырья.

Библиографический список

1. *Кондратьев А.В.* Интенсификация процесса разделения древесных включений и торфа / А.В. Кондратьев // Технология и комплексная механизация торфяного производства. – Тверь: ТГТУ, 1997. – С. 103–106.
2. *Самсонов Л.Н.* Возможности интенсификации процесса разделения торфа и древесных включений на валковых сепараторах / Л.Н. Самсонов, А.В. Кондратьев // Горный информац.-аналитический бюллетень / МГГУ. – 1997. – Вып. 2. – С. 91–92.
3. *Кондратьев А.В.* Повышение работоспособности валковых сепараторов торфяных и камнеуборочных машин / А.В. Кондратьев // Перспективы развития Волжского региона: Материалы Всероссийской заочной конференции. – Вып. 2. – Тверь: ТГТУ, ЧуДо, 2000. – С. 73–76.
4. *Кондратьев А.В., Павлов Ю.Н., Кочканян С.М.* О работоспособности валкового сепаратора при переработке влажного торфа / А.В. Кондратьев, Ю.Н. Павлов, С.М. Кочканян // Торф в решении проблем энергетики, сельского хозяйства и экологии: Материалы выездной секции Международной научно-практической конференции. – Тверь: ТГТУ, 2006. – С. 57–58.
5. *Кондратьев А.В.* Интенсификация процесса разделения сыпучих материалов на валковых сепараторах: монография / А.В. Конд-

УДК 621.928.26

Павлов Ю.Н.

Павлов Юрий Николаевич, к. т. н., доцент кафедры «Строительные и дорожные машины и оборудование» ФГБОУ ВО «Тверской государственный технический университет» (ТвГТУ), pavlov237@yandex.ru

Кочканян С.М.

Кочканян Сейран Микаелович, к. т. н., доцент кафедры «Строительные и дорожные машины и оборудование» ТвГТУ, 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

К ВОПРОСУ ОПРЕДЕЛЕНИЯ РАЦИОНАЛЬНОЙ СХЕМЫ ВАЛКОВОГО СЕПАРАТОРА ДЛЯ ТОРФОПЕРЕРАБАТЫВАЮЩИХ ПРЕДПРИЯТИЙ

Аннотация. Приведены результаты сравнительных исследований валковых сепараторов, выполненных по двум конструктивным схемам. Изучалась эффективность просеивания древесных включений в зависимости от частоты вращения валов с дисками и угла наклона сепарирующей поверхности к горизонту. Из условия минимальной просеиваемости древесных включений в промежутках между дисками была выбрана рациональная конструктивная схема валкового сепаратора для подготовительных отделений торфопредприятий.

Ключевые слова: валковый сепаратор, валы с дисками, частота вращения, угол наклона, эффективность сепарации, древесные включения, торф.

Pavlov Y.N.

Ph. D., Assistant professor of the Chair of Building and Road Machines and Equipment of the Tver State Technical University (TSTU)

Kochkanyan S. M.

Ph. D., Assistant professor of the Chair of Building and Road Machines and Equipment, TSTU

Kondratiev A.V.

Prof., Head of the Chair of Building and Road Machines and Equipment, TSTU

DETERMINATION OF A RATIONAL SCHEME OF A ROLLER SEPARATOR FOR PEAT PROCESSING

Annotation. The results of comparative studies of roll separator, made by two different design schemes are given. The efficiency sifting wood inclusions depending on the rotational speed and the angle of inclination to the horizontal separating surface. Rational constructive scheme of a roll cage has been selected for the preparatory departments peat company from the condition of minimum wood inclusions in the gaps between the disks.

Key words: roll separators, shafts with disks, speed, angle, separation efficiency, incorporating wood, peat.

Качество продукции, получаемой из торфяного сырья (торфяные грунты, компосты, удобрения и т. д.), во многом зависит от эффективной работы валковых сепараторов, которые выполняют операции по предварительной очистке торфяной массы от твердых нетехнологических включений (кусков древесины, а иногда и камней). Однако практика эксплуатации сепараторов валкового типа показала, что нередко просеянный торф содержал недопустимо большое количество нетехнологических включений, средний размер которых превышал рабочий «просвет» (зазор, промежуток между дисками) сепаратора [1, 2]. Например, в зазор межу дисками 20 мм вместе с торфом проходили древесные включения со средним размером 30…40 мм и более, у которых один или два размера (толщина, ширина) были меньше сепарационного промежутка. Поэтому изыскание более рациональной конструкции валкового сепаратора с позиции снижения просеивания вместе с торфом древесных включений позволило бы повысить качество выпускаемой предприятиями торфяной продукции.

Предварительный анализ работы сепарирующих устройств, применяющихся в подготовительных отделениях торфопредприятий, позволил сделать предположение, что это явление обусловлено схемой расположения дисков на валах сепаратора (рис. 1, *а*), когда рабочий «просвет» *а* определяется расстоянием между смежными перекрывающимися дисками соседних валов [3]. При этом торцы дисков практически вплотную подходят к соседним валам и промежуток между соседними дисками одного вала более чем в 2 раза больше рабочего «просвета» *а*. Поэтому древесное включение, попавшее в этот промежуток, согласно своей траектории движения, начинает поворачиваться (вращаться) в нем до тех пор, пока не повернется своим наименьшим размером к рабочему зазору между дисками, после чего древесное включение попадает в просеянный торф.

С учетом выше приведенных обстоятельств можно предположить, что если принять другую схему валкового сепаратора (рис. 1, *б),* в которой рабочий «просвет» *а* определяется промежутком между соседними дисками одного вала, а расстояние между торцом диска и соседним валом равно или больше рабочего промежутка, то просеивание твердых включений будет менее вероятным [4]. Сепараторы с такой схемой достаточно часто применяются на торфяных и камнеуборочных машинах. Назовем эту схему сепаратора традиционной.

Для проверки выдвинутой гипотезы были проведены экспериментальные исследования на стендах валковых сепараторов, выполненных согласно схемам *а* и *б* (рис. 1). В проведенной серии экспериментов рабочий зазор между дисками в обеих схемах устройства составлял 20 мм.

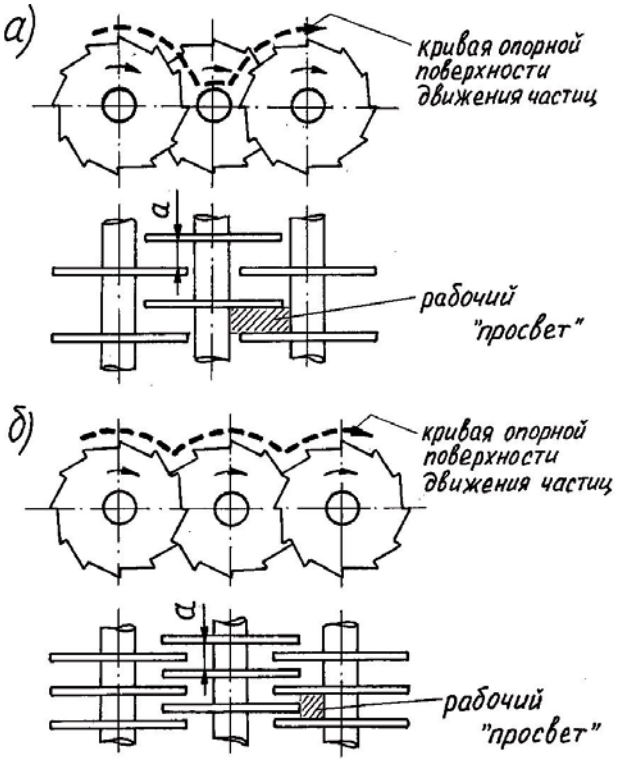


Рис. 1. Схемы валковых сепараторов:
а – с рабочим просветом между дисками соседних валов; *б* – с рабочим просветом между дисками одного вала

Fig. 1. Scheme of the roll cages: *a* – a working clearance between the disks adjacent shafts;
b – a working clearance between the disks of one shaft

На сепарирующую поверхность равномерно, с помощью ленточного питателя, подавалась смесь из древесных включений двух типоразмеров: 100×35×18 и 50×25×14 (соответственно длина, ширина и толщина в мм). Один размер (толщина) каждого древесного включения был меньше величины рабочего зазора сепаратора, это позволяло куску древесины, при соответствующей ориентации на сепараторе, пройти сквозь сепарирующую поверхность. Смесь древесных включений состояла

из больших кусков и маленьких в соотношении 1:1 по массе. В исследованиях частота вращения валов сепаратора изменялась от 90 до 135 об/мин, а угол наклона сепарирующей поверхности к горизонту варьировал в пределах от 0 до 20 градусов.

Эффективность просеивания древесных включений определялась по следующей зависимости:

$$\varepsilon_i = m_{ni} / m_{oi} \times 100,$$

где m_{ni} – масса брусков *i*-того типоразмера, прошедших сквозь сепарирующую поверхность, m_{oi} – масса брусков данного типоразмера, поступивших на сепаратор. Для каждого опыта рассчитывали: ε_1 – эффективность просеивания брусков меньшего размера; ε_2 – эффективность просеивания брусков большего размера и $\varepsilon_{об}$, определяемое как отношение массы всех брусков, прошедших сквозь сепарирующую поверхность, к общей массе брусков, поступивших на валковый сепаратор.

На рис. 2 представлена количественная характеристика величины просеивания мелкой и крупной фракций древесных включений в зависимости от частоты вращения валов с дисками на сепараторе, выполненном по схеме *а* при угле наклона сепарирующей поверхности к горизонту α = 15°.

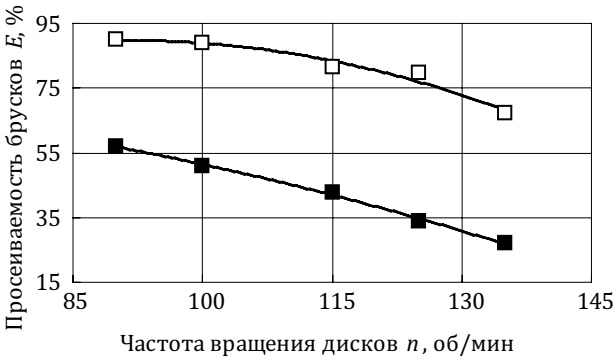


Рис. 2. Просеивание древесных включений в зависимости от частоты вращения дисков на сепараторе схемы *а*: □ – $\varepsilon_1 = f(n)$; ■ – $\varepsilon_2 = f(n)$

Fig. 2. Screening wood inclusions depending on the frequency disc rotation and separator circuits *a*: □ – $\varepsilon_1 = f(n)$; ■ – $\varepsilon_2 = f(n)$

Из представленного материала видно, что при *n* = 90…100 об/мин 90% мелких древесных включений и более 50% крупных проходят сквозь рабочую поверхность валкового сепаратора. Увеличение частоты вращения позволяет снизить эти показатели, но и при *n* = 135 об/мин процент включений, прошедших сквозь сепарирующую поверхность, оставался большим: ε_1 = 68%, ε_2 = 27%.

На рис. 3 приведены аналогичные зависимости для сепаратора, выполненного по схеме *б*. Полученные данные показывают, что прохождение сквозь сепарирующую поверхность схемы *б* крупной фракции древесины составляло всего 7…20%, а мелкой – 20…53% во всем диапазоне изменения частоты вращения дисков, что существенно меньше, чем на схеме *а*.

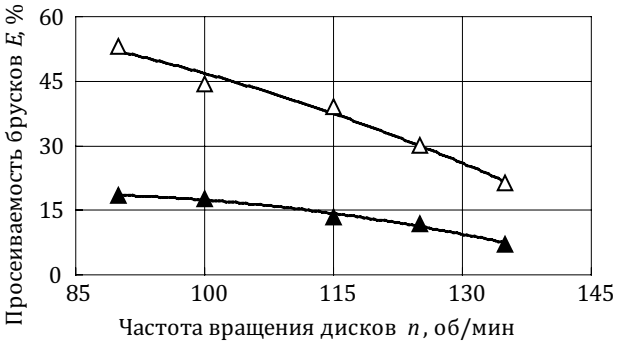


Рис. 3. Просеивание древесных включений в зависимости от частоты вращения дисков на сепараторе схемы *б*: Δ – $\varepsilon_1 = f(n)$; ▲ – $\varepsilon_2 = f(n)$

Fig. 3. Screening wood inclusions depending on the frequency disc separator for rotation scheme *b*: Δ – $\varepsilon_1 = f(n)$; ▲ – $\varepsilon_2 = f(n)$

Сравнительные результаты по суммарному общему показателю $\varepsilon_{об}$ в зависимости от частоты вращения дисков *n* для двух схем сепараторов представлены на рис. 4. В среднем значении $\varepsilon_{об}$ в рассмотренном интервале варьирования параметра *n* на схеме *б* в 2…3 раза меньше, чем на схеме *а*. При этом на обоих стендах наблюдалось количественное снижение просеиваемости древесины с увеличением частоты вращения дисков.

Затем исследовали влияние угла наклона α сепарирующей поверхности к горизонту на эффективность просеивания древесных включений.

Графические зависимости ε_1 и ε_2 от изменения угла наклона α для сепаратора, выполненного по схеме *а*, отображены на рис. 5. Частота вращения валов с дисками при этом составляла *n* = 135 об/мин.

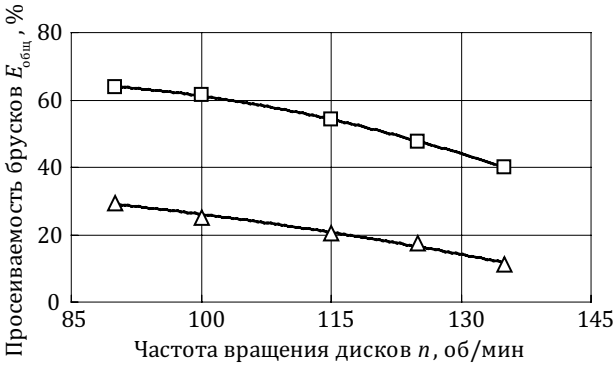


Рис. 4. Просеивание древесных включений в зависимости от частоты вращения дисков: □ – схема *а*; Δ – схема *б*

Fig. 4. Sieving wood inclusions depending on the frequency disc rotation: □ – scheme *a*; Δ – circuit *b*

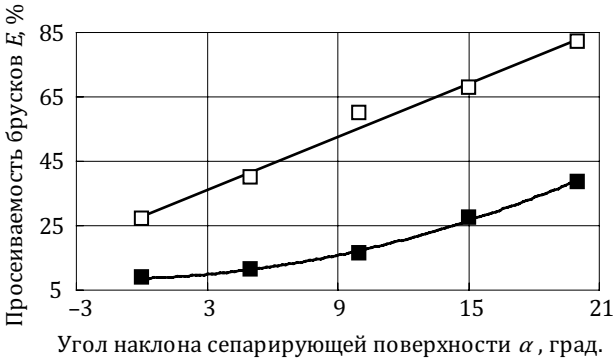


Рис. 5. Просеивание древесных включений в зависимости от угла наклона сепарирующей поверхности схемы *а*: □ – $\varepsilon_1 = f(\alpha)$; ■ – $\varepsilon_2 = f(\alpha)$

Fig. 5. Sieving wood inclusions depending on the tilt angle *a* separating the surface of the circuit: □ – $\varepsilon_1 = f(\alpha)$; ■ – $\varepsilon_2 = f(\alpha)$

Аналогичные зависимости для сепаратора *б* представлены на рис. 6, когда частота вращения дисков была n = 100 об/мин.

Полученные зависимости однозначно показывают возрастание количества просеянных древесных включений с увеличением угла наклона сепарирующей поверхности. Этот факт можно объяснить повышением сопротивления перемещению брусков вверх по поверхности валкового сита, вследствие чего древесные включения начинают более интенсивно перекатываться по вращающимся дискам, что и приводит к их ускоренному прохождению в промежутках между дисками. Однако на сепараторе *б* процент древесины, прошедшей сквозь рабочую поверхность, был в среднем в 1,25 раза ниже, чем на сепараторе *а*, несмотря на то что частота вращения дисков на традиционной схеме была существенно меньше. Только при нулевом угле наклона сепараторов показатели просеиваемости древесных включений на двух схемах сравнялись и то лишь за счет разницы в частоте вращения дисков. Это видно и на рис. 7, где приведены графические зависимости $\varepsilon_{об} = f(\alpha)$ для двух схем сепараторов.

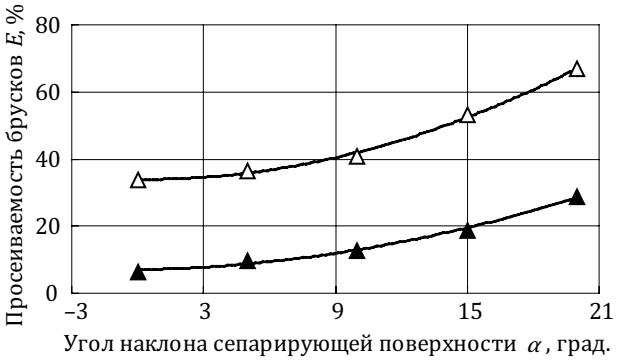


Рис. 6. Просеивание древесных включений в зависимости от угла наклона сепарирующей поверхности схемы *б*: Δ – $\varepsilon_1 = f(\alpha)$; ▲ – $\varepsilon_2 = f(\alpha)$

Fig. 6. Screening wood inclusions depending on the tilt angle *b* separating the surface of the scheme: Δ – $\varepsilon_1 = f(\alpha)$; ▲ – $\varepsilon_2 = f(\alpha)$

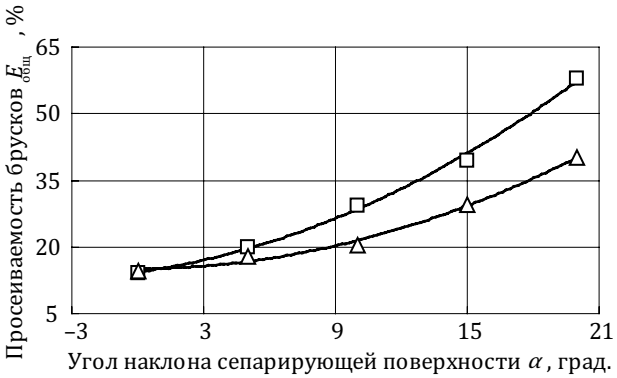


Рис. 7. Просеивание древесных включений в зависимости от угла наклона сепарирующей поверхности: □ – схема *а*; Δ – схема *б*

Fig. 7. Sieving wood inclusions depending on the angle tilt separating surface: □ – scheme *a*; Δ – scheme *b*

По полученным результатам проведенных сравнительных экспериментальных исследований можно сделать следующие выводы:

- независимо от схемы сепарирующего устройства с повышением частоты вращения валов сепаратора количество древесных включений, прошедших сквозь сепарирующую поверхность, снижается, что обусловлено возрастанием скорости движения материала;
- увеличение угла наклона сепаратора приводит к увеличению количества включений, прошедших в промежутках между дисками для любой из схем сепаратора, что объясняется возрастанием сопротивления перемещению кусков древесины и снижением, вследствие этого, скорости их транспортирования;
- возрастание отдельных размеров (например, длины) древесных включений приводит к существенному снижению просеивающей их способности;
- количественный показатель $\varepsilon_{об}$ просеивания древесных включений на традиционной схеме *б* сепаратора был в 2…3 раза ниже, чем на сепараторе, выполненном по схеме *а*, которая в основном используется на перерабатывающих торф предприятиях.

Таким образом, выполненные исследования показали, что традиционная схема валкового сепаратора является более рациональной с позиции очистки торфа от древесных включений. Поэтому для подготовительных отделений торфоперерабатывающих предприятий можно рекомендовать сепарирующее устройство валкового типа, выполненное по схеме *б*, когда рабочий зазор сепаратора определяется расстоянием между соседними дисками одного вала. Применение рациональной схемы разделительного устройства позволит существенно повысить качество выпускаемой торфяной продукции.

Библиографический список

1. *Петров Ю.О.* Подготовка торфяного сырья при производстве сельскохозяйственной продукции / Ю.О. Петров, Е.А. Щипитин: Сб. науч. тр. / ВНИИТП. – Л., 1984. – Вып. 53. – С. 110–117.
2. *Поприйчук Ю.Д.* Разработка процесса и оборудования для выделения нетехнологических включений из торфа [Текст]: дис. … канд. техн. наук: Калинин, 1987. 195 с.
3. *Молочко М.В.* Разработка и обоснование параметров валково-дискового грохота и сепаратора пней для подготовки торфа к брикетированию: автореф. дис. … канд. техн. наук: Минск, 1986. 20 с.
4. *Кондратьев А.В.* Результаты сравнительных исследований работоспособности валковых сепараторов / А.В. Кондратьев, С.М. Кочканян, Ю.Н. Павлов, С.В. Лебедев // Материалы Всероссийской заочной конференции «Перспективы развития Волжского региона». – Тверь, 2001. – С. 73–74.

УДК 622.23.05:622.7

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

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

ИССЛЕДОВАНИЕ ТЯГОВОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ ВАЛКОВАТЕЛЯ ФРЕЗЕРНОГО ТОРФА

Аннотация. Предлагаемый анализ процесса колебания тягового сопротивления машинно-тракторного агрегата с пассивным рабочим органом позволит установить минимально необходимую продолжительность записи процесса при комплексных статистических исследованиях режима нагружения валкователя таким образом, чтобы точность вычисления всех статистических характеристик процесса была на достаточном для практики уровне. Первичные данные тензометрии подлежат предварительной обработке для выравнивания колебательного процесса нагружения как по его текущим средним значениям, так и по уровню амплитуд.

Ключевые слова: торфяной валкователь, машинно-тракторный агрегат, колебания тягового сопротивления, тезометрическая аппаратура.

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

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

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

RESEARCH OF TRACTION RESISTANCE OF THE SWATH COLLECTOR OF MILLING PEAT

Abstract. The offered analysis of process of oscillations of tractive resistance of the machine and tractor aggregate with a passive working organ will allow to set minimum necessary duration of record of process in case of complex statistical investigations of the mode of loading of the swath collector so that the accuracy of computation of all statistical characteristics of process was at the level, sufficient for practice. Primary data of tensometry are subject to preliminary processing for alignment of oscilla-tory process of loading both on its current mean values, and on the level of amplitudes.

Key words: peat swath collector, machine-tractor unit, draught resistance oscillations, strain-gauge instrumentation.

Прогнозирование надежности торфяных машин на стадии проектирования является актуальной задачей, точность решения которой определяется тем, насколько величина и характер нагрузки, принимаемой при прочностном расчете элементов конструкции, соответствует действительной [1].

В процессе эксплуатации нагрузка рабочих органов имеет резко переменный, случайный характер [1]. Он обусловлен многими факторами, в частности изменением профиля поверхности, влажности, степени разложения, плотности и прочностных свойств эксплуатируемых торфяных залежей. Особое влияние на технологические процессы добычи торфа и формирование нагрузок оказывают древесные включения в торфяной залежи [1, 2]. Такой тип нагрузок ухудшает работу двигателя трактора [1, 3]. Их влияние усиливается при больших амплитудах и частоте колебаний. Точность работы машины, а следовательно, и выполнение технологического процесса, напрямую зависит от колебаний рабочего органа относительно базового трактора и вместе с ним [2].

В статье представлены материалы экспериментального исследования тягового сопротивления валкователя, возникающего в процессе выполнения технологической операции.

Торфяной валкователь представляет собой агрегат к гусеничным тракторам в виде навесного одно- и многоотвального устройства или в виде прицепного с несколькими рабочими секциями, каждая из которых представляет собой два отвала, формирующих общий валок (рис. 1).

Тензометрические исследования тягового сопротивления валкователя в производственных условиях проводились с помощью комплекса специального тензометрического оборудования, обеспечивающего обработку, отображение и хранение получаемой информации [4, 5].

В комплект измерительной аппаратуры входили: проволочные и индукционные датчики – задающие элементы аппаратуры; усилитель-преобразователь тензометрический УПТ-2А, компьютер, блок питания, соединительные кабели и генератор.

Усилитель-преобразователь тензометрический УПТ-2А [4, 5] представляет собой согла-

Рис. 1. Валкователь фрезерного торфа

Fig. 1. Milled peat swath collector

сующее устройство между тензодатчиками и звуковой картой компьютера. В его функции входит: обеспечение усиления сигналов несущих частот, идущих со звуковой карты; подача усиленных сигналов несущих на датчики; обеспечение амплитудной модуляции сигналов несущих в соответствии с изменением сопротивления датчиков; усиление результирующего сигнала и вывод его на линейный вход звуковой карты; обеспечение относительной независимости процесса функционирования от стабильности и «шумности» питающего напряжения путем внутренней стабилизации.

При исследовании тягового сопротивления валкователя использовались прямоугольные проволочные тензодатчики сопротивления типа ПБ-20–100. Датчики наклеивались на специально подготовленные поверхности деталей. Перед каждой записью нагрузки производилась тарировка аппаратуры.

Программное обеспечение позволяет осуществлять вывод и обработку результатов измерений, осуществлять установку нуля и проводить тарировку для каждого из каналов. Результаты измерения выводятся на экран монитора в виде графика и хранятся в оперативной памяти ПЭВМ. Для первичной обработки результатов измерений применяется блок статистической обработки, который позволяет определять оценки математического ожидания, дисперсии, плотности распределения, корреляционной функции и спектральной плотности измеряемого процесса [5, 6].

В качестве тягача использовался трактор ДТ-75. Общая продолжительность записи при работе валкователя на различных участках поля добычи T = 230 сек.

Наиболее точно и просто процесс изменения тягового сопротивления можно выразить с помощью полигона распределения [7]. Полигон аппроксимирован теоретической кривой нормального распределения с параметрами: средним значением сопротивления T_{cp} = 1190 Н и его среднеквадратическим отклонением σ_T = 300 Н.

Уравнение теоретической кривой в нормированном виде

$$f(z) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{z^2}{2}},$$

где $z = \dfrac{T_i - T_{cp}}{\sigma_T}$.

Для наиболее значащего участка кривой распределения f (z) > 0,1 приемлемость принятой аппроксимации подтверждена существенным уровнем критерия Пирсона χ^2. Режим нагружения деталей валкователя, характеризующийся указанным распределением, близок к среднему нормальному режиму [8].

Максимальное, длительно действующее тяговое усилие на прицепе валкователя (f (z) > 0,03) составляло T_{max} = 1870 Н.

Текущие значения оценок математического ожидания и среднеквадратического отклонения процесса для двадцати трех последовательных участков осциллограммы рассматривались как отдельные независимые реализации продолжительностью по 10 сек. Колебания текущих оценок математического ожидания около его среднего значения оценивают примерно ±15%; колебания оценок среднеквадратического отклонения – более ±40. Таким образом, нестационарность процесса, связанная с изменением условий работы валкователя, сказывается как на уровне текущих средних тягового сопротивления, так и на характере колебания тягового сопротивления около среднего значения.

Нестационарность процесса иллюстрируют и полученные корреляционные функции (рис. 2).

Они указывают также на отсутствие эргодичности записанного процесса по отношению к математическому ожиданию – корреляционные функции не обнаруживают стремления к нулю при увеличении интервала сдвига τ, а приближаются к некоторому, достаточно постоянному для всех рассмотренных корреляционных функций, значению дисперсии процесса D. Такой случайный процесс для своего анализа требует предварительной стационаризации исходных данных.

Среди имеющихся отдельных реализаций процесса выбрано несколько реализаций, обнаруживающих слабую стационарность и эргодичность. Корреляционные функции трех таких реализаций представлены на рис. 2.

Общий характер протекания корреляционных функций позволяет приближенно оценить их время спада на уровне $\tau_{корр}$ = 2,0 с. Этим же временем следует определять интервал между независимыми измерениями ординат анализируемой осциллограммы. Таким образом, число независимых отсчетов тягового сопротивления N, связанное со временем записи

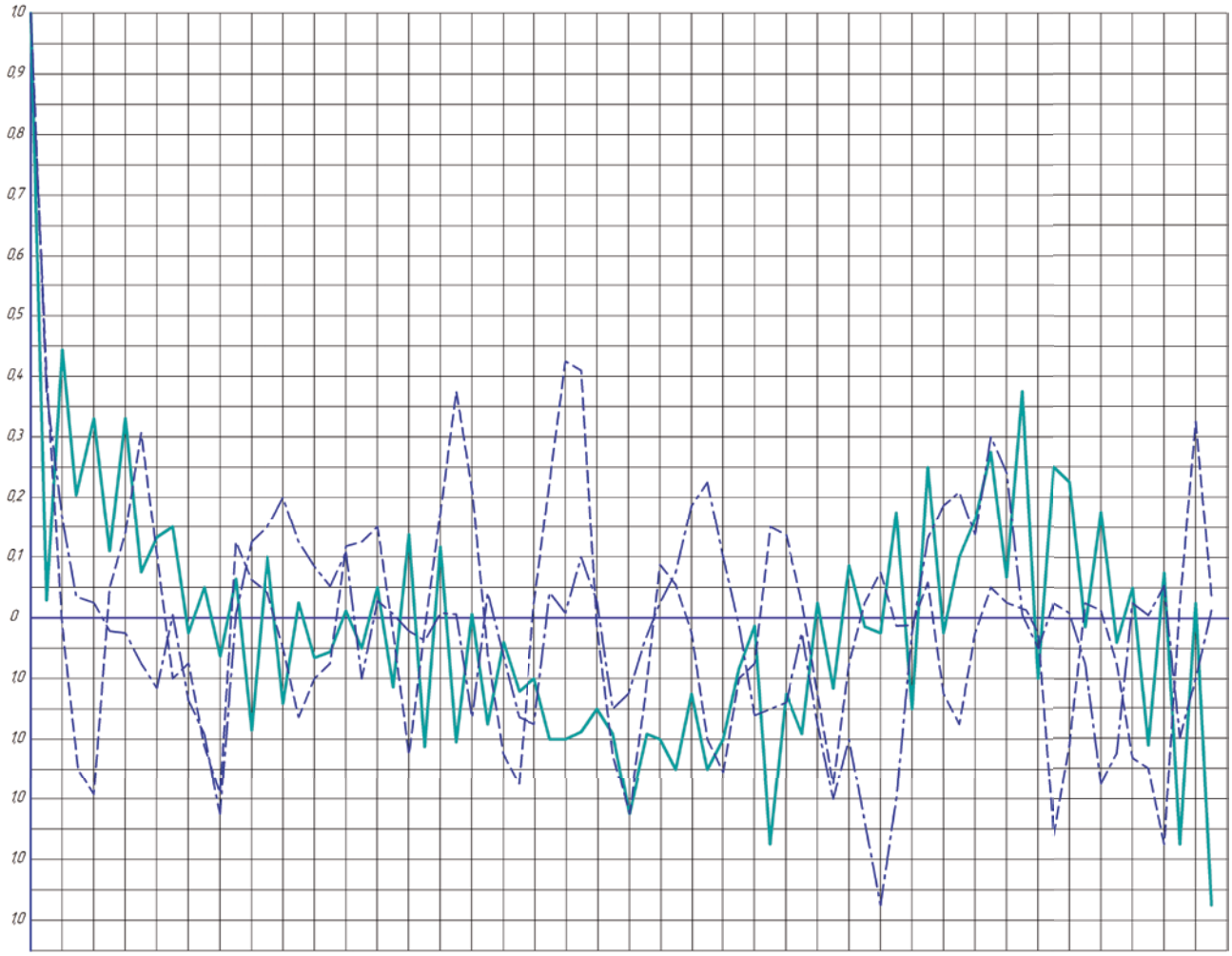


Рис. 2. Нормальная корреляционная функция сопротивления на сцепке трактора

Fig. 2. Normal cross-correlation function of resistance on coupling of tractor

процесса валкования T_0, определяется соотношением

$$N = \frac{T_0}{\tau_{корр}} \approx (0{,}5...0{,}6)T_0.$$

Как известно, объем независимых измерений исследуемого случайного процесса зависит от принятой точности используемых при его анализе статистических характеристик. Так, время записи процесса из условия ограничения относительной погрешности его математического ожидания δ_m определяется формулой [9]:

$$T_m = \tau_{корр}\left(\frac{t_p \psi}{\delta_m}\right)^2,$$

где $t_р$ – коэффициент нормального распределения, связанный с доверительной вероятностью $P_д$ соотношением

$$P_Д = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-t_p}^{t_p} e^{-\frac{1}{2}t_p^2} dt_p,$$

где ψ – коэффициент вариации нагрузки.

Назначив доверительную вероятность на уровне 95%, допустимую относительную ошибку оценки математического ожидания δ_m = 0,20 (ошибка в пределах ±10%) и имея в виду, что для исследуемого процесса

$$\psi = \frac{\sigma_T}{T_{ср}} = 0{,}25 \text{ и } \tau_{корр\max} \cong 2{,}0 \text{ с},$$

получим

$$T_m = 2\left(\frac{1{,}645 \cdot 0{,}25}{0{,}2}\right)^2 = 8{,}5 \text{ с}.$$

Продолжительность записи процесса из условия ограничения относительной пог-

решности для среднеквадратического отклонения на прежнем уровне ($\delta_\sigma = 0{,}2$)

$$T_m = \frac{\tau_{корр}}{2}\left(\frac{t_p}{\delta_\sigma}\right)^2 = \frac{2}{2}\left(\frac{1{,}645}{0{,}2}\right)^2 = 67{,}5 \text{ с.}$$

Что касается продолжительности записи нагрузок валкователя из условия ограничения среднеквадратической погрешности при вычислении корреляционной функции на уровне $\delta_\rho = 0{,}2$, то для нормального, стационарного и центрованного процесса эта величина определяется выражением

$$T_\rho = \frac{\tau_{корр}}{\delta_\rho^2} = \frac{2}{0{,}2^2} = 50 \text{ с.}$$

Таким образом, продолжительность записи процесса при комплексных статистических исследованиях режима нагружения валкователя следует принимать по возможности не менее T_0 = 70 сек, с тем чтобы точность исчисления всех статистических характеристик процесса не падала ниже ±10%. При этом первичные данные осциллограммы подлежат предварительной обработке для выравнивания (стационаризации) колебательного процесса нагружения как по его текущим средним значениям, так и по уровню амплитуд. Вопрос оптимальной методики такой обработки требует дополнительного изучения.

Библиографический список

1. *Фомин К.В.* Элементы статистической динамики торфяных машин: учебное пособие для вузов. – Тверь: ТвГТУ, 2001. – 132 с.
2. *Фомин К.В., Павлов А.Н.* Моделирование воздействия на элементы ходовых конструкций торфяной машины со стороны поверхности карты//В сб.: Проблемы природопользования и инженерной экологии: сборник трудов ученых и преподавателей факультета природопользования и инженерной экологии ТГТУ. Федеральное агентство по образованию, Тверской государственный технический университет; редкол.: Л.Н. Самсонов, А.Е. Афанасьев, Л.В. Копенкина. – Тверь, 2007. – С. 111–115.
3. *Самсонов Л.Н.* Оценка работы двигателя трактора при эксплуатации торфяного фрезерующего агрегата / Л.Н. Самсонов, К.В. Фомин // Торф в решении проблем энергетики, сельского хозяйства и экологии: Материалы международной конференции. – 2006. – С. 66–68
4. *Харламов В.Е., Фомин К.В., Крылов К.С., Морозихина И.К.* Определение динамических параметров торфяного машино-тракторного агрегата экспериментальным методом //Депонированная рукопись. Библиографическое описание опубликовано в «Горном информационно-аналитическом бюллетене» № 1, 2013 г. Справка № 935/01–13, от 1 ноября 2012 г. 5 с.
5. *Гаганов П.Г., Фомин К.В.* Усилитель-преобразователь тензометрический УПТ-2А // Развитие механики торфа и научных основ создания и оборудования торфяного производства: Мат. конференции к 100-летию рождения Солопова С.Г. – Тверь, 2001. – С. 110–112.
6. *Крылов К.С.* Методика проведения стендовых испытаний привода машинно-тракторного агрегата с использованием нагруженности в реальных производственных условиях / К.С. Крылов, В.Е. Харламов // Труды Инсторфа. Научный журнал. – № 11 (64). – С. 39–44.
7. *Крылов К.С.* Разработка методов определения режимов нагружения приводов торфяных фрезерующих органов на стадии проектирования. Дис. … канд. техн. наук. – Тверь, 2010. – 153 с.
8. *Цуркан А.Г.* К вопросу о расчете элементов привода торфяных машин с учетом режима нагружения // Труды КПИ, вып. VI (XIX), 1971.
9. *Методы* ускоренных инструментальных испытаний дорожных машин и их узлов / Д.И. Федоров, Б.А. Бондарович, В.И. Перепонов, И.А. Недорезов; под ред. д-ра техн. наук Д.И. Федорова. – Москва: [б. и.], 1967. – 70 с.

УДК 662.331(09)

Копенкина Л.В.

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

ВЫДАЮЩИЙСЯ УЧЕНЫЙ И РУКОВОДИТЕЛЬ В ИСТОРИИ ТОРФЯНОГО ДЕЛА (К 115-Й ГОДОВЩИНЕ СО ДНЯ РОЖДЕНИЯ ПРОФЕССОРА С.Г. СОЛОПОВА)

Аннотация. В статье рассмотрен вклад профессора С.Г. Солопова в развитие исследований в области технологии производства качественного торфяного топлива.

Ключевые слова: технология производства торфяного топлива, С.Г. Солопов, пневматический комбайн, интенсификация осушения торфяных залежей, история науки о торфе.

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

OUTSTANDING SCIENTIST AND A LEADER IN THE HIS-TORY OF THE PEAT INDUS-TRY (TO 115-YEARS OF ANNIVERSARY PROFESSOR S.G. SOLOPOV)

Abstract. In article the contribution of professor S. G. Solopov to development of researches in the field of the production technology of high-quality peat fuel is considered.

Key words: fuel peat production technology, S.G. Solopov, pneumatic harvester, intensification of drying peat deposits, the history of the science of peat.

Сергей Георгиевич Солопов – один из самых значимых и выдающихся деятелей, внесших большой вклад в создание отечественного торфяного дела как области науки, производства и образования.

В «Трудах Инсторфа» № 3 (56) Восточно-Европейского института торфяного дела ТвГТУ была опубликована статья, посвященная 110-летию со дня рождения профессора С.Г. Солопова [1]. В настоящей статье использованы материалы из личного дела С.Г. Солопова, хранящегося в архиве Тверского государственного технического университета, отчетов о НИР, трудов Калининского политехнического института.

19 октября 2016 года исполнилось 115 лет со дня его рождения. Этой дате был посвящен научно-практический семинар «Инновации в технологии и механизации торфяного производства», проходивший в Тверском государственном техническом университете.

На семинаре присутствовал внук С.Г. Солопова – Георгий Дмитриевич Солопов, вице-президент Союза архитекторов России. Также в лабораторном корпусе университета около кафедры торфяных машин и оборудования состоялось открытие мемориальной доски в память о С.Г. Солопове.

Из хранящегося в архиве ТвГТУ личного дела Сергея Георгиевича Солопова стало известно, что его родителями были Георгий Яковлевич Солопов (1870–1923), проработавший 30 лет на железной дороге (рабочим, кондуктором, заведующим статистикой Паровозного отдела Северной железной дороги), и Ксения Кирилловна Солопова (1861–1946), работавшая в молодости ткачихой, потом домохозяйкой. Сергей начал работать с 15 лет на железной дороге рабочим, помощником конторщика. После окончания трудовой школы в 1918 году он работал помощником слесаря, помощником машиниста в депо Северной железной дороги. С ноября 1918 года служил добровольцем отряда Красной Армии по борьбе с бандитизмом и дезертирством.

В октябре 1919 года Солопов был направлен на подготовительный курс Московской горной академии. В эти годы торфяное образование претерпело ряд изменений. В 1921 году он был переведен со 2-го курса геологоразведочного факультета Московского горного института в Московский межевый институт на торфяную специальность. В 1922 году снова был переведен на торфяное отделение инженерного факультета Сельскохозяйственной академии имени К.А. Тимирязева, которое было открыто в результате реорганизации высшего торфяного образования в стране.

Научной работой он начал заниматься еще в студенческие годы в Центральном научно-исследовательском торфяном институте (Инсторфе). В 1923 году с апреля по сентябрь Солопов работал техником на испытаниях опытных торфяных машин, в сезонах 1924–1925 гг. – младшим научным сотрудником на проектировании и испытании опытных торфяных машин.

Солопов получил звание инженера-торфоведа в 1926 году и поступил в аспирантуру по кафедре торфяной механики. Одновременно он работал старшим научным сотрудником, инженером-конструктором, старшим инженером-конструктором Инсторфа (1926–1938).

В журнале «Торфяное дело» были опубликованы его первые работы, посвященные новым разработкам торфяных машин – усовершенствованию элеваторной установки системы Инсторфа (модель 1929 г.), уборочной машины для фрезерной крошки системы Инсторфа.

В 1932 году Солоповым впервые были испытаны активные сопла для подъема сухой крошки торфа из расстила со шнековой щеткой (рис. 1). В 1933 году – всасывающе-нагнетательные сопла (рис. 2), которые могли обеспечить максимальную подачу торфа в пневмосистему за счет активизации слоя торфяной фрезерной крошки в зоне всасывания, тем самым значительно повышали сбор торфа [2].

В 1934 году Солопов получил авторское свидетельство на приспособление для разрыхления и подачи сыпучих материалов к всасывающему соплу пневматического транспортера.

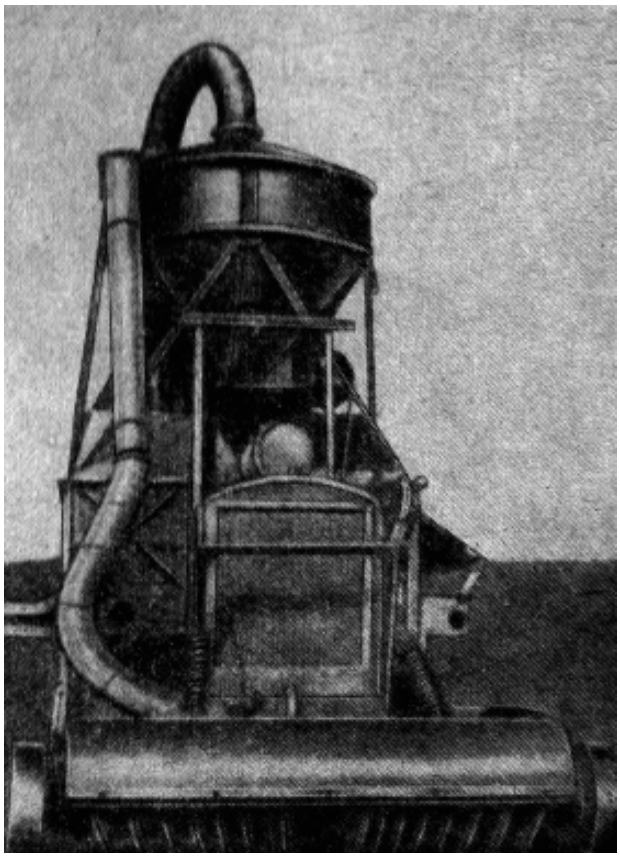


Рис. 1. Пневматический комбайн, оборудованный активными соплами со шнековой щеткой

Fig. 1. Pneumatic harvester, equipped with active nozzles with screw brush

Работы по исследованию торфяных пневмоуборочных машин, определению режимов работы и параметров сопел, аэродинамических характеристик при уборке и транспортировании торфяной крошки в воздушном потоке были в дальнейшем продолжены в 1960–1980-е годы и представляют собой отдельное научное направление [3].

В январе 1935 года он как инженер-конструктор был направлен в Особое конструкторское бюро № 2 НКОП ВСНХ для выполнения служебного задания, в 1937 году переведен на завод № 8 имени Калинина НКОП ВСНХ, где работал до сентября 1938 года.

В 1951–1952 годах под руководством Солопова были созданы: спирально-конусный пресс для переработки торфа пониженной влажности; машина глубокого дренирования с цепным баром, позволяющим закладывать дрены в залежах любой глубины и пнистости, для интенсивного осушения торфяной залежи; стилочная машина для формования торфа пониженной влажности.

С момента организации Московского торфяного института (МТИ) в 1930 году Солопов стал преподавать на кафедре торфяной механики в должности ассистента, после защиты кандидатской диссертации в 1943 году работал доцентом.

В 1953 году он был избран заведующим кафедрой торфяной механики Московского торфяного института. В этой должности он оставался до своей смерти. Ученое звание профессора было присвоено ему в 1955 году после защиты докторской диссертации в Институте горного дела АН СССР (1954).

В МТИ профессор Солопов работал деканом механического факультета (1944–1952), проректором по учебной работе (1953–1956), ректором (1956–1958).

В 1956 году благодаря учебно-методической помощи и предоставлению литературы, чертежей, приборов коллективом Московского

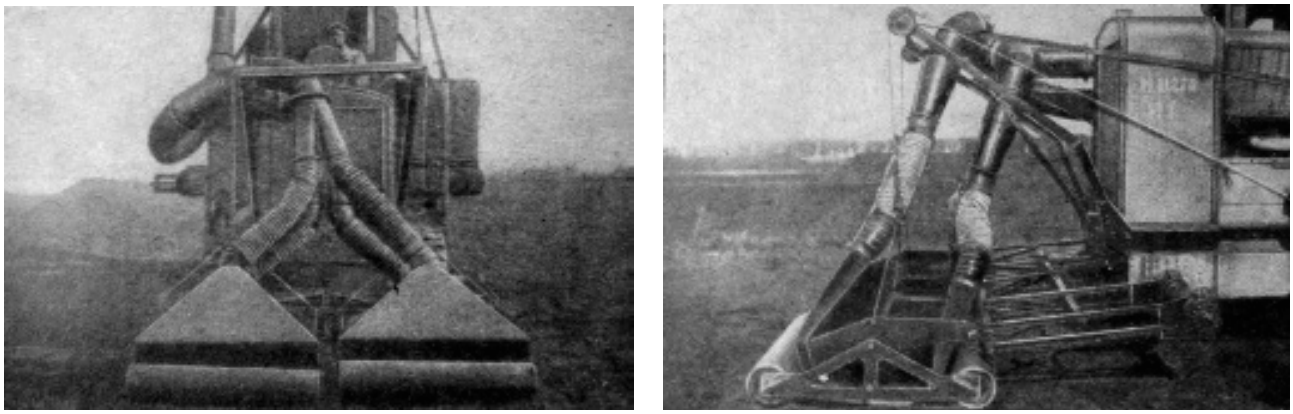


Рис. 2. Пневматический комбайн со всасывающе-нагнетательными активными соплами конструкции С.Г. Солопова

Fig. 2. Pneumatic harvester with suction-forcing active nozzles of construction by S.G. Solopov

торфяного института во главе с ректором профессором С.Г. Солоповым было открыто торфомеханическое отделение в Киевском гидромелиоративном институте.

Рис. 3. Фото С.Г. Солопова из личного дела, 1946 г.

Fig. 3. Foto S.G. Solopov from personal deed, 1946.

Как ректор Солопов провел большую работу по переводу Московского торфяного института в Калинин, сохранив основные научно-педагогические кадры и диссертационный совет, что позволило в дальнейшем преобразовать вуз в политехнический институт. В октябре 1958 года при выполнении служебных обязанностей Солопов получил тяжелую травму, после которой не мог исполнять обязанности ректора и был освобожден от этой должности.

В 1972–1973 гг. в проблемной лаборатории по комплексному использованию торфа в народном хозяйстве под руководством профессора Солопова были разработаны различные варианты конструктивных схем комплексных пневматических агрегатов для производства фрезерного торфа, методика исследования подачи торфяной фрезерной крошки из расстила в пневмосистему с пневматической и механической активизацией.

По другой теме под руководством Солопова были выполнены исследования заводского способа производства гранулированного торфяного удобрения с помощью вальцевого гранулятора. Произведенное гранулированное удобрение было испытано во многих организациях страны – Всесоюзном научно-исследовательском институте (НИИ) льноводства, Грузинском НИИ садоводства, виноградарства и виноделия, Эстонской республиканской агрохимической лаборатории и других.

Рис. 4. С.Г. Солопов с преподавателями и выпускниками кафедры торфяной механики МТИ (третий слева в первом ряду), 1950 г.

Fig. 4. S.G. Solopov with teachers and graduates of the Department of Peat Mechanics at MPI (third from left in the front row), 1950

В эти же годы под руководством Солопова выполнялась научно-исследовательская работа по теме «Создание машины для обогащения торфяных залежей». На торфопредприятии «Оршинское-1» были проведены производственные испытания экспериментального образца дренажно-обогатительной машины МДО-0 (рис. 5). Подготовка кондиционного эксплуатационного слоя залежи с использованием этой машины позволяла понизить влажность фрезеруемого слоя на 4%, увеличить плотность слоя на 4,4%, повысить цикловые сборы фрезерного торфа на 25–29%, насыпную плотность – на 22,6%.

Вариант подготовки кондиционного эксплуатационного слоя залежи с использованием дренажно-обогатительной машины был признан экономически целесообразным и рекомендован для внедрения в промышленность [4].

С.Г. Солопов имел почетное звание «Заслуженный деятель науки и техники РСФСР» (1962), был награжден орденом Ленина (1953), орденом Трудового Красного Знамени (1971) и медалями «За оборону Москвы (1944), «За доблестный труд в годы Великой Отечественной войны» (1946), «800-летие Москвы» (1947), «100 лет со дня рождения В.И. Ленина» (1972).

Рис. 5. Машина для обогащения торфяной залежи

Fig. 5. The machine for the enrichment of peat deposits

Рис. 6. С.Г. Солопов (третий слева) в составе советской делегации на международном конгрессе в г. Франтишкови Лазне в Чехословакии, 1960 г.

Fif. 6. S.G. Solopov (third from left), member of the Soviet delegation to the International Congress in Franzensbad in Czechoslovakia, 1960

Рис. 7. Академик И.И. Лиштван и С.Г. Солопов (справа), одна из его последних фотографий

Fig. 7. Academician I.I. Lishtvan and S.G. Solopov (right), one of the last him photos

Сергей Георгиевич Солопов (рис. 6, 7) входил в состав многих научно-технических и учебно-методических комиссий, советов, был членом Национального комитета СССР по участию в международном обществе по торфу. Он оставил заметный след в истории торфяного дела как выдающийся руководитель, организатор и ученый, работы которого способствовали развитию знаний и исследований в области технологии производства качественного торфяного топлива.

Библиографический список

1. *Копенкина Л.В.* Вклад профессора С.Г. Солопова в развитие научной школы торфяной механики (к 110-й годовщине со дня рождения) / ЛВ. Копенкина // Труды Инсторфа – № 4 (57). – 2012. – С. 59–64.
2. *Копенкин В.Д.* Развитие техники пневматической уборки фрезерного торфа / В.Д. Копенкина, Л.В. Копенкина, Л.Н. Самсонов // Горный информационно-аналитический бюллетень. – № 1. – 2006. – С. 317–321.
3. *Горцакалян Л.О.* К вопросу увеличения сборов фрезерного торфа пневматическими машинами активизацией слоя фрезерной крошки в зоне всасывающего слоя факела сопла / Л.О. Горцакалян // Труды Калининского политехнического института. – М.: Недра. Вып. I (XIV). – С. 70–80.
4. *Создание* машины для обогащения торфяных залежей: отчет по научно-исследовательской работе / С.Г. Солопов, В.Д. Копенкин. Калинин: КПИ, 1973. – 91 с.