

Научный журнал

Восточно-Европейского института торфяного дела
Тверского государственного технического университета



№13 (66) 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

№ 13 (66)
январь–июнь 2016 г.

Тверь 2016

УДК 622.331(05)
ББК 26.343.4я5

Труды Инсторфа: научный журнал. № 13 (66)
(январь–июль 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. Сеницин; 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 01.07.16 г.
Формат 60×84 1/8. Усл. печ. л. 7,5.
ООО «Издательство «Триада»
170034, г. Тверь, пр. Чайковского, д. 9, оф. 514
ISSN 2224-1523

© Тверской государственный
технический университет, 2016

СОДЕРЖАНИЕ

Кузьмин Г.Ф.

Торфяные ресурсы страны и проблемы
их использования..... 3

Миронов В.А., Зюзин Б.Ф., Фадеев В.В.

Основные закономерности
деформирования мерзлых
органоминеральных грунтов в условиях
трехосного сжатия..... 12

Мисников О.С., Королёв И.О.

Использование торфоминеральных
композиций для предотвращения
слеживаемости бутадиен-нитрильных
каучуков 21

Горячев В.И., Зюзин Б.Ф., Михеев И.И., Казичев И.Н.

Технологический комплекс производства
кускового топливного торфа
с комбинированной сушкой..... 28

Зюзин Б.Ф., Шамбер О.В.

Основные показатели технологии добычи
кускового торфа с сушкой на сетках..... 33

Синицын В.Ф., Копенкина Л.В.

Некоторые особенности решения задачи
определения осадок под цилиндрическим
колесом в случае его внецентренного
нагружения..... 40

Кукушкина Е.Е., Панов В.В.

Опыт культивирования тростника
(*Phragmites australis*) при искусственном
(повторном) обводнении выработанных
торфяных месторождений в Тверской
области..... 44

Копенкина Л.В.

Торфяная отрасль в годы Великой
Отечественной войны (к 70-летию
Великой победы)..... 50

Горячев В.И., Зюзин Б.Ф., Копенкина Л.В.

В.М. Наумович – выдающийся инженер,
ученый и педагог (к 100-летию со дня
рождения) 57

УДК 504.062

Кузьмин Г.Ф.

Кузьмин Геннадий Федорович, доктор геол.-мин. наук. Санкт-Петербург

**ТОРФЯНЫЕ РЕСУРСЫ
СТРАНЫ И ПРОБЛЕМЫ
ИХ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ**

Аннотация. Кодексы о земле, воде и лесе, одни из основных законов России, полностью пренебрегают ранее высокоприбыльной торфяной промышленностью. В сфере действия закона потеряны проблемы мелиорации земель. В результате растущие верховые болота активно заболачивают таежные леса и пахотные земли. С возвращением использования торфяных ресурсов для промышленного освоения мы можем ожидать возрождения экономической жизни в большинстве регионов России.

Ключевые слова: торфяные ресурсы, верховые болота, глобальный климат, CO₂, избыточная вода.

Kuzmin G.F.

Kuzmin Gennadiy F., Dr. Professor. St. Petersburg
kuzmins.consult@gmail.com

**RUSSIA'S PEAT RESOURCES
AND THE PROBLEMS OF
THEIR USE**

Abstract. The Land, the Water and the Forest codes, the ones of Russia's main laws, completely neglect earlier highly profitable peat industry. In coverage of the laws land reclamation problems are lost. As a result the growing bogs actively transform the taiga forests and arable lands. With return of use of peat resources for industrial development we can expect revival of economic life in the majority of regions of Russia.

Key words: peat resources, bogs, global climate, CO₂, paludification.

В России не менее 40% мировых запасов торфа. Около 40 лет назад СССР занимал первое место по добыче и использованию торфа в качестве удобрения полей, коммунально-бытового топлива в энергетике ряда регионов страны. Была сформирована научная, машиностроительная и проектно-изыскательская база, позволяющая ежегодно добывать более 100 млн тонн торфа. Российские специалисты активно делились опытом и научными разработками со специалистами из Финляндии, Швеции и других стран. В ряде технических библиотек Европы большая часть научной литературы по торфу – на русском языке.

В 80–90-х годах прошлого века в России была нарушена работа торфяной промышленности, включая научные исследования, проектирование торфопредприятий, геологическую разведку торфяных ресурсов и торфяное машиностроение. С этого момента Россия стала отставать по большинству направлений, связанных с торфом. В основополагающих документах – Земельном, Лесном и Водном кодексах появились статьи о болотах и торфе, нередко противоречащие друг другу. Например, Водный кодекс торфяные месторождения определил как поверхностный водный объект. Земельный кодекс статьей 13, пункт 3 указывает, что: «Внедрение *новых технологий, осуществление программ мелиорации земель и повышения плодородия почв запрещаются* в случае их несоответствия предусмотренным законодательством экологическим, санитарно-гигиеническим и иным требованиям».

В России торфяные ресурсы распределены таким образом, что там, где заканчиваются черноземы, начинаются основные запасы торфа. Не одно столетие крестьяне пытались увеличить урожайность полей, и только с развитием промышленности торфодобычи для нужд села в ряде областей России стала расти урожайность полей. Так, резкое увеличение плодородия полей Ленинградской области в 70–80-е годы XX столетия произошло в том числе благодаря торфу, который вносился по 10–15 т/га ежегодно.

Болота в отличие от большинства других природных объектов имеют тройственную природу: с одной стороны, это месторождение торфа, часто и отложения сапропеля под торфом, с другой стороны, они рассматриваются как земельные угодья, которые могут использоваться в качестве различных угодий, в том

числе и как объекты охраны природы.

По мнению экологов, особую роль болота и заболоченные земли с наличием торфа играют в ландшафтах России [1]. Действительно, болота оказывают активное воздействие на прилегающие угодья, прежде всего, леса, путем их интенсивного заболачивания. При этом «... процесс заболачивания территории в зоне избыточного увлажнения в пределах обозримых периодов времени, при неизменных климатических условиях, называется необратимым» [3 с. 231]. И «... при сохраняющейся климатической обстановке развитие болот пойдет по пути увеличения их засфагнения и олиготрофизации. Этот процесс будет происходить, вероятно, за счет не только олиготрофизации мезотрофных травяно-сфагновых болот и увеличения значимости сфагновых мхов на грядах аапа болот, но и форсирование новых болот на месте заболоченных лесов» [4 с. 113]. Кроме того, «... болотообразовательные процессы, приводящие к излишнему накоплению влаги в почве, так же вредны, как и засуха. Необходима борьба с заболачиванием. В целом болотообразовательный процесс в современных естественных условиях необратим» [5].

Статистическая обработка огромного практического материала геологоразведочных работ на торф основных торфяных бассейнов России показала, что на всех торфяных месторождениях в естественном состоянии отмечается процесс активной олиготрофизации за последние сотни лет, проявляющийся в абсолютном господстве сфагновых торфов низкой степени разложения в верхних пластах торфяной залежи. Большая мощность однородной верховой торфяной залежи и продолжающийся рост болот вверх и вширь свидетельствует о благоприятных климатических параметрах, обеспечивающих достаточное, а чаще избыточное увлажнение в лесной зоне России. При переходе большинства болот в олиготрофную фазу развития их поверхности приобретают выпуклость, и верховые болота стали активными агрессорами по отношению к окружающим растительным группировкам (преимущественно лесам) [6].

В доказательство последнего вывода приведем конкретные данные вертикального и горизонтального прироста торфяной залежи на восточной и юго-восточной окраинах одной их крупнейших верховых болотных систем

Северо-Запада России – «Рдейское»¹. На окраинах этой болотной системы было заложено 5 профилей длиной от 146 м до 400 м. Профили закладывались от нулевой границы болото-суходол по возможности под углом 90% к нулевой границе и до точки с глубиной торфяной залежи 0,75–0,95 м. На каждом профиле выбиралось по 2 (3) модельных дерева (сосны) для определения их возраста. Каждый профиль обязательно заканчивался модельным деревом.

В расположении модельных деревьев отбирались образцы торфа с интервалом 0,1–0,25 м в зависимости от стратиграфии торфяной залежи на всю глубину. Определялся возраст дерева и год, когда к этому дереву «пошло» болото. Таким образом, были получены данные о вертикальном приросте торфяной залежи в 2–3 точках каждого профиля в год и времени «наступления» болота на суходол.

Возраст модельных сосен колебался от 45 до 167 лет. Вертикальный прирост торфяной залежи колебался от 6,3 мм/год до 20 мм/год, а в среднем из 10 определений составил 11,4 мм/год. Горизонтальный прирост торфяной залежи («наступление» болота) колебался от 1 м/год до 2,43 м/год, а в среднем составил 1,74 м/год.

По величинам вертикального прироста торфяной залежи от 0,63 до 20 мм/год нельзя судить о вертикальном приросте торфяной залежи в масштабе голоцена, так как эти слои торфяной залежи «свежие», еще не подвергшиеся уплотнению, которое обязательно будет по мере вертикального прироста торфяной залежи. Потому эти величины прироста следует брать с учетом их «молодости» или естественной плотности.

В гумидной зоне естественный ход болотообразовательного процесса направлен на максимальное покрытие равнинных территорий болотами. Единственной преградой этому является гидролесо- и сельскохозяйственная мелиорация. Как справедливо пишет Л.В. Подлесский [7], «Борьба с заболачиванием лесных земель, направленная на повышение их производительности, увеличение покрытой лесом площади за счет облесения части болот и на улучшение в итоге водоохранных и водорегулирующих функций леса – есть неотложное дело государственного масштаба...

Человек не может согласиться с уменьшением продуктивных лесных и сельскохозяйственных земель... Заболоченные земли ни хлеба, ни леса не рожают».

Выявилась еще одна сторона современных крупнейших болотных систем: возникшие в процессе развития болот внутриболотные озераки – озера существенно расширяют свои акватории, образуют внутриболотную гидрографическую сеть, выходящую за пределы болотных систем. В результате этого озера самоосушаются, в них резко падают глубины до 1,0–0,5 м. В озерах начинает активно развиваться водная растительность и возобновляется их заболачивание. В результате на многие десятки и сотни лет на этих площадях прерывается процесс торфонакопления. Внутриболотные озера становятся эфемерными образованиями [8].

Анализ динамики болотных систем показывает, что уже несколько тысяч лет фитогенетически более молодые виды растительного мира (более требовательные к минеральному питанию) на болотах сменяются видами менее продвинутыми в эволюционном развитии, т. е. более старыми и менее требовательными к минеральному питанию сфагновыми мхами и 2–3 видами трав: *Eriophorum vaginatum*, *Scheuchzeria palustris*, *Carex limosa*. То есть на болотах наблюдается «эволюционный регресс» в развитии биоты.

Важной чертой торфонакопления как физико-географического процесса является изменение условий стока поверхностных вод и минерального питания в районе болот. Верховые болота резко сокращают, а преимущественно прекращают инфильтрацию вод и сокращают густоту речной сети [9]. С увеличением заболоченности водосбора реки на 1% слой годового стока уменьшается в среднем на 0,4–0,5 мм [10, 11]. Верховые болота отдают воду в сток только при полном влагонасыщении торфяного горизонта, что наблюдается только ранней весной и редко – поздней осенью. Причем, до 50% и более этого стока диффузно стекает на окраины болот. Другая часть этого стока увеличивает весенние паводки [11, 12]. Летние осадки, попадающие на верховое болото, расходуются исключительно на пополнение вод деятельного горизонта, испарение и транспирацию. Верховое выпуклое болото как естественный аккумулятор влаги обеспечивает его только болотную растительность и не регулирует сток.

1 Работа была выполнена автором в 1991 году.

Часто указывается, что верховые выпуклые болота являются естественными биологическими фильтрами вод. Эти болота питаются только атмосферными осадками. Как указывалось выше, в летний период сток с них практически отсутствует, и воду они отдают в основном на транспирацию и испарение. В этот период верховое болото как фильтр не работает. Осенние осадки большей частью аккумулируются торфогенным горизонтом и в малом количестве стекают с болота, захватив некоторое количество растворенных органических и других соединений. Эта часть осадков должна подвергнуться «очистке», но стекает она поздней осенью, когда прекращается рост растений, а значит, и аккумуляция ими минеральных веществ. В это время роль болота как биологического фильтра сомнительна. Насыщение же выпавших атмосферных осадков продуктами разложения болота несомненно. Зимние осадки по мере таяния снега частично могут очищаться болотом, но одновременно они и насыщаются продуктами разложения болота. При разведках болот гидрогеологами на основании химических анализов вод всегда делается однозначный вывод, что болотные воды не пригодны для питьевого снабжения.

Болотные воды в болотно-озерных комплексах верховых болот создают неблагоприятные экологические условия для развития гидробионтов из-за большого содержания в своем составе органических кислот (рН = 4,5–5,5). Органические вещества верховых болот образуют очень прочные соединения с ионами многих металлов, и те становятся недоступными для растений. Поступление болотных вод в большом количестве в крупные реки приводит к созданию в них дефицита растворенного кислорода, особенно зимой. Возникают заморы.

Наличие верховых болот в ландшафте – это фактор снижения теплоэнергетических ресурсов климата. Над болотами более интенсивное радиационное охлаждение приземного слоя и меньше прогрев воздуха в периоды интенсивного турбулентного теплообмена. Верховые болота менее активно, чем леса, участвуют в процессах местного тепла и влагооборота в системе атмосфера – подстилающая поверхность и в водообмене в системе природно-территориальный комплекс – гидрогеологические структуры. По мере трансгрессии верховых болот на суходолы в голоцене ухудшались условия питания подземных вод, уменьшалась

общая территориальная величина радиационного баланса. То есть даже при неизменных фоновых климатических условиях при трансгрессии болот может меняться соотношение тепла и влаги в сторону их уменьшения, что является отрицательным для зон избыточного увлажнения.

Биогеохимический аспект анализа ресурсного потенциала заболоченных водоразделов

Основная часть торфяных массивов в естественном состоянии представлена болотными водами (в среднем эта величина составляет 90%). Состав болотных вод принципиально отличен от состава речных вод практически по всем гидрохимическим показателям (табл. 1) [13].

При близких величинах сухого остатка (~200 мг/л) состав речных вод преимущественно минеральный, а болотных вод водоразделов – органический. Минеральный остаток в речных водах (~100 мг/л). В три–пять раз выше, чем в болотных. Содержание СаО, соответственно, 50 и 20%. Снижение СаО в болотной воде провоцирует рост биогенной активности кремния, содержание которого в золе сфагново-торфяной массы достигает 50%. В результате при заболачивании лесных территорий азотно-кальциевый тип биологического круговорота меняется на азотно-кремниевый. Болотные воды в значительной мере обогащены тяжелыми металлами, преимущественно элементами группы железа и свинцом. Концентрация этих элементов в речной воде Обь–Иртыш в 4 раза, а в некоторых случаях до 10 раз превышает ПДК этих элементов для питьевой воды.

При заболачивании поверхности плодородие почв стремится к нулю, что характеризует переход земельных ресурсов в торфяные. При этом резко снижается важнейший фактор биопродуктивности – поступление в приземную атмосферу CO₂. Так, интенсивность выделения CO₂ с поверхности верховых болот летом в дневное время составляет 0,2–1 кг/га-час (в среднем 0,4 кг/га-час, а с наземной поверхности пойменных лугов – ~3 кг/га-час). Если в оптимально увлажненной органоминеральной таежной почве с лесосырьевыми ресурсами их метаболизм наиболее активен, что обеспечивает устойчивость всей системы,

Таблица 1. Вещественный состав водной среды в таежной зоне Обь-Иртышского бассейна [13]

Table 1. Material composition of the aqueous medium in the taiga zone of the Ob-Irtysh basin [13]

Показатель	Речные воды (n = 191)	Поверхностные воды поймы (n = 47)	Болотные воды водоразделов (n = 98)
рН среды	6,5–8,3 (7,3)	6,6–8,2 (7,6)	3,5–5,8 (4,2)
Щелочность, м-экв/л	0,8–5,8 (2,1)	0,8–2,7 (1,6)	0,1–0,7 (0,3)
Жесткость, м-экв/л	0,6–6,0 (2,1)	0,6–3,4 (1,7)	0,1–1,0 (0,7)
СО ₂ , мг/л	2–25 (12)	5–13 (10)	13–43 (25)
Окисляемость, мг О/л	3–82 (38)	5–55 (30)	28–224 (115)
Сухой остаток, мг/л	56–334 (204)	73–172 (144)	86–385 (202)
Кремний	2–26 (11)	1–9 (4)	7–51 (21)
Кальций	9–134 (56)	3–33 (14)	8–81 (31)
Магний	3–33 (14)	2–8 (4)	3–23 (10)
Железо	0,2–3,5 (1,2)	0,3–3,5 (1,6)	3–24 (9)
Алюминий	0,1–2,0 (0,4)	0,1–0,3 (0,2)	2–18 (8)
Титан	20–660 (198)	7–205 (58)	24–521 (225)
Марганец	101–486 (124)	6–61 (29)	76–2318 (882)
Стронций	96–804 (392)	46–216 (122)	52–571 (233)
Барий	22–586 (161)	18–146 (68)	44–2083 (394)
Цинк	7–80 (31)	-	22–588 (239)
Ванадий	1–13 (5)	1–3 (2)	4–37 (16)
Медь	1–47 (10)	2–11 (5)	13–124 (39)
Хром	1–16 (5)	1–3 (2)	5–40 (18)
Никель	1–15 (5)	1–6 (3)	8–57 (23)
Свинец	0,4–11 (3)	0,1–1,3 (0,6)	1–113 (27)
Кобальт	0,2–2 (1)	0,1–0,6 (0,3)	2–17 (5)

Примечание: Содержание кремния – алюминия дано в мг/л, титана – кобальта – мкг/л.

то в избыточно увлажненной органоуглеродной болотной среде с торфом метаболизм вещества сильно заторможен [13]. В целом количественные показатели углеродно-кальциевого комплекса индицируют экологическое состояние всего ландшафта, в том числе тенденцию его заболачивания.

Еще один аспект роли верховых болот в природе. В связи с резким ослаблением обмена веществ с изменением его кальциево-азотного типа на кремниевое-азотный наряду с накоплением кремнезема в процессе биогенной аккумуляции осоками, хвощами и особенно сфагновыми мхами (до 50% массы золы) в условиях переувлажнения и богатства растворенным

органическим веществом болот существенно повышается активность многих тяжелых металлов. Так, коэффициенты водной миграции в лесных и болотных фракциях составляют соответственно: по железу – 0,1 и 1,2; алюминию – 0,1 и 0,8; марганцу – 0,8 и 10,0; цинку – 1,3 и 7; свинцу – 0,5 и 4,5 [14, с. 128] ..., а «... исключительная сорбционная способность сфагнового торфа по отношению к металлам и повышенная растворимость многих из них в восстановительной обстановке болот с образованием мигрирующих органоминеральных форм соединений позволяет рассматривать олиготрофные болота как индикаторы загрязнения территории» [14, с. 127]. Повышенное содержание в болотных водах по сравнению с водами рек ионов кремния, алюминия, железа, фосфора, марганца, меди, никеля, кобальта, свинца, хрома, ванадия создает предпосылки увеличения концентраций этих элементов и в речном стоке заболоченных водосборов.

Свидетельством приоритетной роли углеродно-кальциевых соединений в таежных ландшафтах служит гидрокарбонатно-кальциевый состав их болотных вод, характеризующийся показателями щелочности, обусловленной анионом НСО₃, и жесткости, обусловленной катионом Са²⁺ (табл. 1). Снижение концентрации этих ионов в поверхностных водах таежных ландшафтов до 0,5 мг/экв/л и менее свидетельствует о необратимом процессе заболачивания [13, 14].

Основные доводы в необходимости внесения крупных болот верхового типа в России в Рамсарский список по программе Wetlands international таковы:

- регулирование верховыми болотами глобального климата;
- накопление и хранение пресной воды;
- регулирование поверхностного и подземного стока;
- изъятие из атмосферы и накопление углерода с целью предотвращения парникового эффекта;
- стабилизация климатических условий.

В настоящее время теория климата не в состоянии однозначно объяснить причины формирования длительных тенденций изменения климата в сторону потепления или похолодания, сухости или увлажнения [15, с. 108]. Естественными факторами влияния на климат Земли являются астрономические (процессы на Солнце и в Солнечной системе в целом, а также изменения геометрии земной

орбиты); геофизические (свойства земли как планеты); циркуляционные (связанные с процессами внутри самой атмосферы). На последний фактор значительное влияние оказывают астрономических и геофизических факторов изменения климата [15, 16, 17, 18, 19]. Нет достаточного доказательства катастрофического похолодания климата по причине аэрозольного воздействия на атмосферу.

О роли малых газовых компонентов, создающих парниковый эффект

Обычно к парниковым газам относятся водяной пар и углекислый газ. Суммарный эффект их таков, что при отсутствии водяного пара при прочих равных условиях температура атмосферы была бы почти на 32 °C ниже современной. При отсутствии CO₂ температура была бы примерно на 6 °C ниже [15, с. 129].

В настоящее время в атмосфере содержится 0,034% CO₂ (2681 млрд. т CO₂). В истории Земли были периоды, когда содержание CO₂ было существенно больше, чем теперь. Так, накануне периода индустриализации содержание CO₂ составляло ~280 млн⁻¹.

В начале XX века оно быстро росло за счет антропогенного фактора. В прошлом подобное повышение содержания CO₂ было в период микулинского оптимума (120–135 тыс. лет назад), накануне последнего оледенения и в период климатического оптимума голоцена. Однако на этом основании нельзя делать вывод, что климат прошлых веков определялся увеличением содержания CO₂, а климат холодных эпох – его малым содержанием. В соответствии с численными оценками в период микулинского оптимума и оптимума голоцена температура за счет таких разностей в концентрации CO₂ в эти периоды должна была бы быть всего на несколько десятых градуса ниже. В действительности диапазон изменения температур при переходе от ледникового периода к климатическому оптимуму составляет 6–8 °C и более. Ясно, что изменение температурного режима в основном было связано с изменением орбитальных параметров.

Изменения же концентрации CO₂ в эти периоды только отражали изменения скорости обмена CO₂ с океаном в зависимости от температурного режима и аналитическую зависимость скорости обмена CO₂ с биосферой, зависящей от температурного и влажностного

режима атмосферы. Бытующая в некоторых научных публикациях и даже зачастую «навязываемая» очень упрощенная оценка изменений климата, заключающаяся в том, что рост углекислого газа приводит к потеплению, а рост аэрозоля – к похолоданию и что в зависимости от преобладания того или иного эффекта будет определяться знак и величина климатических изменений, далека от действительности [15, с. 130–131].

Расчеты по моделям теории климата показали: для перехода от современного климата к полному оледенению Земли достаточно уменьшение солнечной постоянной на 5%. Также вероятно, что «белая Земля» возникла бы и при существующем значении солнечной постоянной, если значительно уменьшится масса находящегося в атмосфере CO₂ [20].

По разным оценкам [21, 22], в настоящее время за счет сжигания природного топлива в атмосферу поступает около 5–7 млрд т CO₂ или 1,4–1,9 млрд т чистого углерода. Это количество поступающего в атмосферу углерода не только влияет на состав газовой смеси, но и несколько увеличивает общее давление атмосферы. При двукратном увеличении концентрации CO₂ в земной атмосфере с 0,035 до 0,07% (ожидается в 2100 году) среднее давление атмосферы возрастет ~ на 0,146 мбар. В этом случае температура поверхности земли и парниковый эффект согласно [23] при удвоении концентрации атмосферного CO₂ к 2100 году практически не меняется (по расчету, потеплеет всего на 0,01 °C). Увеличение концентрации CO₂ в земной атмосфере может оказаться даже полезным фактором, повышающим продуктивность сельхозугодий и способствующим более эффективному восстановлению растительной массы в районах сведения лесов.

Если все же глобальный климат Земли потеплел, причину надо искать в других процессах и явлениях (увеличение солнечной активности или в изменении циркуляции океанических течений, что более вероятно) [24]. Нельзя согласиться с авторами о том, что «Величина захоронения» (стока) углерода на суше достигает заметных значений лишь в тундровых, реже – таежных регионах, а например, в тропических дождевых лесах годовая величина баланса углерода равна нулю.

Как известно, абсолютное количество торфяных месторождений в северном полушарии находится в таежном поясе. В тундре практически отсутствуют торфяные месторождения.

В заболоченностях, которые там широко распространены, мощность торфа не более 0,5 м.

Согласно справочнику [25], на конец XX столетия торфяные ресурсы тропического пояса оцениваются в 98 млрд т (~20% мировых запасов). При этом следует отметить, что торфяные ресурсы этого пояса изучены и определены очень слабо.

В настоящее время практически все торфяные месторождения с промышленными запасами торфа находятся в землях лесного фонда, в котором юридически и фактически статус месторождения торфа отсутствует. В последней редакции лесного кодекса болота и заболоченные леса как причина заболачивания не рассматриваются.

Традиционное направление использования торфа – топливо для ЖКХ и малой энергетики. По калорийности он не уступает дровам, сланцу, бурому и многим сортам каменного угля. Стоимость электроэнергии на торфяном топливе – на уровне стоимости на природном газе. В котельных ЖКХ стоимость одной гигакалории тепла на торфе в два раза ниже, чем на каменном угле. В топливном балансе Финляндии торф составляет 15–25%, Швеция – 10%. Суммарные разведанные запасы торфа России в пересчете на условное топливо почти равны суммарным запасам нефти и газа и уступают только углю (торф – 49,5 млрд т, газ – 22 млрд т, нефть – 31 млрд т).

Представляет интерес то, как используются торфяные месторождения в Канаде, стране с подобным России климатом и торфяными месторождениями, близкими нашим.

Площадь торфяных земель Канады составляет 111 млн га [26]. Из них осушено для нужд сельского хозяйства 17 млн га, 41 тыс. га осушена и используется в садоводстве и 25 тыс. га – в лесном деле. Около 700 тыс. га торфяных земель в естественном состоянии отведено для водоплавающих птиц и зверей (охрана). Добыча торфа составляет 750–900 тыс. т/год. А годовая реализация торфяной продукции составляет около 100–110 млн. долларов (США). Годовая рыночная стоимость выращенных овощей на торфяных землях в 90-е годы XX века составляла около 100 млн долларов (США). В будущем намерены получать на торфяных землях от выращивания овощей прибыль в размере 10 млрд долларов (год) [26].

В настоящее время в России торф еще не нашел должной оценки и применения.

Торф – один из самых активных природных ионообменников. Он способен удерживать в 8–10-кратном количестве (по массе) масла и нефтепродукты, ряд других взвешенных веществ. Торф – один из лучших видов сырья для производства активных углей и сорбентов, горного воска. Нужда в этих продуктах огромная. Поэтому наряду с традиционным использованием торфа (основа органических удобрений, мелиорантов почв, подстилки для скота, тепличное хозяйство) торф непременно займет достойное место в разрешении экологических проблем.

В условиях России у торфа есть еще одно важное достоинство. Это широкое и относительно равномерное размещение торфяных месторождений по всей лесной части России: от Калининграда и Мурманска на западе до Сахалина, Камчатки на Дальнем Востоке. Что дает возможность относительно быстрого и комплексного освоения, торфяных месторождений, включая промышленное производство топлива для малой энергетики, жилищно-коммунального хозяйства, сельского хозяйства и охраны окружающей среды.

Рациональное использование торфяных ресурсов должно исходить из реальных функций болот в природе, а не мифических. Реальные же их функции таковы: неуклонное заболачивание окружающих лесов, снижение прироста биомассы на болотах. Практика канализации болот в европейской части России в XIX–XX веках привела к улучшению меженного стока, увеличению прироста биомассы и увеличению торфонакопления путем сокращения роста озерности на болотных системах, возрастанию бонитета прилегающих лесов. Каналы – верное средство в борьбе с лесными пожарами.

Наш анализ торфяных ресурсов Ленинградской области показал, что промышленный торфяной фонд Ленинградской области по состоянию на 2000 г. составляет 35% площади всех болот области. Заболоченность в этом анализе не рассматривалась. В промышленный торфяной фонд включены месторождения площадью 100 га и более по глубине 1,5 м. Именно эти площади должны быть выведены из состава лесного фонда. Считаем, что в большинстве регионов лесной зоны величина торфяного фонда будет в этих пределах. Именно эти месторождения должны быть исключены из списков Рамсарских угодий.

В установившейся практике использования болот гумидной зоны России не менее 15% площадей болот являются охраняемыми объектами (в большинстве случаев этот процент увеличен в два и более раз). Поэтому дополнительное увеличение площади охраняемых болот во всех регионах Европейской части России и в значительной Азиатской части не оправдано ни с экологических позиций, ни, тем более, с экономических и социальных. Биологическое разнообразие только охраняемые существующие болота в состоянии обеспечить с лихвой. А если учесть, что количество разрабатываемых болот для добычи торфа и осушенных для лесоразведения и сельскохозяйственных угодий даже в таких областях, как Ленинградская, где добыча торфа и осушение болот проводят весьма интенсивно уже 200 лет, составляет всего 0,76% всей территории области, то существующие в области запасы торфа при очень высоких темпах добычи (до 2,5 млн тонн в год) теоретически будут сработаны через 600–700 лет. Практически же с учетом ежегодного прироста торфа, порядка 2,5 млн тонн, сроки сработки запасов торфа отодвигаются за тысячу лет.

Разумное использование крупнейших верховых болотных систем (ВБС) в климатическом поясе с коэффициентом увлажнения 1,3 и более на последнем этапе их развития (подробнее в [7]) становится остро необходимым. Прежде всего – это отвод излишних вод из ВБС, площади которых на этом этапе достигают сотен, а в особо благоприятных условиях – тысяч кв. км (Центральная часть Западно-Сибирской равнины, Северо-Восток и Север-Запад Европейской части России).

Ожидаемые результаты подобного вмешательства: количество озер сокращается, возобновляется торфонакопление в системе, поглощение CO₂ увеличивается, а лесная растительность на окраинах ВБС увеличивает свой прирост. Поэтому тезис необходимости сохранения в неизменном состоянии верховых болот России недостаточно обоснован.

Литература

1. Федотов Ю.П., Минаева Т.Ю. Экологические сети и сохранение биоразнообразия в центральной России. М.: ВНИИ Природы, 2000.
2. Кузьмин Г.Ф. Болота и их использование. Сб. научн. тр., СПб.: Изд-во ВНИИТП, 1993. – Вып. 70. – 140 с.
3. Иванов К.Е. Водообмен в болотных ландшафтах. – Л.: Гидрометеиздат, 1975. – 279 с.
4. Елина Г.А., Кузнецов О.В., Максимов А.И. Структурно-функциональная организация и динамика болотных экосистем Карелии. – Л.: Наука, 1984. – 128 с.
5. Нейштадт М.И. Болотообразовательные процессы в голоцене. – М.: Изд-во АН СССР, сер. геогр. № 1, 1985. – С. 39–48.
6. Кузьмин Г.Ф. Торфяные ресурсы Северо-Запада России и их использование. – СПб.: Изд-во НИИТП, 1997. – С. 148.
7. Подлесский Л.В. Гидролесомелиоративным работам нужна активная защита науки // Гидротехническая мелиорация земель. Ведение лесного хозяйства и вопросы экологии. – СПб.: СПб. НИИЛХ, 1997. – Ч. 112–115.
8. Иванов К.Е. Эрозионные явления на болотах и их роль в формировании озерно-болотных ландшафтов Западной Сибири // Тр. ГГИ. – Вып. 157. – Л.: Гидрометеиздат, 1969. – С. 78–98.
9. Нечаева Е.Г. Ландшафтно-геохимическая оценка качества возобновимых ресурсов таежного Обь-Иртышья // География и природные ресурсы. – 2003. – № 2. – С. 67–72.
10. Булавко А.Г., Маслов Б.С. Водорегулирующее значение болот и последствия их осушения. Гидротехника и мелиорация. – 1982. – № 8. – С. 53–55.
11. Иванов К.Е. Основы гидрологии болот лесной зоны и расчеты водного режима болотных массивов. – Л.: Гидрометеиздат, 1957. – 500 с.
12. Иванов К.Е., Сытина И.А. Исследование изменения водного питания территорий, окружающих болотные системы, при осушительных мелиорациях без регулирования водного режима. Тр. ГГИ, вып. 303 // Вопросы гидрологии болот. – Л.: Гидрометеиздат, 1983. – С. 53–62.
13. Антипов А.Н., Нечаева Е.Г. и др. Природа таежного Прииртышья. – Новосибир.: Наука, 1987. – 256 с.
14. Малик Л.К. Осушительные мелиорации и состояние малых рек Западной Сибири. В сб.: Вопросы гидрографии, № 118, малые реки. – М.: Мысль, 1981. – С. 139–144.
15. Борисенков Е.П., Пасецкий В.М. Летопись необычайных явлений природы

- за 2,5 тысячелетия. – СПб.: Гидрометеиздат, 2003. – 536 с.
16. *Борисенков Е.П.* Многофакторная природа парникового эффекта (Роль механизмов прямой и обратной связи и сопутствующих явлений) // Географические проблемы конца XX века. – СПб., 1998. – С. 183–205.
 17. *Борисенков Е.П., Кондратьев К.Я.* Глобальный круговорот углерода и климат. – Л., 1987.
 18. *Медведев Н.Д.* Долгосрочный прогноз миграции магнитных полюсов // Бюллетень САЭ. – 1975. – № 90.
 19. *Борисенков Е.П.* Гравитация, климат и погода // Вест. СПб. гос. ун-та. – 1998. – Сер. 7. – Вып. 1. – С. 87–91.
 20. *Будыко М.И., Ронов А.Б., Яшин А.Л.* История атмосферы. – Л.: Гидрометеиздат, 1985. – 208 с.
 21. Глобальное потепление: доклад Гринпис. – М.; Изд-во МГУ, 1993. – 272 с.
 22. Планета Венера: Атмосфера поверхности, внутреннее строение. – М.: Наука, 1989. – 482 с.
 23. *Хромов С.П., Петросянц М.А.* Метеорология и климатология. М.: Изд-во МГУ, 1994. – 520 с.
 24. *Сорохтин О.Г., Ушаков С.А.* Физическая теория парникового эффекта атмосферы // Глобальные экологические проблемы на пороге XXI века. – М.: Наука, 1998. – С. 69–86.
 25. Торфяные ресурсы мира. Справочник / Под ред. А.С. Оленина. – М.: Недра, 1988. – 383 с.
 26. *Rubec Cl., Keys D.* Sustainability and Peatland Resources use in Canada // International conference. Sept. 7–10, 1993, Canada.

УДК 622.83.023.4:624.121

Миронов В.А.

Миронов Вячеслав Александрович, д. т. н., зав. кафедрой автомобильных дорог, оснований и фундаментов Тверского государственного технического университета (ТвГТУ), профессор. 170026, Тверь, наб. Аф. Никитина, 22.

Зюзин Б.Ф.

Зюзин Борис Федорович, д. т. н., зав. кафедрой торфяных машин и оборудования ТвГТУ, профессор. 170023, Тверь, Академическая, 12.
zbfu@yandex.ru

Фадеев В.В.

Фадеев Вадим Валентинович, к. т. н., доцент кафедры автомобильных дорог, оснований и фундаментов ТвГТУ.
stroiroad@mail.ru

**ОСНОВНЫЕ
ЗАКОНОМЕРНОСТИ
ДЕФОРМИРОВАНИЯ
МЕРЗЛЫХ
ОРГАНОМИНЕРАЛЬНЫХ
ГРУНТОВ В УСЛОВИЯХ
ТРЕХОСНОГО СЖАТИЯ**

Аннотация. Приведены результаты экспериментальных исследований авторов механических свойств органоминеральных грунтов при отрицательных температурах. Для обработки результатов применялись основные инварианты дистортности.

Ключевые слова: прочностные и деформационные характеристики органоминеральных пород в мерзлом состоянии, инварианты дистортности.

Mironov V.A.

Mironov Vyacheslav A., Dr. Sci., Prof., Head of the Chair of Automobile Roads, Grounds and Foundations of the Tver State Technical University (TSTU)

Zyuzin B.F.

Zyuzin Boris F., Dr. Sci., Prof., Head of the Chair of Peat Machinery and Equipment, TSTU.
zbfu@yandex.ru

Fadeev V.V.

Fadeev Vadim V., PhD, Associate professor of the Chair of Automobile Roads, Grounds and Foundations, TSTU.
stroiroad@mail.ru

**THE MAIN REGULARITIES
OF DEFORMATION OF
FROZEN ORGANIC AND
MINERAL SOILS
IN THE CONDITIONS OF
TRIAxIAL COMPRESSION**

Abstract. The results of experimental investigation of mechanical properties of organic soils at low temperatures are given. The main invariants of a distortnost were applied to processing of the results.

Key words: strength and deformation characteristics of organic soils in frozen condition, the invariants of distortion.

Лабораторные и полевые установки

Территории Сибири и Крайнего Севера отличаются холодным климатом, сложными инженерно-геологическими условиями и пересеченными рельефами. Чтобы избежать ухудшения экологической ситуации в указанных районах, которые составляют более 60% территории страны, и обеспечить устойчивость системы «Земля–Биосфера–Человечество» необходимо ускоренное внедрение в практику современных научных достижений по рациональному комплексированию различных видов испытаний грунтов с учетом надежной информативности каждого из методов для конкретных инженерно-геологических условий застраиваемой площадки.

Интенсивное использование нефтегазовых месторождений, строительство автомобильных дорог и других сооружений в районах Республики Коми, в Западной Сибири, Арктике, которые характерны наличием вечной мерзлоты, залеганием мощных пластов льда, торфа и органоминеральных грунтов, требует новых знаний об изменчивости прочностных и деформационных характеристик слагаемых пород в мерзлом состоянии.

На протяжении многих лет сотрудниками кафедры «Автомобильные дороги, основания и фундаменты» ТвГТУ выполнен большой объем исследований с помощью полевых методов (с использованием плоских и сферических штампов, винтовых свай и специальных задавливающих установок), которые более точно моделируют реальную работу грунта в основании сооружений. Однако эти методы требуют значительных затрат времени и финансовых ресурсов.

Параллельно лабораторные опыты выполнялись на приборе трехосного сжатия в камере объемом 27 м³ путем выдавливания в образец жесткой сферы на одноосное растяжение мерзлых образцов цилиндрической формы (всего испытано более 1200 образцов) [1, 2]. Для установления надежных показателей механических свойств при минимальных затратах труда и времени авторы считают одним из перспективных путей решения этого вопроса использование для оценки механических свойств различной косвенной информации: влаго-содержание, льдистость, структурные связи, температура, степень нагружения.

В настоящей статье определяется главная задача – установить корреляционные зависимости прочностных и деформационных характеристик мерзлых пород (лед, глина, торф и др.) от различных сочетаний: физических свойств, температуры, степени и времени нагружения.

Как показали исследования ведущих ученых, чисто теоретическое решение такой сложной задачи не представляется возможным на основе известных математических моделей. Вместе с тем, экспериментальные результаты могут послужить базисом для хороших рабочих гипотез.

В полевых условиях исследования мерзлых грунтов (1970–1992 гг.) выполнялись с помощью полевых лабораторий (ПЛГ), включающих в себя установку с усилием задавливания от 25 до 100 КН, зонды, винтовые сваи, грунтоносы, пробоотборники. Характер механических свойств глинистых, органоминеральных и торфяных грунтов всегда сохраняет индивидуальность, которая определяется их генезисом и процессами преобразования структуры при внешних воздействиях. Поэтому поиски любых зависимостей производились не только на отдельных отложениях мерзлых пород, но и, согласно В.А. Приклонскому, устанавливались корреляционные связи, что следует отнести к числу важнейших проблем грунтоведения.

Серьезной проблемой является отсутствие единой методики в производстве испытаний грунтов и обработке результатов опытов.

Поэтому основное внимание в статье уделяется анализу современных теорий оценки предельных состояний различных горных пород, что позволяет получить более надежные результаты для мерзлых грунтов в условиях их упругопластического деформирования.

Среди многих современных теорий авторы отдают предпочтение обобщенной теории прочности (Н.Н. Давиденков и Я.Б. Фридман) и синтетической теории Е.И. Шемякина с тремя инвариантами [3]:

$$\tau_{\max} = T = (\sigma_1 - \sigma_2) / 2;$$

$$\sigma_n = (\sigma_1 + \sigma_3) / 2, \mu_\sigma = (\sigma_2 - \sigma_n) / T.$$

Исследования деформируемости мерзлых пород (лед, глины, торфы и заторфованные грунты) характеризуются одинаковой зависимостью от истории их нагружения, величиной накопленной деформации, временем

и величиной отрицательной температуры. Основная проблема выбора математической модели связана с трудностью установления связей между компонентами (инвариантами) тензоров напряжений и деформаций в зависимости от истории нагружения образцов.

Для исследований применялась опытная конструкция установки (авторы В.А. Миронов, В.Н. Трофимов) с независимым управлением главными напряжениями по всем трем координатным осям ($\sigma_1 \geq \sigma_2 \geq \sigma_3$) (рис. 1). В камере применялись образцы кубической формы размерами 150×150×150 мм. В опытах на разных грунтах установлены явно нелинейные зависимости с самого начала загрузки независимо от инвариантов:

$$J_{1\varepsilon}(T_\varepsilon^0) = 3\varepsilon_0 = \varepsilon_1 + \varepsilon_2 + \varepsilon_3; \gamma_i = 2\sqrt{J_{2\sigma}^\Phi};$$

$$\varepsilon_i = 1/\sqrt{3} \gamma_i; \varepsilon_{\text{окт}} = 1/3 (\varepsilon_1 + \varepsilon_2 + \varepsilon_3);$$

$$\gamma_{\text{окт}} = 2/3 \sqrt{(\varepsilon_1 - \varepsilon_2)^2 + (\varepsilon_2 - \varepsilon_3)^2 + (\varepsilon_3 - \varepsilon_1)^2}.$$

Инварианты НДС

В работах академика Е.И. Шемякина хорошие данные получаются при введении еще одного инварианта – параметра Лодэ:

$$\mu_\sigma = \frac{2\sigma_2 - \sigma_1 - \sigma_3}{\sigma_1 - \sigma_3}; \mu_\varepsilon = \frac{2\varepsilon_2 - \varepsilon_1 - \varepsilon_3}{\varepsilon_1 - \varepsilon_3}.$$

Сравнение данных трехосных испытаний образцов с опытами Е.И. Шемякина [3] для реальных многофазных грунтов (феноменологический подход) показывает, что можно без раскрытия несущественных свойств изменения структуры на основе теории Кулона–Мора построить модель механизма происходящих явлений как в зоне допредельного, так и при условии предельного напряженного состояния.

Результаты изучения механических свойств мерзлых торфяных пород в условиях трехосного сжатия и при внедрении жесткой сферы позволили сделать следующие обобщения: напряженное состояние, при котором объем, температура и степень нагружения образца сохраняются постоянными при определенных давлениях – такое равновесное состояние в геомеханике можно условно назвать «допредельным».

А совокупность допредельных состояний в пространстве координат для элементарного объема можно выразить в виде известных шарового и девiatorа тензоров напряжений [4, 5, 6].

Решена основная задача по изучению процессов при различных траекториях нагружения и значении параметра Лодэ (0; +1; -1); в условиях достаточно низких температур (-0,5; -1; -2 °C).

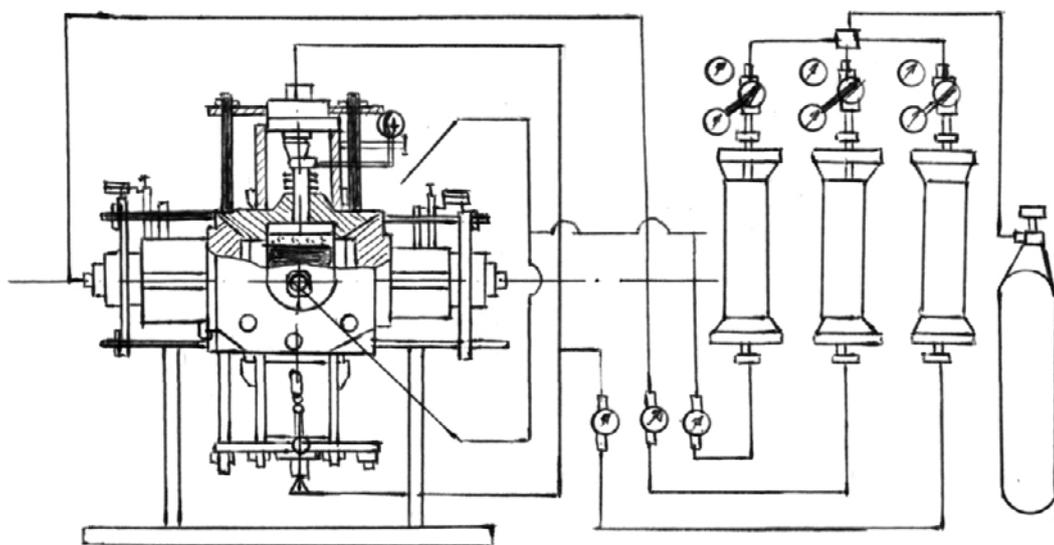


Рис. 1. Схема установки трехосного нагружения мерзлых пород УИТ-1520 (конструкция КПИ, получено авторское свидетельство)

Fig. 1. Scheme of installation of three-axis loading of permafrost CITS-1520 (copyright certificate of Kalinin Politechnical Institute)

Установлена связь между компонентами тензоров напряжений и деформаций, которая имеет явно нелинейный характер, а параметры E и ν зависят в явной мере от напряженного состояния, но при этом не являются константами уравнений.

Эта особенность грунтов объясняется, как правило, их физической нелинейностью.

На основании выполненных опытов и с позиций нелинейной механики можно сделать следующие выводы: деформация формоизменения зависит не только от девиатора напряжений, но и в значительной степени от шарового тензора и вида напряженного состояния; на деформацию изменения объема куба влияет в значительной степени шаровой тензор и в меньшей степени девиатор напряжений; не при всех траекториях нагружения строго выполняется подобие напряженного и деформированного состояний.

Это положение для мерзлых пород отличается от положений упругопластического деформирования ряда конструкционных (композиционных и модельных) материалов, исходя из классической деформационной теории пластичности.

Опуская фактор времени, уравнение состояния грунтов можно записать в виде следующих функциональных зависимостей:

$$\gamma_i = \gamma_i(\tau_i, \sigma_0, \mu_\sigma) \text{ или } \varepsilon_i = \varepsilon_i(\sigma_i, \sigma_0, \mu_0).$$

Отмечено, что чем больше величина σ_0 , тем больше проявляется трение и уменьшается влияние девиатора на формоизменение образца.

При равном значении σ_i величина деформации ε_i уменьшается при возрастании σ_0 . В случае равных значений τ_i и σ_0 наибольшее формоизменение отмечено в опытах при $\mu_\sigma = -1$ ($\sigma_1 = \sigma_2$) и наименьшее – при $\mu_\sigma = 1$ ($\sigma_2 = \sigma_3$).

Анализ результатов экспериментальных исследований

На рис. 2 показан пример типичной зависимости $\gamma_i = \gamma_i(\tau_i, \sigma_0, \mu_\sigma)$ для мерзлого торфа при $\Theta = -3^\circ$ в диапазоне $\mu_\sigma = +1; 0; -1$.

Достижение предельного состояния в опытах (рис. 3) проверялось не столько по характеру кривых $\tau_i = f(\gamma_i)$, сколько по величине изменения продольных ε_1 и поперечных относительных деформаций ε_3 с учетом увеличения главного напряжения σ_1 (влияние дилатансии).

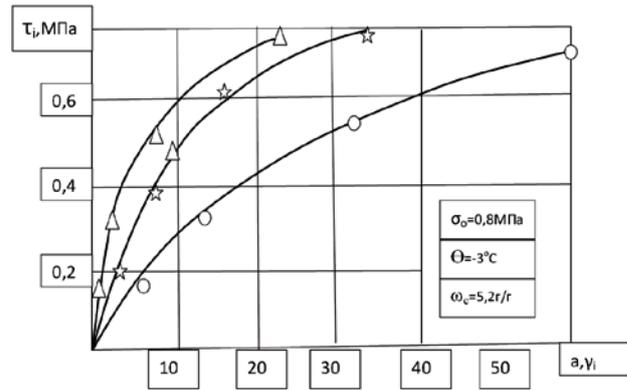


Рис. 2. Зависимость формоизменения мерзлого грунта с учетом вида напряженного состояния: 1, 2, 3 – соответственно при $\mu_\sigma = +1, 0, -1$

Fig. 2. Dependence of forming frozen ground for the type of the stress state: 1, 2, 3 – respectively, at $\mu_\sigma = +1, 0, -1$

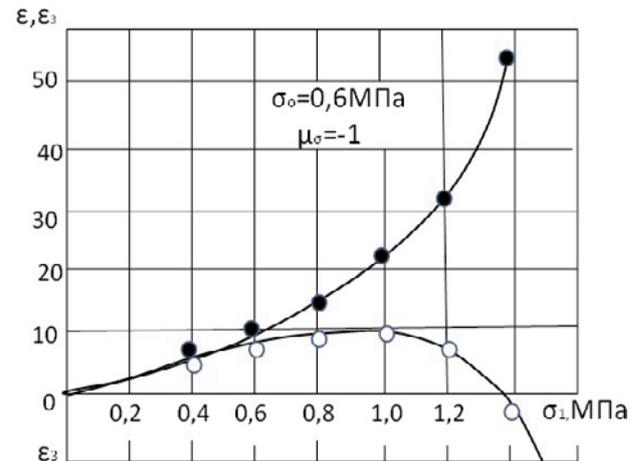


Рис. 3. Зависимость относительных деформаций $\varepsilon_1, \varepsilon_3$ от σ_1 , при $\sigma_0 = 0,6$ МПа и $\mu_\sigma = -1$

Fig. 3. Relative deformations $\varepsilon_1, \varepsilon_3$ from σ_1 , when $\sigma_0 = 0.6$ МПа and $\mu_\sigma = -1$

Одной из важных задач экспериментальных опытов в приборе УИТ-1520 различных мерзлых грунтов было установление влияния инвариантов ($\tau_i, \sigma_0, \mu_\sigma$) на деформируемость образца, что позволило с достаточной точностью для инженерной практики в упрощенной форме записать уравнения состояния.

При этом в основу нашей концепции положена синтетическая теория Е.И. Шемякина [3].

В опытах на мерзлых торфяных грунтах (рис. 4) установлено, что объемная деформация образца зависит главным образом от величины среднего напряжения и отрицательной температуры.

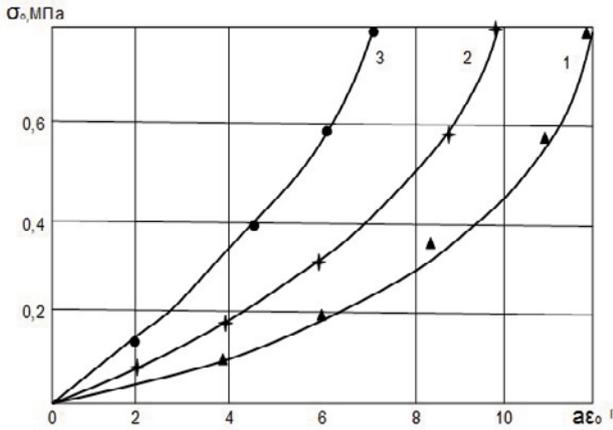


Рис. 4. Зависимость средней объемной деформации ε_0^v мерзлого торфа: 1, 2, 3 – соответственно при $\theta = -1,5, -3, -5$ °C

Fig. 4. Dependence of the average volume strain ε_0^v frozen peat: 1, 2, 3 – respectively, at $\theta = -1,5, -3, -5$ °C

При постоянстве параметра Лодэ и с увеличением температуры $-1,5, -3, -5$ °C все зависимости $\varepsilon_0 = f(\sigma_0)$, имеют явно нелинейный характер. Таким образом, при любой структуре мерзлого грунта необходимо отвечать следующим требованиям: условию предельного напряженного состояния при любой траектории нагружения образца; функциональные зависимости должны связывать не только T_σ и T_τ , но и другие базовые параметры, характеризующие прочность грунта (φ, C); учитывать особенности механического поведения грунта в зависимости от соотношения касательных и направления напряжений в условиях определенного температурно-временного фактора.

Рассматривая теорию прочности Кулона Мора, допредельное состояние имеет место, если $\tau_{\max} \leq (\sigma_1 - \sigma_3)/2$.

Для грунтов, обладающих значительным сцеплением, на площадке скольжения разность $\Phi_1 = [\tau]_{\text{пр}} - (\sigma + H)f$, где $f = \text{tg}\varphi$ и $H = c/\text{ctg}\varphi$.

По условию Треска–Сен-Венана, для случая пространственной задачи справедлива следующая математическая запись:

$$2|\tau_{12}| = |\sigma_1 - \sigma_2| \leq \sigma_s,$$

$$2|\tau_{23}| = |\sigma_2 - \sigma_3| \leq \sigma_s,$$

$$2|\tau_{31}| = |\sigma_3 - \sigma_1| \leq \sigma_s.$$

Знак неравенства во всех трех условиях указывает на наличие упругого деформированного грунта.

При приближении к предельному состоянию будет справедлива взаимосвязь между касательными и главными нормальными напряжениями в виде: $\tau_{12} + \tau_{23} + \tau_{31} = \frac{\sigma_1 - \sigma_2}{2} + \frac{\sigma_2 - \sigma_3}{2} + \frac{\sigma_3 - \sigma_1}{2} = 0$.

В координатной системе $\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$ предыдущее уравнение представляется плоскостями попарно параллельными друг другу и одной из главных осей σ_i . При этом образуются параллельные шестигранные призмы.

С целью упрощения математических затруднений в неравенствах Мизеса заменил шестигранную призму круглым цилиндром, что позволило записать $(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2 = 2\sigma_s^2$, при этом радиус текучести по Мизесу равен $R = \sigma_s/\sqrt{3}$.

А.И. Боткин применительно к грунтам, обобщая теорию Губера–Мизеса [5], доказал линейную связь между $\tau_{\text{окт}} = f(\sigma_{\text{окт}})$ на равнонаклоненных к главным осям площадкам.

В наших опытах на мерзлых торфяных грунтах (рис. 5) теория А.И. Боткина получила хорошее подтверждение из уравнения

$$\tau_{\text{окт}} - \sigma_{\text{окт}} \text{tg} \rho_{\text{окт}} - K_{\text{окт}} = 0,$$

где $\rho_{\text{окт}}$ и $K_{\text{окт}}$ – характеристики прочности грунта, определяющие положение осредняющей прямой в координатах $\tau_{\text{окт}} - \sigma_{\text{окт}}$

В предельном случае $|\tau_{\text{окт}}|_{\text{пр}} = m(\sigma_0 - \sigma_3)$, где $m = \text{tg} \rho_{\text{окт}} \sigma_3 = K_{\text{окт}}/\text{tg} \rho_{\text{окт}}$

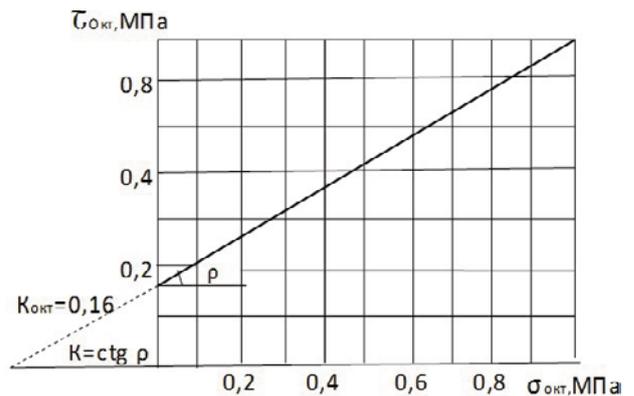


Рис. 5. Зависимость между $\tau_{\text{окт}}$ и $\sigma_{\text{окт}}$, полученная в опытах на трехосное сжатие мерзлого торфа

Fig. 5. The relationship between $\tau_{\text{окт}}$ and $\sigma_{\text{окт}}$ obtained in the experiments of triaxial compression of frozen peat

В качестве еще одного важного критерия принимаем соотношение вида: $3\sigma_0^2 + 2\tau_i^2 = \sigma_s^2$.

В исследованиях С.С. Вялова, А.И. Бот-

кина, А.Л. Крыжановского, П.А. Коновалова, М.В. Малышева и других авторов [4, 5, 6] на песчаных, глинистых и органоминеральных грунтах было доказано, что интенсивность деформации грунта не может быть выражена через функцию интенсивности напряжений. Поэтому для механики мерзлых грунтов актуальным является дальнейшее развитие теории упругопластического деформирования с учетом структуры грунта, фактора времени и температуры и степени нагружения.

Если сохранить связь между напряжениями и деформациями в виде:

$$\frac{\tau_i}{A + B\sigma_0} = \gamma_i^m \text{ или } \frac{\tau_i}{1 + \sigma_0/H} = A \gamma_i^m,$$

при $H = A/B = \text{const}$ все прямые на графике $\tau_i - \sigma_i$ будут исходить из одного полюса.

Основываясь на работах В.В. Соколовского [6], заметим, что процесс развития упругопластического деформирования грунтов с учетом вида напряженного состояния отображается в виде семейства кривых, каждая из которых в свою очередь зависит от величины среднего напряжения.

Кривые на рис. 6 независимо от μ_σ и σ_0 при определенной величине интенсивности τ_i стремятся к переходу в горизонтальный участок, что и позволяет судить о приближении к границе предельного состояния.

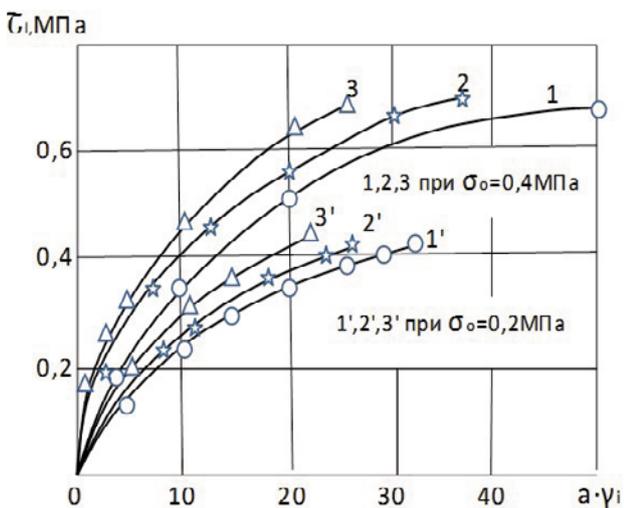


Рис. 6. Закономерность формоизменения мерзлого торфа от инвариантов тензора напряжений при $\Theta = -3^\circ\text{C}$; 1, 2, 3 – соответственно при $\mu_\sigma = -1; 0; +1$

Fig. 6. The pattern forming frozen peat from the stress tensor invariants under $\Theta = -3^\circ\text{C}$; 1, 2, 3 – respectively at $\mu_\sigma = -1; 0; +1$

В качестве примера на рис. 7 представлена нелинейная зависимость деформации $\varepsilon_0 = \frac{1}{3}(\varepsilon_1 + \varepsilon_2 + \varepsilon_3)$ от гидростатического давления $\sigma_0 = \frac{1}{3}(\sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3)$, которую при параметрах $A_1 = 0,03$, $m = 0,579$ и значении $\mu_\sigma = -1$ можно записать в виде $\varepsilon_0 = 0,03 \sigma_0^{0,579}$.

Из условия прочности Кулона–Мора значение $\varphi = 26,5^\circ$ и $C = 0,187$ МПа. Сравнение с другими опытами при $\Theta = -3^\circ\text{C}$, изменение величины $0,02 \leq \sigma_0 \leq 0,8$ МПа, влияние μ_σ на угол внутреннего трения оказалось всего меньше на $5-7^\circ$. Аналогично ранее это было подтверждено для песчаных и глинистых грунтов.

В опытах на трехосное сжатие мерзлых торфяных грунтов при различных температурах установлена достаточно однозначная связь в условиях достижения предельного состояния между девиатором напряжений и направляющей вертикальной деформацией в следующем виде:

$$\sigma_{1\text{пр}} - \sigma_{3\text{пр}} = \frac{\varepsilon_i}{a + b\varepsilon_1},$$

где a и b – параметры, определяемые по данным рис. 8 ($a = 1/E$ – коэффициент начальной деформации образца, МПа^{-1} , $b = \frac{1}{\sigma_{1\text{пр}} + \sigma_{3\text{пр}}}$ – значение девиатора при достижении грунтом предельного состояния при предельных значениях главных напряжений $\sigma_{1\text{пр}}$ и $\sigma_{3\text{пр}}$).

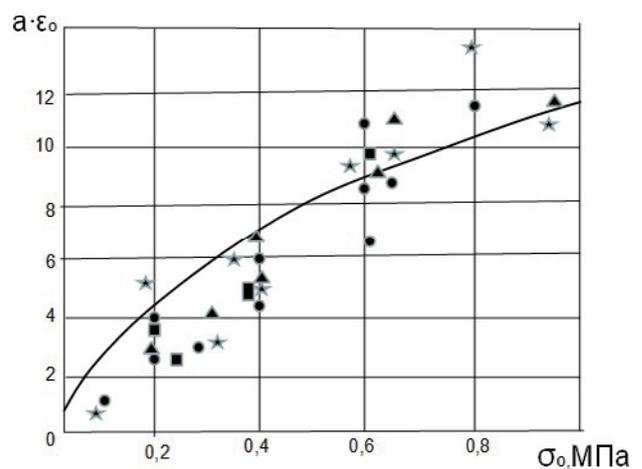


Рис. 7. Зависимость деформации ε_0^r от величины гидростатического обжатия образца торфа ($\Theta = -3^\circ\text{C}$, $w_c = 5...7$ кг/кг, время опыта $t = 1$ час)

Fig. 7. Dependence of the deformation ε_0 from the hydrostatic compression of peat sample ($\Theta = -3^\circ\text{C}$, $w_c = 5 \dots 7$ kg/kg and the experiment $t = 1$ hour)

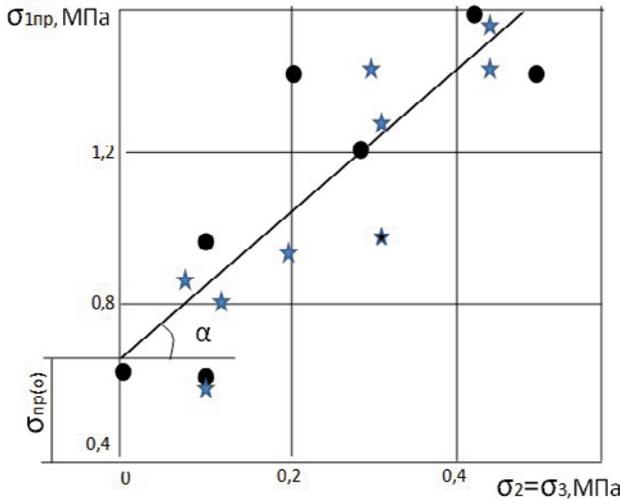


Рис. 8. Зависимость предельного напряжения σ_{1pr} от бокового отжатия образца $\sigma_2 = \sigma_3$ при $\theta = -3^\circ\text{C}$ и $\mu_\sigma = -1$

Fig. 8. Dependence of limiting voltage σ_{1pr} Side squeezing sample $\sigma_2 = \sigma_3$ at $\theta = -3^\circ\text{S}$ and $\mu_\sigma = -1$

Доказано, что при других значениях $\mu_\sigma = 0; +1$ угол наклона прямой α остается практически неизменным. Для подтверждения данного условия была проведена серия опытов со штампами в полевых условиях. На этом этапе обсуждения авторы от изучения математических моделей перешли к более простым исследованиям физических процессов и механических характеристик грунтов, абстрагируясь от обобщенных описаний сложных функционалов, к более реальной картине оценки допредельного и запредельного состояний материала. Главными характеристиками в условиях нелинейности (искажение, искривление) происходящих процессов авторы предложили определять критериальные точки в рамках теории дистортности [7–10], в основу которой положен единичный квадрат (0, 1), где основными факторами по теории Кулона–Мора являются значения сдвигающих и главных напряжений, а также взаимосвязь сцепления и угла внутреннего трения. В соответствии с рассмотрением трех известных инвариантов, нетрудно заметить, что набор инвариантов опирается на параметры T и σ_n с введением параметра Лодэ–Надаи, характеризующий роль прочности массива грунта по другим площадкам T_{12}, T_{23} : $\mu_\sigma = \frac{T_{23} - T_{12}}{T}$, что дает более простое физическое толкование, чем при рассмотрении инвариантов в обще-

принятом виде: $T = \frac{\sigma_1 - \sigma_3}{2}$, $\sigma_n = \frac{\sigma_1 - \sigma_3}{2}$,
 $\mu_\sigma = \frac{2\sigma_2 - \sigma_1 - \sigma_3}{\sigma_1 - \sigma_3}$.

Введение T более точно соответствует условию о предельной прочности сдвигу в упруго-пластических и твердых телах. С этой точки зрения инвариант V означает, что предельная прочность достигается на площадках скольжения с максимальным касательным напряжением. Вместе с тем, реальный рост сопротивления сдвигу на площадках скольжения в основном происходит за счет трения.

Однако при упруго-пластическом деформировании, когда $T = T(\Gamma)$, ($\Gamma = \epsilon_1 = \epsilon_3$), эту зависимость очень трудно определить в «чистых условиях», т. е. при $\mu_\sigma = \mu_\epsilon$ на ниспадающей ветви не связаны однозначной зависимостью, а проявляют независимость, определяемую на основе известных величин закона нелинейной механики (рис. 9).

Используя опыты Е.И. Шемякина [3], подчеркнем, что величина сопротивления сдвигу в твердых породах наилучшим образом связывает перемещения и напряжения, что проявляется и на законе сохранения масс.

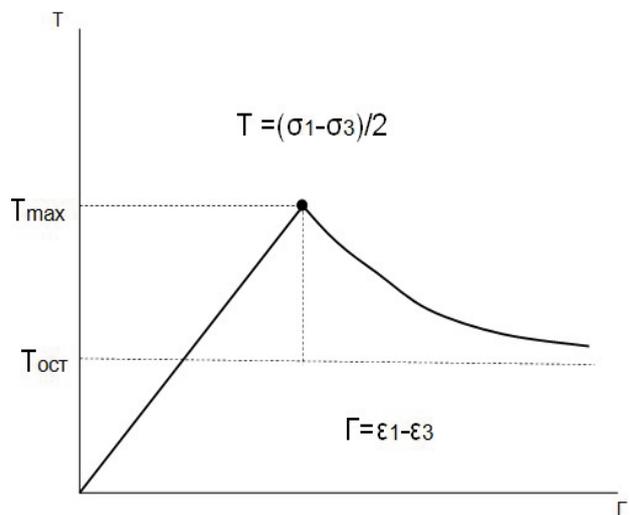


Рис. 9. Зависимость ϵ от Γ (дилатансии) при идеализации данных

Fig. 9. The dependence of ϵ F (dilatancy) in the implementation of data

С учетом введенного авторами дополнительного инварианта удобно описывать исходя из закона Кулона–Мора.

Моделирование НДС и инварианты дистортности

В мемуарах Кулона основная причина внутреннего трения связана со статической нелинейностью зависимости «напряжение-деформация» структурной системы (материала): $\sigma_3/\sigma_1 = \tan^2(\pi/4 - \varphi/2)$, где φ условно рассматривается как некий математический параметр, определяющий угол наклона предельной огибающей кругов главных напряжений.

На рис. 10 приведено моделирование диаграммы НДС в рамках единичного квадрата. Уровень функциональной нелинейности $X_A^{кр}$ – есть характеристика частей целого, при котором преобладают пластические деформации, можно записать как $X_A^{кр} = P/P_0$, где P_0 – означает величину гидростатического обжатия образца грунта.

Или можно отобразить $X_A^{кр} = \sigma_s/P_0$, откуда $\sigma_s = X_A^{кр}P_0$. С учетом испытания мерзлого торфа $\sigma_s = 0,365P_0$. Данные хорошо подтверждаются твердостью материала по Бринеллю (НВ), когда $\sigma_s = 0,36$ НВ [6].

Из данных рис. 13 можно представить систему уравнений в виде:

$$Y = KX / [1 + (K - 1)X], Y = 1 - X,$$

откуда получим уравнение для показателя уровня функциональной нелинейности $X_A = 1/(\sqrt{K} + 1)$.

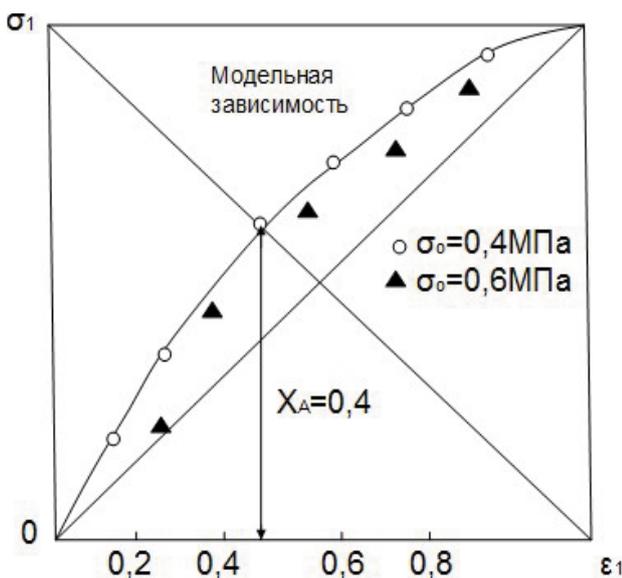


Рис. 10. Зависимость $\varepsilon_1, \varepsilon_3 = f(\sigma_1)$

Fig. 10. Dependence of $\varepsilon_1, \varepsilon_3 = f(\sigma_1)$

Введенный параметр состояния НДС, характеризующий относительную величину нелинейности (структурного сдвига) Π_k после сравнения с линейной функцией $Y = X$, при котором уровень функциональной нелинейности $X_A = 0,5$, который определяется из условий $\Pi_k = \sqrt[4]{K}$.

На примере (рис. 10) представлены опыты при $\mu_\sigma = -1$ в инвариантном виде. Штамповые опыты проведены в полевых и лабораторных условиях, в условиях трехостного сжатия и при вдавливании в грунт жесткой сферы. Континиум любой системы можно представить в виде двух полюсов, одним из которых является необходимость, другим – случайность.

Наложением на прямую кривые распределения можно оценить наглядное представление о доле докритического потенциала системы и его значения при достижении критического состояния структуры от вида НДС.

Основные результаты исследований

По результатам трехосных испытаний мерзлых грунтов (органических и минеральных) можно сделать следующие выводы:

- широкий спектр теоретических и экспериментальных исследований авторов позволяет развить представление об изменчивости напряженно-деформированного состояния мерзлых торфяных грунтов и определить характерные связи $\sigma_i - \varepsilon_i$ и $\tau_i - \gamma_i$ при достижении грунтом предельного состояния;
- установлено, что синтетическая теория Е.И. Шемякина, а также законы Мейера и Кулона–Мора, в полной мере применимы для оценки предельного состояния глинистых и торфяных грунтов в условиях отрицательных температур при любых траекториях нагружения образцов;
- характерным является тот факт, что при условии $\sigma_1 \geq \sigma_2 \geq \sigma_3$ сопротивление мерзлых пород внешним нагрузкам зависит не столько от прочности минеральной (органоминеральной) части, сколько, главным образом, от наличия ледяных включений и связей между элементами структуры;
- характер задач идентификации определяется в первую очередь техническими средствами, методами диагностики – видом внешних воздействий, типом измеряемых параметров и методами обработки информации;
- в экспериментах с мерзлыми торфяными

грунтами подтверждено, что задачи идентификации в общем случае носят нелинейный характер, при этом упругая составляющая деформации очень мала и ею можно пренебречь;

- авторами в дополнение к синтетической теории прочности предложен новый «инвариант дистортности», позволяющий установить допредельное и запредельное состояния мерзлых грунтов в условиях упруго-пластического деформирования.

Библиографический список

1. *Миронов В.А.* Теоретико-экспериментальный метод прогноза механических свойств мерзлого торфа. – Л.: ВНИИТП, 1990. – 72 с.
2. *Миронов В.А.* Проектирование оснований и фундаментов сооружений в сложных инженерно-геологических условиях. – Калинин: КГУ, 1988. – 93 с.
3. *Шемякин Е.И.* Вопросы прочности тел и горных пород. Сб.: Проблемы механики деформируемых твердых тел и горных пород. – М: Физматлит, 2006. – С. 26–46.
4. Предельное состояние деформированных тел и горных пород. – Физматлит, 2008. – 831 с.
5. *Мазуров Т.П.* Физико-механические свойства мерзлых грунтов. – Л.: Стройиздат, 1975. – 216 с.
6. *Ишлинский А.Ю.* Прикладные задачи механики. Кн. 1. Механика вязко-пластичных и не вполне упругих тел. – М.: Наука, 1986. – 358 с.
7. *Миронов В.А., Зюзин Б.Ф., Лотов В.Н.* Введение в дистортность. Монография. – Тверь: ТвГТУ, 1994. – 160 с.
8. *Миронов В.А., Зюзин Б.Ф., Лотов В.Н.* Дистортность в механике горных пород. Монография. – Тверь: ТвГТУ, 1995. – 196 с.
9. *Миронов В.А., Зюзин Б.Ф., Лотов В.Н.* Дистортность в естествознании. Монография. – Тверь: ТГТУ, 1996. – 160 с.
10. *Миронов В.А., Зюзин Б.Ф.* Инварианты дистортности. – Тверь: ТвГТУ, 2015. – 168 с.

УДК 678.7-1

Мисников О.С.

Мисников Олег Степанович, д. т. н., зав. кафедрой геотехнологии и торфяного производства Тверского государственного технического университета (ТвГТУ). 170023, Тверь, Академическая, 12.
oleg.misnikov@gmail.com

Королёв И.О.

Королёв Илья Олегович, аспирант ТвГТУ. 170023, Тверь, Академическая, 12.
revarevarevenant@mail.ru

**ИСПОЛЬЗОВАНИЕ
ТОРФОМИНЕРАЛЬНЫХ
КОМПОЗИЦИЙ
ДЛЯ ПРЕДОТВРАЩЕНИЯ
СЛЕЖИВАЕМОСТИ
БУТАДИЕН-НИТРИЛЬНЫХ
КАУЧУКОВ**

Аннотация. В статье рассмотрены проблемы слеживаемости сыпучих материалов и основные способы ее предотвращения. Кратко изложены основные характеристики бутадиен-нитрильного каучука. Приведено описание принципа получения гидрофобно-модифицирующих добавок при термохимической деструкции органического вещества торфа. Представлено подробное описание методики исследований антислеживателя на основе торфоминеральных композиций. Проведен сравнительный анализ эффективности антислеживателей, изготовленных на основе каолина и мела. Установлено, что использование гидрофобно-модифицированного мела позволяет снижать способность к слеживанию при длительном хранении бутадиен-нитрильного каучука в 22,5 раза.

Ключевые слова: бутадиен-нитрильный каучук, слеживаемость, аутогезия, торф, каолин, мел, пиролиз, битум, антислеживатель.

Misnikov O.S.

Misnikov Oleg S., Dr. Sci., Prof., Head of Chair of Geotechnology and Peat Production of the Tver State Technical University (TvGTU). 170023, Tver, Academicheskaya, 12

Korolev I.O.

Korolev Iliya O., Post-graduate student of the Tver State Technical University. 170023, Tver, Academicheskaya, 12

**USE OF PEAT AND
MINERAL COMPOSTIONS
FOR PREVENTION OF
BUTADIENE-NITRILE
RUBBERS CAKING**

Abstract. The problems of bulk materials caking and the main methods of its prevention are considered. The main characteristics butadiene-nitrile rubber are briefly stated. The description of the principle of receipt of the hydrophobic modifying additives in case of thermochemical destruction of organic substance of peat is provided. The detailed description of a technique of researches of anti-caking agent on the basis of peat and mineral compositions is provided. Comparative efficiency analysis of the anti-caking agents made on the basis of kaolin and chalk is carried out. It is found that use of the hydrophobic modified chalk allows to reduce a capability to caking in case of long-term storage butadiene-nitrile rubber by 22,5 times.

Key words: butadiene-nitrile rubber, caking, self-adhesion, peat, kaolin, chalk, pyrolysis, bitumen, anti-caking agent.

Органические, неорганические, аморфные и кристаллические вещества, относящиеся к классу высокомолекулярных соединений, широко применяются в различных сферах промышленного производства. Особое значение имеют аморфные представители полимеров, отличающихся высокоэластичными свойствами – эластомеры, поскольку в отличие от других полимеров имеют меньшую температуру стеклования. Натуральные или синтетические эластомеры – каучуки – характеризуются эластичностью, водонепроницаемостью и электроизоляционными свойствами [1].

В настоящее время номенклатура резинотехнических изделий насчитывает свыше 36 000 наименований [1–4] с разделением сырья для их изготовления на каучуки общего и специального назначения. В частности, бутадиен-нитрильные каучуки (БНК или СКН) являются продуктами полимеризации бутадиена и нитрила акриловой кислоты (НАК), проводимой в водных эмульсиях в присутствии инициаторов свободнорадикальных процессов (рис. 1) [2]. БНК являются одними из самых массовых каучуков специального назначения, которые в настоящее время производятся примерно в 20 странах мира [3].

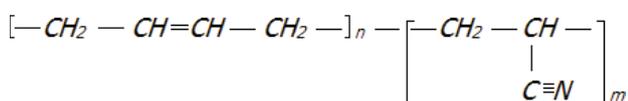


Рис. 1. Молекулярная структура бутадиен-нитрильных каучуков

Fig. 1. Molecular structure of butadiene-nitrile rubbers

Бутадиен-нитрильные каучуки и их вулканизаты обладают высокой стойкостью к действию минеральных масел и жиров. Масло- и бензостойкость таких каучуков тем выше, чем больше в них содержится нитрила акриловой кислоты. Вулканизаты СКН выгодно отличаются от вулканизатов других каучуков более высоким сопротивлением тепловому старению и истиранию. Так как изделия из резин на основе СКН могут длительно эксплуатироваться при 120 °С в воздухе и при 150° в различных маслах [3], то они используются при изготовлении множества резиновых технических изделий: кольца, втулки, шланги, манжеты. Резины на их основе применяют в качестве антикоррозионных материалов для

внутренних покрытий аппаратов, работающих в агрессивных средах.

Каучуки СКН выпускаются в брикетированном, гранулированном или порошкообразном видах. Хранение бутадиен-нитрильных каучуков проводится в полиэтиленовых, бумажных или тканевых мешках.

Порошкообразная форма каучука предопределяет использование современных дозаторов сыпучих материалов в технологических линиях на промышленном производстве. Это способствует точности дозирования компонентов и положительно сказывается на качестве конечного продукта. Кроме того, снижаются производственные затраты ввиду частичной механизации производственного цикла. Однако хранение каучука в порошкообразной форме приводит к тому, что его частицы слипаются между собой в результате комплексного взаимодействия различных сил. Процесс слеживания усугубляется при хранении мешков с порошкообразным каучуком под давлением.

Слеживаемостью называют способность сыпучих материалов при длительном хранении терять сыпучесть за счет возникновения взаимодействий между их частицами. К основным причинам слеживаемости относится [3]:

- появление капиллярных сил из-за увеличения влажности сыпучего материала;
- образование кристаллизационных мостиков между частицами в результате роста кристаллов из растворенных в воде веществ;
- возникновение аутогезионных взаимодействий на границе контакта двух и более частиц.

Капиллярные силы и образование кристаллизационных мостиков в цикле «увлажнение – сушка» являются определяющими для дисперсных растворимых систем, например, минеральных удобрений.

В случае же с каучуками, которые обладают водонепроницаемыми свойствами, главным фактором слеживаемости являются силы аутогезии. Аутогезию принято считать диффузионным процессом. Она зависит от температуры и может протекать как при давлении, так и без него. Давление положительно влияет на процесс самослипания из-за увеличения площади контакта. С повышением температуры межмолекулярные связи ослабевают, увеличивается интенсивность теплового движения сегментов макромолекул каучука, что способствует взаимному проникновению

участков углеводородных цепей двух и более частиц, находящихся в непосредственном контакте.

Подтверждением диффузионной теории, разработанной С.С. Воуцким, А.П. Писаренко и А.И. Шаповаловой [5], является увеличение работы адгезии полимерного адгезива к высокомолекулярному субстрату (например, бутадиен-акрилонитрильного сополимера к целлофану) во времени (рис. 2) и с повышением температуры (рис. 3) [4].

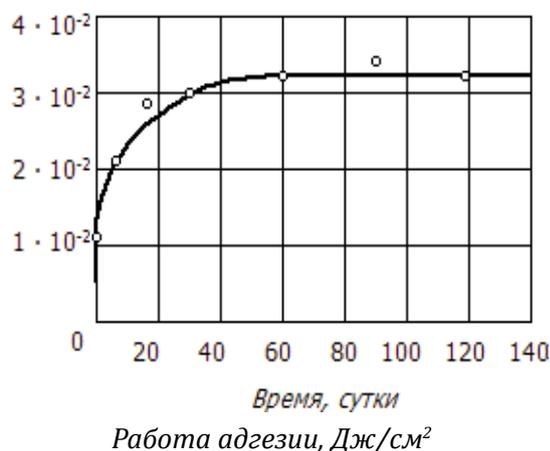


Рис. 2. Кинетическая зависимость работы адгезии бутадиен-акрилонитрильного сополимера к целлофану

Fig. 2. Kinetic dependence of the work of adhesion of butadiene-nitrile copolymer to cellophane

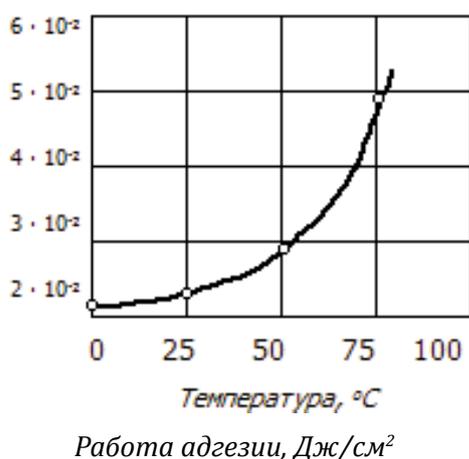


Рис. 3. Температурная зависимость работы адгезии бутадиен-акрилонитрильного сополимера к целлофану

Fig. 3. Temperature dependence of the work of adhesion of butadiene-nitrile copolymer to cellophane

Во избежание слеживания порошкообразного каучука и ряда других сыпучих материалов при хранении их периодически подсушивают и перемешивают. Также для борьбы со слеживаемостью используются методы сухой или влажной обработки поверхности частиц или гранул сыпучих тел. Главная задача такой обработки – предотвратить или минимизировать увлажнение частиц и их контакт друг с другом на период хранения и транспортировки.

В качестве антислеживающих агентов сухой обработки, или опудривания, поверхности порошкообразного каучука используются инертные тонкодисперсные системы – порошкообразные каолин, мел, кизельгур, тальк и другие материалы. Такие добавки, за исключением талька, не обладают гидрофобными характеристиками. В случае с минеральными удобрениями они используются для поглощения жидкой или газообразной влаги, компенсируя увлажнение водорастворимого вещества [6]. Очевидно, что в результате обработки поверхности частиц водонепроницаемого каучука гигроскопичным веществом между этими частицами образуется верхний слой гидрофильного минерального носителя. В отношении такого слоя могут возникнуть нежелательные факторы возникновения слеживаемости, описанные выше. Тем не менее, инертные тонкодисперсные системы, изначально не обладающие гидрофобными свойствами, можно модифицировать различными гидрофобизирующими добавками. Такая композиция способна предотвратить основные причины возникновения слеживаемости порошкообразного каучука и ряда других сыпучих материалов.

В настоящее время существует достаточно большое количество гидрофобных добавок, получаемых из продуктов и отходов переработки нефтяного сырья. Более качественными гидрофобизаторами являются кремнеорганические жидкости (или силиконовые масла), а также некоторые продукты химической переработки древесины [7]. Анализ результатов научных исследований по термохимической переработке торфа, выполненных отечественной научной школой в XX и начале XXI столетий [8, 9], позволил разработать новое направление использования соединений, извлекаемых из его органического вещества. Их физико-химические свойства позволяют осуществлять гидрофобную

модификацию минеральных дисперсных материалов [10]. Несмотря на то, что основную часть органического вещества торфа составляют гидрофильные компоненты, в нем также содержатся битумы, состоящие из воска, смол, масел и парафинов. Битумы, извлекаемые из торфа, представляют собой гидрофобную составляющую торфа. Известно, что в органическом веществе торфа происходит изменение химического состава, если оно подвергается термической переработке [8]. Характер таких изменений зависит от величины и продолжительности температурного воздействия. В результате термохимической конверсии органическое вещество торфа распадается на отдельные компоненты, которые из класса гидрофильных переходят в разряд гидрофобных. Причем это компоненты, относящиеся ко всем агрегатным состояниям. Таким образом, одной из основных задач является их получение и нанесение на обрабатываемую поверхность. Этот метод был реализован при получении модельного гидрофобно-модифицированного цемента [11] и в настоящее время проводится анализ возможности его тиражирования на другие виды минеральных дисперсных материалов. В частности, в данной работе предлагается обработка по разработанной методике гидрофильных материалов – мела и каолина – для последующего их использования в качестве антислеживателей БНК.

Такой подход основан на том, что эти минеральные материалы входят в состав базовых рецептур ряда резиновых смесей, используемых для конкретных условий эксплуатации: обкладки валов в текстильной промышленности; для амортизаторов, обладающих бензо- и маслостойкостью; для различных защитных покрытий и т. п. Причем их количество в рецептурах может изменяться в достаточно широком диапазоне концентраций [1–4].

Методика гидрофобной обработки каолина и мела заключалась в следующем.

В порошок минерального материала вносился торфяной гидрофобный полуфабрикат, изготовленный из верхового пушицево-сфагнового торфа со степенью разложения 25...30%. Концентрация торфяной добавки составляла 10%. Далее, для увеличения дисперсности частиц и равномерности их перемешивания, а также создания условий для образования первичных адгезионных контак-

тов, смесь помещалась в шаровую мельницу, в которой осуществлялся ее дополнительный помол в течение 5 минут со скоростью 56...60 об/мин. Выбор параметров осуществлялся исходя из конструктивных особенностей мельницы, а также оптимальных качественных характеристик органоминеральной смеси.

Полученный двухкомпонентный состав активировался в лабораторной реакторной установке по методике, подробно рассмотренной в работе [11]. При проведении активации на поверхности минеральных частиц обрабатываемых материалов формируется защитное водоотталкивающее пленочное покрытие из выделяемых при термической обработке битумных соединений. Причем наличие пленки не оказывает отрицательного влияния на сыпучесть порошка.

Гидрофобную композиционную смесь использовали для обработки порошкообразного БНК с размером частиц менее 1 мм. Концентрация компонентов составляла: 90% – БНК и 10% – антислеживающая добавка. Для моделирования процесса хранения под давлением контрольный и экспериментальные образцы БНК засыпались в специальные устройства (рис. 4). На крышки цилиндров устанавливали гири массой 1 кг, которые создавали давление на материал.

Испытания на слеживаемость образцов проводили через семь и тридцать суток хранения под давлением 14,2 КПа, температуре 20...25 °С и относительной влажности воздуха 70...80%.

Для этого по истечении срока хранения содержимое цилиндров (спрессованный БНК, рис. 5) соответствующих групп образцов извлекалось из внутреннего разъемного устройства и подвергалось импульсному разрушению на специально разработанной экспериментальной установке (рис. 6) по следующей методике.

В закрепленную в лабораторном штативе пластиковую трубу, верхняя часть которой находилась на высоте 150 см, опускался испытываемый образец. Двигаясь под действием силы тяжести вниз по трубе с ускорением свободного падения, он попадал в кристаллизатор и частично или полностью разрушался. Далее содержимое кристаллизатора отправляли на ситовой анализ для выявления масс материала находящегося в сыпучем и агрегированном состояниях.

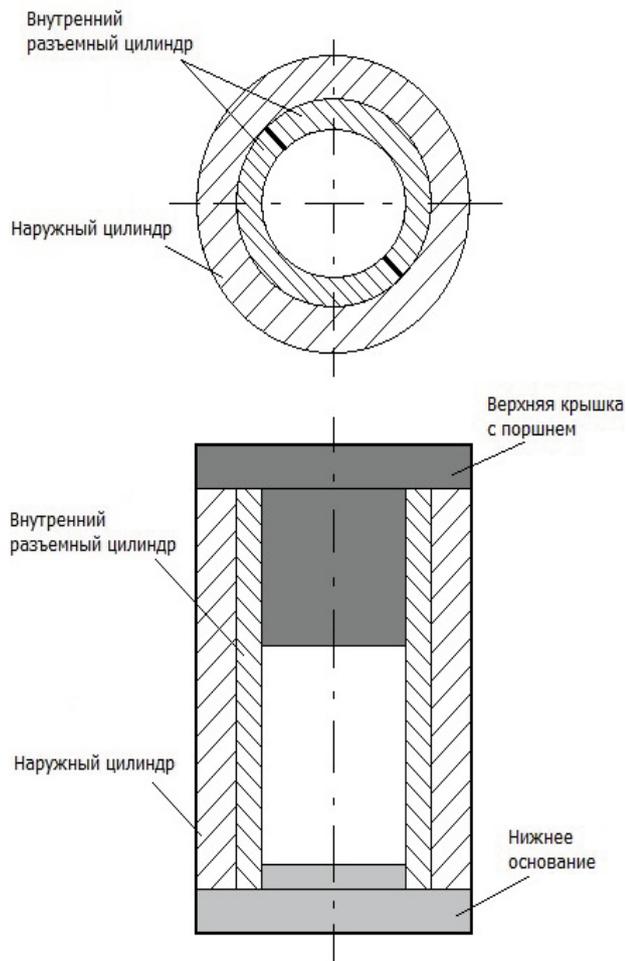


Рис. 4. Схема устройства для определения слеживаемости дисперсных материалов

Fig. 4. Scheme of the device for determining of dispersed material caking



Рис. 5. Внешний вид экспериментального образца каучука находящегося во внутреннем разъемном цилиндре (см. рис. 4)

Fig. 5. Appearance of the experimental sample of rubber on the internal releasable cylinder (see. Fig. 4)

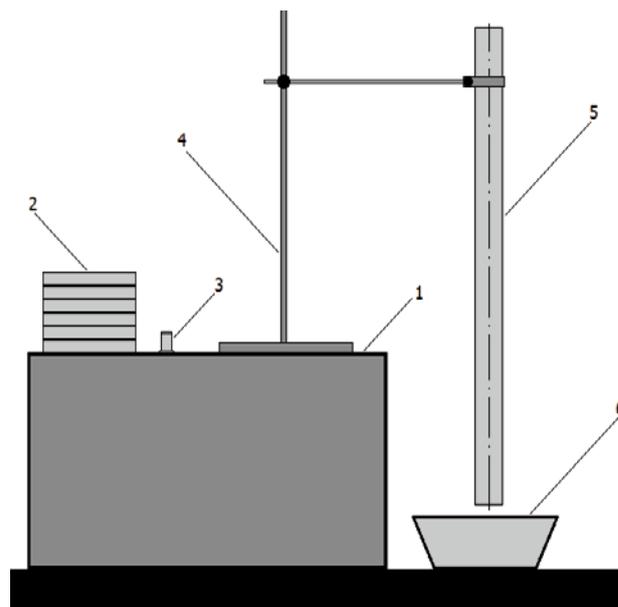


Рис. 6. Экспериментальная установка для определения слеживаемости образцов сыпучих материалов: 1 – подставка; 2 – набор сит; 3 – экспериментальный образец; 4 – штатив; 5 – полая труба; 6 – кристаллизатор

Fig. 6. Experimental setup for the determination of caking of bulk materials samples: 1 – rack; 2 – set of sieves; 3 – experimental sample; 4 – holder; 5 – hollow tube; 6 – crystallizer

Проведенные эксперименты позволили установить следующее изменение качественных характеристик при хранении бутадиен-нитрильных каучуков (табл. 1). В первые семь суток доля слежавшейся массы (надрешетный продукт на сите с размером ячейки $d = 1$ мм) в контрольном образце составила 57,27%. Характерно, что основная ее часть (39,05%) осталась на сите с размером ячейки $d = 10$ мм. В экспериментальных образцах наилучшие показатели были получены при обработке БНК гидрофобно-модифицированным мелом – 1,82%. При использовании в качестве антислеживателя гидрофобизированного каолина показатель существенно выше – 25,19%. Показательно, что относительно крупных агломератов ($d > 5$ мм) при использовании модифицированного мела за семь суток не образовалось. При увеличении срока хранения до 30 суток выявленные выше тенденции сохраняются, а качественные показатели значительно ухудшаются – в контрольном образце количество слежавшейся массы составляет 96,55%, в образцах

обработанных гидрофобно-модифицированными мелом и каолином, 11,03 и 96,43% соответственно.

Таблица 1. Сравнительный ситовой анализ контрольного и экспериментальных образцов порошкообразного бутадиен-нитрильного каучука после хранения

Table 1. Comparative sieve analysis of control and experimental samples of powdered butadiene-nitrile rubber after storage

Остаток на сите, мм	Содержание фракции, г/%		
	Контрольный образец БНК	Экспериментальный образец БНК, обработанный гидрофобно-модифицированным	
		мелом	каолином
7 суток хранения			
$d > 10$	11,78 / 39,05	0 / 0	0,94 / 3,72
$7 <$	0,92 / 3,05	0 / 0	0,39 / 1,54
$5 <$	0,54 / 1,78	0 / 0	0,16 / 0,64
$3 <$	0,75 / 2,48	0 / 0	0,3 / 1,19
$1 <$	3,29 / 10,91	0,44 / 1,82	4,57 / 18,10
$d < 1$	12,89 / 42,73	23,80 / 98,18	18,89 / 74,81
Общая масса, г	30,16 / 100	24,24 / 100	25,25 / 100
30 суток хранения			
$d > 10$	28,06 / 94,12	0,5 / 2,14	20,18 / 92,36
$7 <$	0,13 / 0,43	0,1 / 0,43	0,11 / 0,51
$5 <$	0,09 / 0,30	0,1 / 0,43	0,25 / 1,14
$3 <$	0,13 / 0,43	0,09 / 0,38	0,13 / 0,59
$1 <$	0,38 / 1,27	1,79 / 7,65	0,4 / 1,83
$d < 1$	1,03 / 3,45	20,81 / 88,97	0,78 / 3,57
Общая масса, г	29,81 / 100	23,39 / 100	21,85 / 100

Таким образом, выбор мела в качестве минерального носителя для получения гидрофобных антислеживателей позволяет полностью реализовать принцип формирования на его поверхности сплошных битумных нанопленок, извлекаемых из органического вещества торфа при термохимическом воздействии. В связи с этим необходимо установить, как изменяются антиагломерационные свойства природного мела после проведения его гидрофобной обработки.

Для этого была проведена серия экспериментов с БНК, обработанными порошками одинаковой дисперсности из размолотого природного и гидрофобно-модифицированного мела. Результаты экспериментов (табл. 2) свидетельствуют о том, что природный мел, представляющий собой типичный гидро-

фильный материал, позволяет решать задачи по снижению слеживаемости каучуков только при небольших сроках хранения.

Таблица 2. Анализ эффективности антислеживающего эффекта тонкоизмельченного природного и гидрофобно-модифицированного мела при хранении бутадиен-нитрильного каучука

Table 2. Effectiveness analysis of the anti-caking effect of finely divided natural and hydrophobically modified chalk during storage of butadiene-nitrile rubbers

Период хранения	Диапазон размеров сита, мм	Масса фракции БНК на сите, %		
		образцы		
		конт-рольный	обрабо-танный мелом	обработанный гидрофобно-модифицированным мелом
Период хранения 7 дней	$d > 10$	68,34	0,00	0,00
	$7 <$	3,79	0,00	0,34
	$5 <$	1,54	0,00	0,26
	$3 <$	2,42	0,12	0,52
	$1 <$	9,38	4,22	2,88
	$d < 1$	14,54	95,66	96,01
	Общая масса, г	92,95	58,21	2,14
Период хранения 30 дней	$d > 10$	92,95	58,21	2,14
	$7 <$	0,56	0,00	0,43
	$5 <$	0,37	0,00	0,43
	$3 <$	0,56	0,96	0,38
	$1 <$	1,61	7,07	7,65
	$d < 1$	3,95	33,76	88,97

В эксперименте время, за которое показатели практически не изменились от склонности к слеживаемости модифицированных образцов, составило семь суток. При более высокой продолжительности процесса (30 суток) в обработанном мелом бутадиен-нитрильном каучуке наблюдается достаточно высокая агломерационная способность, составляющая примерно 63% от показателя контрольного образца (данные по анализу фракции свыше 10 мм). Вероятнее всего, это связано с сорбцией водяного пара из окружающей среды, который со временем начинает конденсироваться и увлажнять частицы мела при хранении. При этом дополнительно с адгезией частиц каучука происходит конденсация влаги на частицах мела с последующим образованием достаточно крупных комков.

В каучуке, обработанном гидрофобно-модифицируемым мелом, агломерационная спо-

способность составила всего 2,3% от показателя контрольного образца. Причем подавляющая его часть (практически 89%) оказалась в под-решетном продукте при рассеивании на сите с ячейкой менее 1 мм.

Таким образом, экспериментально установлено, что гидрофобная обработка мела битумными соединениями торфа позволяет в 2,6 раза повысить его эффективность при использовании в качестве антислеживающего агента в порошкообразных бутадиен-нитрильных каучуках по сравнению с обычным мелом и в 22,5 раза по отношению к контрольному образцу. Причем меньшая стоимость мела как исходного сырья, по сравнению с каолином, повысит экономическую эффективность его использования в технологических процессах получения различных видов резинотехнических изделий.

Библиографический список

1. Большой справочник резинщика. Каучуки и ингредиенты / Под ред. С.В. Резниченко, Ю.Л. Морозова. – М.: Техинформ МАИ, 2012. – 744 с.
2. Башкатов, Т.В., Жигалин, Я.Л. Технология синтетических каучуков. – Л.: Химия, 1987. – 360 с.
3. Химия и технология синтетического каучука / Под ред. Л.А. Аверко-Антонович, Ю.О. Аверко-Антонович, Е.В. Давлетбаева, П.А. Кирпичников. – М.: Колосс, 2008. – 359 с.
4. Кардашов, Д.А. Синтетические клеи. М.: Химия, 1976. – 504 с.
5. Воюцкий, С.С., Писаренко, А.П., Шаповалова, А.И. О роли диффузии в явлениях адгезии полимеров друг к другу. – ДАН СССР, – 1955. – Т. 105. – С. 1000–1006.
6. Технология аммиачной селитры / Под ред. В.М. Олевского. – М.: Химия, 1978. – 121 с.
7. Хигерович, М.И., Байер, В.Е. Гидрофобно-пластифицирующие добавки для цементов, растворов и бетонов. М.: Стройиздат, 1979. – 125 с.
8. Раковский, В.Е., Каганович, Ф.Л., Новичкова Е.А. Химия пирогенных процессов. – Минск: АН БССР, 1959. – 208 с.
9. Исаева, Е.Ю., Пухова, О.В. Сравнительный анализ процессов сушки различных видов торфяной продукции // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2006. – № 11. – С. 225–229.
10. Мисников, О.С. Модификация строительных материалов добавками на основе торфа // Все материалы. Энциклопедический справочник. – 2007. – № 6. – С. 20–26.
11. Misnikov, O.S. Physicochemical principles of hydrophobization of mineral binders by additives produced from peat raw material // Theoretical Foundations of Chemical Engineering. 2006. – Vol. 40. – № 4. – P. 423–430.

УДК 622.53.001

Горячев В.И.

Горячев Валентин Иванович, д. т. н., зав. кафедрой инженерной графики Тверского государственного технического университета (ТвГТУ), профессор. zbfri@yandex.ru

Зюзин Б.Ф.

Зюзин Борис Федорович, д. т. н., зав. кафедрой торфяных машин и оборудования ТвГТУ, профессор. zbfri@yandex.ru

Михеев И.И.

Михеев Игорь Иванович, к. т. н., доцент кафедры инженерной графики ТвГТУ

Казичев И.Н.

Казичев Игорь Николаевич, старший преподаватель кафедры инженерной графики ТвГТУ

**ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ
КОМПЛЕКС ПРОИЗВОДСТВА
КУСКОВОГО
ТОПЛИВНОГО ТОРФА
С КОМБИНИРОВАННОЙ
СУШКОЙ**

Аннотация. С целью снижения энергозатрат предложен модульный технологический комплекс добычи торфа и производства кускованного топлива.

Ключевые слова: кусковой топливный торф, комбинированная сушка, технологический комплекс.

Goryachev V.I.

Goryachev Valentin I., Dr. Sci., Prof., Head of the Chair of Engineering Graphics of the Tver State Technical University (TSTU), Dr. Sci. Tech., Professor

Zyuzin B.F.

Zyuzin Boris F., Dr. Sci., Prof., Head of the Chair of Peat Machinery and Equipment, TSTU, Dr. Sci. Tech., Professor

Mikheev I.I.

Mikheev Igor I., PhD, Assistant Professor of Chair of Engineering Graphics of the Tver State Technical University, Cand. Tech. Sci.

Kuzichev I.N.

Kuzichev Igor N., Senior Lecturer of the Chair of Engineering Graphics, TSTU

**TECHNOLOGICAL COMPLEX
OF PRODUCTION OF SOD
FUEL PEAT WITH THE
COMBINED DRYING**

Abstract. For the purpose of decrease in energy costs the modular technological complex of extraction of peat and production of fuel is offered.

Key words: sod fuel peat, combined drying, processing facility.

Сравнение эффективности сжигания местных и привозных видов топлива для нужд малой теплоэнергетики свидетельствует о конкурентоспособности кускового торфа по отношению к привозным, таким как каменный уголь, мазут, электрическая энергия [1].

Известные технологии производства кускового топливного торфа, осуществляемые непосредственно на торфяном месторождении, предусматривают использование полей стилки и сушки, строительство, эксплуатация и ремонт которых требует больших энергетических и материальных затрат [2, 3].

Кроме того, процесс сушки торфяных кусков на таких полях является затяжным из-за выпадающих атмосферных осадков.

Особенно негативно сказываются ливневые осадки более 30 мм в сутки.

В этом случае на просушку торфа и полей стилки дополнительно требуется 3,5 дня и 1,5...2,5 дня при осадках 10...20 мм на каждый день дождливой погоды [3].

Известен технологический комплекс производства торфяного кускованного топлива в заводских условиях с применением искусственной сушки [4]. Однако переработка сырья высокой влажности требует больших затрат тепловой энергии при работе сушилки на полную мощность круглый год.

С целью снижения энергозатрат предложен модульный технологический комплекс добычи торфа и производства кускованного топлива [5]. Технический результат достигается, во-первых, за счет удаления свободной воды из экскавированной торфомассы натуральной влажности, во-вторых, использованием энергии солнца и движения воздушных масс для подсушки торфа в полевых условиях на площадке и откосах наращиваемого штабеля.

Удачно решая вопросы добычи и складирования торфомассы, в модульном технологическом комплексе не предусмотрели быстрый отвод атмосферных осадков с поверхности площадки предварительной сушки экскавированного торфяного сырья.

Кроме того, работа комплекса в период, неблагоприятный для подсушки торфа в естественных условиях (режим 3), когда переработка торфомассы осуществляется от натуральной влажности 90–92% (влагосодержания более 9,0 кг воды на 1кг сухого вещества), нерентабельна из-за больших энергозатрат на сушку кускового топливного торфа.

В технологических комплексах [6,7] кусковой топливный торф производят из фрезерного торфяного сырья в заводских условиях круглый год и сезонно на суходоле. В этом случае на искусственную сушку необходимо затратить треть топлива, производимого на генерацию теплоносителя.

По нашему мнению, за счет рациональной организации производства кускового топливного торфа можно снизить эксплуатационные издержки и тем самым улучшить технико-экономические показатели комплекса [7].

Одним из перспективных решений является создание круглогодичного технологического комплекса, в котором, во-первых, процесс добычи торфяного сырья разделен с процессом его переработки, во-вторых, применена комбинированная сушка, когда на одной, подготовленной на суходоле, производственной площадке расположены две линии по производству кускового топливного торфа – круглогодично работающая линия с искусственной сушкой и линия, работающая сезонно, в весенне-летний период с естественной сушкой на специально подготовленном поле стилки и сушки [8].

На рисунке представлена схема предлагаемого круглогодичного технологического комплекса по производству кускового топливного торфа с комбинированной сушкой, который состоит из участка 1 добычи фрезерного торфяного сырья, склада 2 фрезерного торфяного сырья, транспортной линии 3, участка 4 по переработке фрезерного торфяного сырья, расположенного на суходоле, на котором находятся три линии, расположенные на одной производственной площадке за пределами участка добычи торфяного сырья: линия 5 по круглогодичному производству кускового топливного торфа с искусственной сушкой, линия 6 для подготовки и подачи наполнителя в торфомассу и линия 7 по производству кускового топливного торфа с естественной полевой сушкой кускового торфяного топлива в весенне-летний период, расположенная на специально подготовленном поле стилки и сушки 8 [8].

Линия 5 круглогодичного производства кускового топливного торфа оборудована последовательно установленными и взаимосвязанными между собой внутрицеховым складом фрезерного торфяного сырья 9, сепаратором 10, бункером-дозатором 11, смесителем 12, пресс-экструдером 13, сушилкой 14, связанной

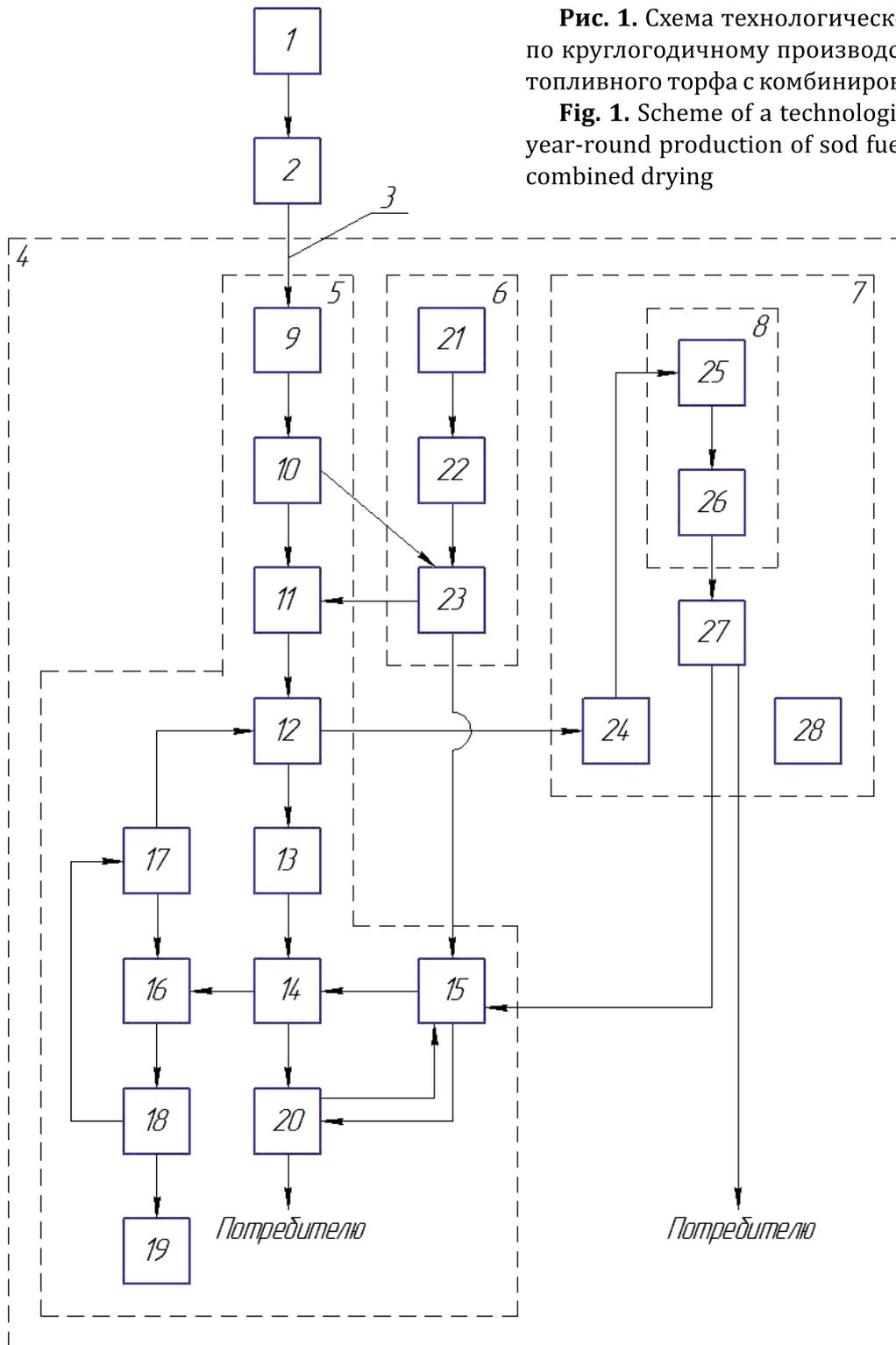


Рис. 1. Схема технологического комплекса по круглогодичному производству кускового топливного торфа с комбинированной сушкой

Fig. 1. Scheme of a technological complex on year-round production of sod fuel peat with the combined drying

по входу с теплогенератором 15, а по выходу – со скруббером-теплообменником 16, который с одной стороны связан водопроводной линией с насосом 17 шламовой воды, а с другой стороны с отстойником 18, который соединен со сборником шлама 19. Сушилка 14 связана со складом 20 готовой продукции, который в свою очередь связан с теплогенератором 15. Взаимосвязь между оборудованием осуществляется с помощью транспортеров,

погрузо-разгрузочных механизмов и трубопроводов (на схеме не показаны).

Линия 6 для подготовки и подачи наполнителя в торфомассу включает в себя склад 21 сырья для наполнителя, бункер-дозатор 22 и дробилку 23, которая связана с сепаратором 10 и теплогенератором 15 линии 5.

Линия 7 по производству кускового топливного торфа с естественной полевой сушкой включает в себя последовательно расположен-

ные бункер-дозатор 24, связанный со смесителем 12 линии 5, стилочную машину с пресс-формователем 25, уборочную машину 26, расположенных на поле стилки и сушки 8, склад готовой продукции 27, связанный с теплогенератором 15, и противопожарный водоем 28.

Круглогодичный технологический комплекс по производству кускового топливного торфа работает следующим образом.

Известным способом на участке 1, только в весенне-летний период, добывается фрезерное торфяное сырье влажностью 60–75%, которое вывозится за пределы торфяного месторождения и разгружается в штабеля на складе 2, откуда исходное сырье транспортной линией 3 доставляется на склад 9 участка 4. Со склада 9 фрезерное торфяное сырье непрерывно подается на просеивающую поверхность сепаратора 10. Подрешетный продукт размером частиц ≤ 10 мм подается в бункер-дозатор 11, а надрешетный продукт (отсев торфа и другие нетехнологические включения размером более 10 мм) подается на дробилку 23, где подвергается дроблению. Одновременно с работой линии 5 при необходимости работает линия 6 для подготовки и подачи наполнителя, на которой сырье со склада 21 поступает в бункер-дозатор 22, а из него в дробилку 23. После дробления сырье может подаваться в теплогенератор 15 и/или возвращаться на просеивающую поверхность сепаратора 10 на контрольное грохочение.

Из бункера-дозатора 11 сырье, поступившее из сепаратора 10, попадает в смеситель 12, где вместе с добавленной к нему насосом 17 подогретой шламовой водой из отстойника 18 подвергается перемешивающим и перетирающим воздействиям. Подготовленная однородная торфяная масса влажностью 70–75% из смесителя 12 непрерывно поступает в пресс-экструдер 13. Сформованные куски торфа выстилаются на сетчатое полотно сушилки 14, в которой происходит искусственная сушка торфяных кусков до влажности 60–65% смесью воздуха с топочными газами, получаемыми в результате сжигания топлива в теплогенераторе 15. В качестве топлива, в основном, используется кондиционный кусковой топливный торф со склада 27, а также некондиционное топливо со склада 20 и включения размером более 10 мм из дробилки 23. Сушильный агент насыщается в сушилке 14 испаренной из торфяных кусков влагой и далее поступает в теплообменный и пылеочистительный аппарат скруббера-

теплообменник 16. В скруббере происходит утилизация теплоты сокового пара за счет промывания парогазовой смеси водой, подаваемой насосом 17 из отстойника 18 или водопровода. Шламовая вода сливается в отстойник 18, где происходит ее осветление и выпадение шлама в сборник 19. Нагретая в скруббере-теплообменнике 16 шламовая вода подается насосом 17 из отстойника 18 на приготовление торфомассы в смеситель 12. Из сушилки 14 куски торфа влажностью 60–65% поступают на склад 20 готовой продукции для окончательной досушки до кондиционной влажности 33–45%. Полученный кусковой топливный торф отправляется затем потребителю.

В весенне-летний период подготовленная в смесителе 12 торфомасса также поступает в бункер-накопитель 24 линии 7 по производству кускового топливного торфа с естественной полевой сушкой.

Из бункера-накопителя 24 торфомасса периодически доставляется на поле стилки и сушки кускового топливного торфа 8, где стилочной машиной с пресс-формователем 25 осуществляется формирование кускового топливного торфа и его расстил для полевой сушки. Через 8–10 дней после достижения кондиционной влажности 33–45% кусковой топливный торф уборочной машиной 26 убирают с поля стилки и сушки 8 и отправляют на склад готовой продукции 27. Для генерации топочных газов в теплогенераторе линии 5 сжигается в основном топливо, производимое на участке 7 вместе с отходами после дробилки 23 и некондиционной продукцией, образуемой на складах 20 и 27.

Летние ливневые атмосферные осадки, выпадающие на территории линии 7, по дренажу стекают в противопожарный водоем 28, из которого вода расходуется на производственные нужды.

По сравнению с существующими производствами кускового топливного торфа предлагаемый технологический комплекс с комбинированной сушкой торфяных кусков имеет ряд преимуществ.

К наиболее значимым можно отнести:

- в весенне-летний (сезонный) период для сушки торфяных кусков на линии 7 используется энергия солнца и ветра;
- поле стилки и сушки торфяных кусков располагается на суходоле с хорошей дренажной системой, которая позволяет быстро и эффективно сбрасывать атмосферные осадки в водоем;

- линия 5 с искусственной сушкой торфяных кусков работает круглый год. На генерацию топочных газов используется дешевое топливо, производимое на линии 7;
- дислокация линии 5 с искусственной сушкой, линии 6 подготовки наполнителя и линии 7 с естественной сушкой торфяных кусков на одной производственной площадке снижает эксплуатационные издержки на транспорт и коммуникации;
- процессы добычи и переработки торфяного сырья разделены как по месту, так и по времени, что благоприятно сказывается на организации производства;
- использование торфяного сырья в виде фрезерной крошки влажностью 60–75% для формования торфяных кусков позволяет стабилизировать процессы переработки и создает предпосылки для автоматизации производства.

Имеются и другие достоинства комплекса по сравнению с известными.

И все же, главное из них – надежность производства торфяного топлива высокого качества с меньшими теплоэнергетическими затратами и эксплуатационными издержками.

Библиографический список

1. *Горячев В.И.* Целесообразность использования торфяного топлива для теп-

лоснабжения общеобразовательных учреждений Тверской области / И.И. Горячев, И.И. Михеев, Т.П. Кузнецова // Промышленная энергетика. – 2003. – № 9. С. 14–15.

2. *Антонов В.Я.* Технология и комплексная механизация торфяного производства / В.Я. Антонов, В.Д. Копёнкин. – М.: Недра, 1983. 287 с.
3. Справочник по торфу. – М.: Недра, 1982. – 760 с.
4. Патент RU № 67580, МПК C10F 7/04, 27. Технологический комплекс по производству кускового топливного торфа. Оpubл. 27.10.2007, Бюл. № 30.
5. Патент RU № 2470984 МПК C10F 7/00. Модульный технологический комплекс добычи торфа и производства окускованного топлива. Оpubл. 27.12.2012.
6. Патент RU № 116496 МПК C10F 7/00. Технологический комплекс по производству кускового топливного торфа. Оpubл. 27.05.2012, Бюл. № 15.
7. *Горячев В.И.* Комбинированная технология производства кускового топлива из фрезерного торфа / В.И. Горячев, Б.Ф. Зюзин, И.Н. Казичев // Горная книга, ГИАБ. – 2015. – № 6. – С. 39–44.
8. Патент RU № 137288 МПК C10F 7/00. Устройство поля и стилки кускового топливного торфа. Оpubл. 10.02.2014, Бюл. № 4.

УДК 622.53.001

Зюзин Б.Ф.

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

Шамбер О.В.

Шамбер Олег Владимирович, доцент кафедры торфяных машин и оборудования ТвГТУ

ОСНОВНЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ ТЕХНОЛОГИИ ДОБЫЧИ КУСКОВОГО ТОРФА С СУШКОЙ НА СЕТКАХ

Аннотация. Дано описание варианта технологии добычи кускового торфа с сушкой на сетках и приводится расчет основных показателей технологического процесса с учетом и без предварительной подсушки торфомассы и в навале.

Ключевые слова: экскавация, навал, сушка, площади, циклы, цикловые и сезонные сборы, уборка.

Zyuzin B.F.

Zyuzin Boris F., Dr. Sci., Prof., Head of the Chair of Peat Machinery and Equipment, TSTU, Professor

Shamber O.V.

Shamber Oleg V., PhD, Associate Professor of the Chair of Peat Machinery and Equipment, TSTU

MAIN INDICATORS OF MINING TECHNOLOGY OF SOD PEAT WITH DRYING ON GRIDS

Abstract. The description of option of technology of extraction of sod peat with drying on grids and calculation of the main indicators of technological process with and without taking into account of preliminary subdrying of raw peat and in a pile are given.

Key words: peat excavation, pile, drying, areas, cycles, harvesting.

Описание технологии с предварительной подсушкой торфяной массы в навале

Это один из вариантов технологии производства кускового торфа с сушкой на сетках. Особенность технологического процесса заключается в том, что извлеченный из залежи торф не грузится в бункер стилочной машины, а укладывается в навал вдоль карьера для предварительного обезвоживания. Обезвоживание происходит за счет фильтрации свободной (не связанной) воды в подстилающий грунт под действием гравитационных сил и за счет испарения с поверхности навала. Торф выдерживается в навале в течение 5–7 суток. Его средняя влажность уменьшается примерно до 84 ... 86%.

При этом, чем выше влажность торфа в карьере, тем эффективнее протекает процесс предварительного обезвоживания.

Технология применяется при трудной осушаемости торфяной залежи, т. к. позволяет извлекать торф, обладающий повышенной влажностью 87–88% [1].

Навал должен быть одноцикловым, иначе при большом объеме торфа при укладке он будет растекаться. Обезвоженный торф при помощи грейферного погрузчика (или любого другого) перекладывается в бункер стилочной машины.

Стилочная машина перемешивает его в течение нескольких минут (5–7), формует куски и выстилает их на сетки, поднятые над поверхностью торфяной залежи на высоту 0,5 м. Предполагается, что снижение начальной влажности торфа позволит сократить среднюю продолжительность сушки одного расстила кусков до первого критического влагосодержания (70–75% для разных торфов) примерно до 7 суток.

Тогда количество слоев (или технологических циклов) на сетках можно увеличить до 15.

Экскаватор делает первый навал за неделю до начала стилки кусков и опережает стилку на цикл в течение всего сезона добычи. Гравитационное обезвоживание торфа в навале наиболее интенсивно в начале выдержки, потом процесс замедляется. Радиационная сушка охватывает только верхний слой навала на небольшую глубину [2].

Поэтому навал может лежать и более продолжительное время, оставаясь пригодным для формования.

Это позволяет использовать экскаватор периодически. Он делает круговой проход вдоль карьера с двух сторон, уложит торф в навал и некоторое время может выполнять другие работы.

Количество готовой продукции на единице площади контейнеров

Размеры кусков в момент формования: диаметр – 10 см, длина – 15 см.

Плотность стилки, соответствующая плотному однослойному расстилу $K_c = 0,785$.

При стилке внаброс (куски падают из мундштуков на сетку с высоты немного более 1,5 своего диаметра, отламываясь после выхода из мундштуков под действием силы тяжести, имеют длину около 1,5 диаметра) она может быть доведена до $K_c = 0,8$.

Стилка внаброс предпочтительнее, т. к. позволяет стекать воде и улучшает вентиляцию сохнущего торфа.

Загрузка площади контейнеров:

$$P_c = K_c \cdot d_k \cdot \gamma_k / (1 + w_a) = 0,8 \cdot 0,1 \cdot 965 / (1 + 5,67) = 11,6 \text{ кг/м}^2,$$

где K_c – критерий слоя; d_k – диаметр кусков, м; γ_k – плотность кусков, кг/м³; w_a – влагосодержание экскавированного торфа, кг/кг.

Количество готовой продукции на 1 м² площади сетки при условной влажности (q):

$$q = P_c \cdot (1 + w_{yc}) \cdot \alpha_c = 11,6 \cdot (1 + 0,5) = 16,5 \text{ кг/м}^2,$$

где w_{yc} – условное влагосодержание кускового торфа (округленно 0,5) кг/кг; α_c – коэффициент сбора, учитывающий потери при уборке.

Цикловой сбор – 165 т/га.

Сезонный сбор:

$$q_c = q \cdot n_c = 165 \cdot 15 = 2475 \text{ т/га.}$$

Количество контейнеров и их общая площадь

Площадь одного контейнера (принимается):

$$f = b_k \cdot l_k = 3 \cdot 4,5 = 13,5 \text{ м}^2.$$

Общая площадь всех контейнеров:

$$F = P_{\text{год}} / q_c = 3000 / 2475 = 1,212 \text{ га (12 120 м}^2\text{)}.$$

Количество контейнеров:

$$N_k = F / f = 12 120 / 13,5 = 897 \text{ шт.}$$

Ширина полосы, занимаемая одним рядом контейнеров (равная длине участка карьера, откуда торф выстилают на этот ряд контейнеров):

$$B_k = 2 \cdot b_k + 2 \cdot b_{ct} = 2 \cdot 3 + 2 \cdot 5 = 16 \text{ м},$$

где b_k – ширина одного контейнера; b_{ct} – ширина полосы для прохода стилочной машины.

Общая длина карьера, по принятому условию, равна 500 м, из них рабочая, кратная 16, составит $L_k = 496$ м.

Количество рядов контейнеров с двух сторон карьера:

$$N = 2 \cdot (L_k - B_k) / l_k = 2 \cdot (496 - 16) / 16 = 60$$

(по 30 рядов с каждой стороны карьера).

Площадь одного ряда контейнеров:

$$f_p = F_k / n_p = 12\,120 / 60 = 202 \text{ м}^2.$$

Длина одного сдвоенного ряда контейнеров:

$$L_p = f_p / b_p = 202 / 6 = 33,67 \text{ м},$$

где b_p – ширина сдвоенного ряда контейнеров, м.

Число контейнеров в сдвоенном ряду:

$$n_k = f_p / f_k = 202 / 13,5 = 14,96.$$

Округляем и принимаем уточненное количество контейнеров $n_{k1} = 16$ шт. (2 ряда по 8 шт.).

Уточненная длина ряда контейнеров:

$$L_{k1} = l_k \cdot n_p = 4,5 \cdot 8 = 36 \text{ м}.$$

Общее количество контейнеров после уточнения их количества:

$$N_{k1} = n_p \cdot n_{k1} = 60 \cdot 16 = 960 \text{ шт.}$$

Общая площадь всех контейнеров:

$$F_{k1} = f_k \cdot n_{k1} = 13,5 \cdot 960 = 12\,960 \text{ м}^2.$$

Запасы, вырабатываемые за сезон

Промышленные запасы торфа, вырабатываемые за сезон ($V_{пр}$):

$$V_{пр} = P_{год} / p,$$

где p – выход готовой продукции из 1 м³ промышленных запасов, кг/м³,

$$p = \gamma_z \cdot (100 - \omega_z) / (100 - \omega_{ус}) = 860 \cdot (100 - 88) / (100 - 33) = 154 \text{ кг/м}^3 = 0,154 \text{ т/м}^3,$$

где γ_z – плотность залежи, кг/м³; ω_z и $\omega_{ус}$ – относительная влажность осушенной залежи и условная влажность, %, тогда получим

$$V_{пр} = 3000 / 0,154 = 19\,532 \text{ м}^3.$$

Промышленные запасы торфа, вырабатываемые за сезон, с учетом потерь в карьере из-за пней:

$$V_{пр1} = \kappa_n \cdot V_{пр} = 1,1 \cdot 19\,532 = 21\,485 \text{ м}^3.$$

Основные параметры карьера

Глубина, принята равной 3 м (h_k).

Длина, соответствует длине участка – 496 м (L_k).

Ширина карьера, вырабатываемая за сезон:

$$b_{сез} = V_{пр1} / (L_k \cdot h_k) = 21\,485 / (496 \cdot 3) = 14,44 \text{ м}.$$

Ширина карьера, вырабатываемая за 1 рабочий проход экскаватора с одной стороны:

$$b_k = b_{сез} / n_{ц} \cdot 2 = 14,44 / 15 \cdot 2 = 0,481 \text{ м}.$$

Ширина карьера, вырабатываемого за 15 лет:

$$B_k = 15 \cdot b_{сез} = 15 \cdot 14,44 = 216,6 \text{ м}.$$

Размеры участка для добычи кускового торфа

Общая ширина участка, необходимая для работы в течение 15 лет:

$$B_{уч} = B_k + b_{кк} + 2 \cdot (b_1 + L_{p1} + b_2),$$

где $b_{кк}$ – ширина карьерного канала, м; b_1 – ширина разворота стилочной машины, м; L_{p1} – длина ряда контейнеров, м; b_2 – ширина полосы загрузки стилочной машины, м:

$$B_{уч} = 216,6 + 5 + 2 \cdot (10 + 36 + 10) = 333,6 \text{ м}.$$

Общая площадь технологического участка:

$$F_{уч} = (L_k + b_{ок} + b_{нк}) \cdot (B_{уч} + 2b_{нк}),$$

где $b_{ок}$, $b_{нк}$, $b_{пк}$, $b_{нк}$ – ширина отводящего, противопожарного и нагорного каналов:

$$F_{уч} = (496 + 5 + 2,5) \cdot (333,6 + 2 \cdot 1,5) = 169\,478 \text{ м}^2 = 17 \text{ га}.$$

Примечание: торф необходим только для формирования из него кусков. Следовательно, поля сушки могут располагаться за пределами торфяной залежи [3].

Описание новой технологии без предварительной подсушки торфомассы

Технология добычи кускового торфа с сушкой кусков в многослойном расстиле на сетках была предложена кафедрой «Торфяные машины и оборудование» Тверского политехнического института.

Рассматривалось несколько вариантов.

Один из них – сушка кусков в многослойном расстиле на сетках без предварительной подсушки торфа в навалах после экскавации.

Выемка торфа из залежи выполняется одноковшовым экскаватором. Он вынимает торфяной грунт, очищает его от древесных включений и грузит в бункер стилочной машины.

При хорошем осушении карьера, влажность формируемых кусков может составлять 84–86%.

Сушка кусков ведется на сетках, поднятых над поверхностью торфяной залежи на высоту до 50 см.

Такая высота обеспечивает хорошую вентиляцию подсеточного пространства, благоприятно воздействуя на сушку кусков.

Куски выстилаются на сетки плотным слоем и сушатся до влажности 70–75%, т. е. до момента, когда процесс сушки переходит из периода с постоянной интенсивностью испарения в убывающий.

Эта точка на кривой интенсивности испарения называется первым критическим влагосодержанием.

К этому времени куски уже приобрели определенную прочность и дали усадку. Слой кусков стал разреженным, проницаемым для осадков и воздуха.

На этот слой выстилается новый из свежесформованных кусков.

После того как он высохнет до первого критического влагосодержания, на него выстилают третий и т. д.

В течение сезона таких расстилов (циклов) можно выполнить 10...15, в зависимости от метеорологических условий района расположения предприятия по добыче торфа.

Ниже приводится ориентировочный расчет основных показателей такой технологии, основанный на экспериментальных данных.

Основные операции и их механизация

1. Экскавация торфа из залежи с удалением пней (одноковшовый экскаватор).

2. Погрузка торфа в бункер стилочной машины (одноковшовый экскаватор).

3. Переработка и перемешивание торфа, формование и стилка кусков (стилочная машина АСК-0 или АСК-1).

4. Сушка кусков в отрыве от подстила (сетчатые контейнеры).

5. Погрузка высушенного торфа (экскаватор или погрузчик).

6. Транспорт и разгрузка на складе (трактор с прицепом или автомобиль).

Сырьевая база и программа производства

Для расчета использовалась торфяная залежь низинного типа со степенью разложения торфа 20%.

Годовая программа производства принята равной 3000 т кускового торфа с пересчетом на условную влажность.

Схема технологического участка

Для участка выбрана площадка 500×370 м по осям оконтуривающих ее каналов общей площадью 18,5 гектара.

Глубина торфяного пласта после осушения – 3,5 м.

Залежь осушается на всю глубину.

Участок можно выбирать в пределах действующих полей добычи фрезерного торфа, в зоне прирезок и на отдельных торфяных месторождениях, в том числе небольших по площади.

Чем глубже будет залежь, тем компактнее будет производство по площади.

Необходимо предусмотреть возможность осушения торфяной залежи на всю глубину экскавации с учетом ее осадки [1].

Продолжительность работы участка

При годовом масштабе производства 3000 т и соответствующих размерах участка продолжительность работы участка без дополнительной прирезки площадей составит 15 лет.

Подготовка площади

При подготовке площади к эксплуатации выполняются операции:

- отрывка водоотводящих каналов (карьерного, до водоприемника, нагорных) и противопожарных каналов;
- сведение древесной и кустарниковой растительности;
- корчевка верхнего слоя и вывозка пней;
- засыпка старых картовых каналов (если участок расположен в границах действующего или законсервированного предприятия по добыче фрезерного торфа);
- разравнивание и уплотнение верхнего слоя залежи;
- отрывка временной открытой осушительной сети в виде картовых каналов через 40 м со сбросом воды в карьерный канал;
- засыпка временных каналов после окончания осушения залежи и после прекращения ее осадки (в условиях вновь подготавливаемого участка);
- дренирование площади на глубину 0,6 м со сбросом воды в карьер (открытые каналы будут мешать работе машин).

Основные технологические показатели

1. Продолжительность сезона:

- начало сезона – 1 июня (если погода позволяет, можно начать раньше);
- конец сезона – 20 сентября;
- общая продолжительность сезона – 110 дней, из них рабочих – 100.

2. Продолжительность сушки одного расстила: по экспериментальным данным сезона 1985 года, продолжительность сушки от 85 до 72% сильно варьирует.

Данные о продолжительности сушки верхних слоев приведены в таблице.

Общее количество опытов $n = 36$. Средняя продолжительность сушки $T = 8,014$ дня. Среднее квадратическое отклонение $\sigma_T = 3,41$ дня (табл. 1).

Средняя продолжительность сушки 8 дней не обеспечивает нужного уровня надежности технологического процесса (степень обеспеченности $\omega = 50\%$). Для ее повышения нужно увеличить степень обеспеченности до $\omega = 70\%$. Количество технологических циклов, или число слоев в многослойном расстиле, соответствующее средней продолжительности сезона 100 дней при продолжительности сушки одного слоя 8 дней, составит:

$$n_{50} = 100 : 8 = 12,5 \text{ дня.}$$

Таблица 1. Продолжительность сушки кусков на сетке (дней), поднятой над поверхностью залежи на 30 см (куски с начальным диаметром 10 см и длиной 15 см)

Table 1. Duration of drying of pieces on the grid raised over a deposit surface by 30 cm (pieces are of 10 cm in diameter and 15 cm in length)

Сетка	Стилка						$T_{\text{средн.}}$
	1	2	3	4	5	6	
1	5	12,5	9,5	4	11	8,5	8,42
2	5	12	9	3	11,5	10,5	8,5
3	3,5	11,5	10	3,5	11,5	8,5	8,08
4	3,5	12	6	3,5	12	8	7,5
5	4,5	12	7	2,5	12	8	7,7
6	5	12	8	2,5	12	8	7,9
Средняя	4,42	12	8,25	3,2	11,7	8,58	8,014

При степени обеспеченности $\omega = 70\%$:

$$n_{70} = n_{50} - t \cdot \sigma_n,$$

где t – нормированное отклонение; σ_n – среднее квадратическое отклонение количества циклов.

$$\sigma_n = 0,41 \cdot N_{50} = 0,41 \cdot 12,5 = 5,1.$$

$$\Phi(t) = 1 - 0,02 \cdot \omega = 1 - 0,02 \cdot 70 = -0,4.$$

По таблице интеграла вероятности Φ имеем: $n = 0,53$.

Тогда $n_{70} = 12,5 - 0,53 \cdot 5,1 = 9,8$, округленно 10 циклов.

Тогда продолжительность сушки одного слоя расстила в среднем за сезон составит 10 дней ($100/10 = 10$).

3. Количество готовой продукции на единице площади контейнеров:

- размеры кусков в момент формования: диаметр 10 см, длина 15 см;
- плотность стилки, соответствующая плотному однослойному расстилу $K_c = 0,785$. При стилке внаброс (куски падают из мундштуков на сетку с высоты, примерно равной 1,5 своей длины, а куски, отламываясь после выхода из мундштуков под действием силы тяжести, имеют длину около 1,5 диаметра) она может быть доведена до $K_c = 0,8$. Стилка внаброс предпочтительнее, т. к. позволяет стекать воде и улучшает вентиляцию сохнувшего торфа [2];
- загрузка площади контейнеров:

$$P_c = K_c \cdot d_k \cdot \gamma_k / (1 + w_3) = \\ = 0,8 \cdot 0,1 \cdot 965 / (1 + 5,67) = 11,6 \text{ кг/м}^2,$$

где K_c – критерий слоя; d_k – диаметр кусков, м; γ_k – плотность кусков, кг/м³; w_3 – влагосодержание экскавированного торфа, кг/кг;

- количество готовой продукции на 1 м² площади сетки при условной влажности (q):

$$q = P_c \cdot (1 + w_{yc}) \alpha_c = 11,6 \cdot (1 + 0,5) = 16,5 \text{ кг/м}^2,$$

где w_{yc} – условное влагосодержание кускового тора (округлено), кг/кг; α_c – коэффициент сбора, учитывающий потери при уборке;

- цикловой сбор – 165 т/га;
- сезонный сбор – 1650 т/га или 165 кг/м² (т. к. количество циклов стилки равно 10).

Количество контейнеров и их общая площадь

Площадь одного контейнера (принимается):

$$f = b_k \cdot l_k = 3 \cdot 4,5 = 13,5 \text{ м}^2.$$

Общая площадь всех контейнеров:

$$F = P_{\text{год}} / q_c = 3000 / 1650 = 1,82 \text{ га (18 200 м}^2\text{)}.$$

Количество контейнеров:

$$N_k = F / f = 18 200 / 13,5 = 1348 \text{ шт.}$$

Ширина полосы, занимаемая одним рядом контейнеров (равная длине участка карьера, откуда торф выстилают на этот ряд контейнеров):

$$B_k = 2 b_k + 2 b_{ct} = 2 \cdot 3 + 2 \cdot 5 = 16 \text{ м},$$

где b_k – ширина одного контейнера; b_{ct} – ширина полосы для прохода стилочной машины.

Общая длина карьера, по принятому условию, равна 500 м, из них рабочая, кратная 16, составит $L_k = 496$ м.

Количество рядов контейнеров с двух сторон карьера:

$$N = 2 \cdot (L_k - B_k) / l_k = 2 \cdot (496 - 16) / 16 = 60$$

(по 30 рядов с каждой стороны карьера).

Площадь одного ряда контейнеров:

$$f_p = F_k / n_p = 18 200 / 60 = 303,3 \text{ м}^2.$$

Длина одного сдвоенного ряда контейнеров:

$$L_p = F_p / b_p = 303,3 / 6 = 50,55 \text{ м},$$

где b_p – ширина сдвоенного ряда контейнеров, м.

Число контейнеров в ряду:

$$n_k = f_p / f_k = 303,3 / 13,5 = 22,47.$$

Округляем и принимаем уточненное количество контейнеров $n_{k1} = 22$ шт. (2 ряда по 11 шт.).

Уточненная длина ряда контейнеров:

$$L_{k1} = l_k \cdot n_p = 4,5 \cdot 11 = 49,5 \text{ м.}$$

Общее количество контейнеров после уточнения их количества:

$$N_{k1} = n_p \cdot n_{k1} = 60 \cdot 22 = 1320 \text{ шт.}$$

Общая площадь всех контейнеров:

$$F_{k1} = f_k \cdot n_{k1} = 13,5 \cdot 1320 = 17 820 \text{ м}^2.$$

Запасы, вырабатываемые за сезон

Промышленные запасы торфа, вырабатываемые за сезон (V_{np}):

$$V_{np} = P_{\text{год}} / p,$$

где p – выход готовой продукции из 1 м³ промышленных запасов, кг/м³;

$$p = \gamma_z \cdot (100 - \omega_3) / (100 - \omega_{yc}) = 760 \cdot (100 - 85) / (100 - 33) = 170 \text{ кг/м}^3 = 0,17 \text{ т/м}^3,$$

где γ_z – плотность залежи, кг/м³; ω_3 и ω_{yc} – относительная влажность осушенной залежи и условная влажность, %;

$$V_{np} = 3000 / 0,17 = 17 647 \text{ м}^3.$$

Промышленные запасы торфа, вырабатываемые за сезон, с учетом потерь в карьере из-за пней:

$$V_{np1} = \kappa_n \cdot V_{np} = 1,1 \cdot 17 647 = 19 400 \text{ м}^3.$$

Основные параметры карьера

Глубина, принята равной 3 м (h_k).

Длина, соответствует длине участка – 496 м (L_k).

Суммарная ширина карьера, вырабатываемая за сезон:

$$b_{сез} = V_{np1} / (L_k \cdot h_k) = 19 400 / (496 \cdot 3) = 13 \text{ м.}$$

Ширина карьера, вырабатываемая за 1 рабочий проход экскаватора с одной стороны:

$$b_k = b_{\text{сез}} / n_{70} \cdot 2 = 13 / 10 \cdot 2 = 0,65 \text{ м.}$$

Ширина карьера, вырабатываемого за 15 лет:

$$B_k = 15 \cdot b_{\text{сез}} = 15 \cdot 13 = 195 \text{ м.}$$

Размеры участка для добычи кускового торфа

Общая ширина участка, необходимая для работы в течение 15 лет:

$$B_{\text{уч}} = B_k + b_{\text{кк}} + 2 \cdot (b_1 + L_{\text{р1}} + b_2),$$

где $b_{\text{кк}}$ – ширина карьерного канала, м; b_1 – ширина разворота стилочной машины, м; $L_{\text{р1}}$ – длина ряда контейнеров, м; b_2 – ширина полосы загрузки стилочной машины, м;

$$B_{\text{уч}} = 195 + 5 + 2 \cdot (10 + 10,45 + 10) = 339 \text{ м.}$$

Общая площадь технологического участка:

$$F_{\text{уч}} = (L_k + b_{\text{ок}} + b_{\text{пк}}) \cdot (B_{\text{уч}} + 2b_{\text{нк}}),$$

где $b_{\text{ок}}$, $b_{\text{нк}}$, $b_{\text{пк}}$, $b_{\text{нк}}$ – ширина отводящего, противопожарного и нагорного каналов:

$$F_{\text{уч}} = (496 + 5 + 2,5) \cdot (339 + 2 \cdot 1,5) = 172\,197 \text{ м}^2 = 17,22 \text{ га.}$$

Примечание: торф необходим только для формирования из него кусков. Следовательно, поля сушки могут располагаться за пределами торфяной залежи [3].

Библиографический список

1. *Афанасьев А.Е.* Технология и комплексная механизация разработки торфяных месторождений: Учеб. пособие для вузов / А.Е. Афанасьев, Л.М. Малков, В.И. Смирнов и др. – М.: Недра, 1987. – 311 с.
2. *Антонов В.Я.* Технология полевой сушки торфа / В.Я. Антонов, Л.М. Малков, Н.И. Гамаюнов. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Недра, 1981. – 239 с.
3. *Мисников О.С.* Технология и комплексная механизация открытых горных работ. Добыча кускового торфа и сапропеля: учебное пособие / О.С. Мисников, В.А. Беляков, О.В. Шамбер. – Тверь: ТвГТУ, 2008. – 160 с.

УДК 622.331.002.5

Синицын В.Ф.

Синицын Вячеслав Федорович, д. т. н., профессор кафедры торфяных машин и оборудования Тверского государственного технического университета (ТвГТУ). Тверь, Академическая, 12.
vfsinizin@mail.ru

Копенкина Л.В.

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

**НЕКОТОРЫЕ
ОСОБЕННОСТИ
РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ
ОПРЕДЕЛЕНИЯ ОСАДОК
ПОД ЦИЛИНДРИЧЕСКИМ
КОЛЕСОМ В СЛУЧАЕ
ЕГО ВНЕЦЕНТРЕННОГО
НАГРУЖЕНИЯ**

Аннотация. В статье отмечается особенность решения задачи определения осадок под цилиндрическим колесом в случае его внецентренного нагружения. С помощью математических преобразований показано использование математической модели для случая, когда нагрузка приложена в середине колеса.

Ключевые слова: внецентренное нагружение, осадка грунта, цилиндрическое колесо, правило Бернулли-Лопиталья.

Sinicyn V.F.

Sinicyn Vyacheslav F., Dr. Sc., Professor of the Chair of Peat Machinery and Equipment of the Tver State Technical University (TvSTU). Tver, Akademicheskaya, 12

Kopenkina L.V.

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

**SOME APPROACHES TO
THE SOLUTION OF THE
TASK OF DETERMINATION
OF SETTLING UNDER THE
CYLINDRICAL WHEEL
IN CASE OF ITS ECCENTRIC
LOADING**

Abstract. Article is devoted to the some features of solution the problem of definition the settling of the eccentrically loaded wheel. Applying mathematical transformations the use of a mathematical model is shown for the case where the load is applied in the middle of the wheel.

Key words: eccentric loading, settling of ground, cylindrical wheel, L'Hopital-Bernoulli rule.

Для задачи определения осадок под цилиндрическим колесом в случае его внецентренного нагружения было получено аналитическое решение [1].

При этом для определения элементарной реакции ΔR_z , действующей на элементарный участок колеса шириной Δx (рис. 1), использовалась известная зависимость [2–4], связывающая размеры колеса, нормальную нагрузку на колесо, коэффициент упругости грунта и осадку колеса в случае приложения нагрузки к середине колеса.

Исходя из положения о том, что сумма элементарных реакций равна нагрузке на колесо Q_z , после интегрирования и преобразований получена формула для вычисления большей осадки H_2 :

$$H_2 = \left(\frac{15}{4} \cdot \frac{Q_z}{kB\sqrt{D}} \cdot \frac{1-m}{1-m^{\frac{5}{2}}} \right)^{\frac{2}{3}}, \quad (1)$$

где Q_z – нормальная нагрузка на колесо, кН; k – коэффициент упругости грунта, кН/м³; B – ширина колеса, м; D – диаметр колеса, м; H – осадка колеса, м.

Переменная m представляет собой отношение меньшей осадки H_1 к большей осадке H_2 :

$$m = \frac{H_1}{H_2}. \quad (2)$$

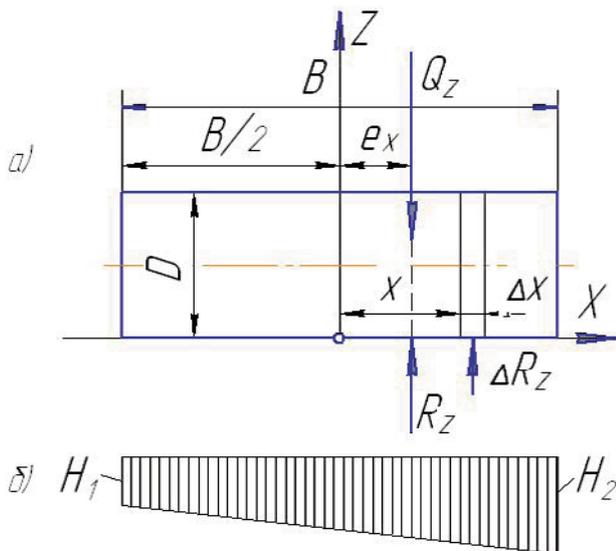


Рис. 1. К расчету внецентренно нагруженного колеса: а) расчетная схема; б) эпюра осадок

Fig. 1. Calculation of eccentrically loaded wheel: a) the calculated scheme; b) diagram of settling

Исходя из положения о том, что суммарный момент элементарных сил реакции грунта относительно начала координат (рис. 1) равен моменту относительно начала координат силы Q_z , было получено выражение:

$$\frac{e_x}{B} = \frac{1}{7} \left(\frac{5}{2} \cdot \frac{1+m^{\frac{5}{2}}}{1-m^{\frac{5}{2}}} - \frac{1+m}{1-m} \right). \quad (3)$$

Из уравнения (3) следует, что отношение осадок $m = \frac{H_1}{H_2}$ непосредственно связано только с относительным смещением нагрузки от середины колеса $\frac{e_x}{B}$. Зависимость $e_x/B = f(m)$ представлена на рис. 2.

Аналитического решения уравнения (2) относительно m найти не удалось. В этой связи и было предложено осадки H_1 и H_2 находить графоаналитическим методом: исходя из смещения e_x внешней нормальной нагрузки Q_z от середины колеса, вычисляется значение отношения e_x/B ; по графику $e_x/B = f(m)$ (рис. 2) находится значение m (точка 2), соответствующее расчетному значению e_x/B (точка 1); подставляя найденное значение m , а также Q_z , k , B , D в (1), вычисляют H_2 .

Значение H_1 вычисляется по формуле:

$$H_1 = mH_2. \quad (4)$$

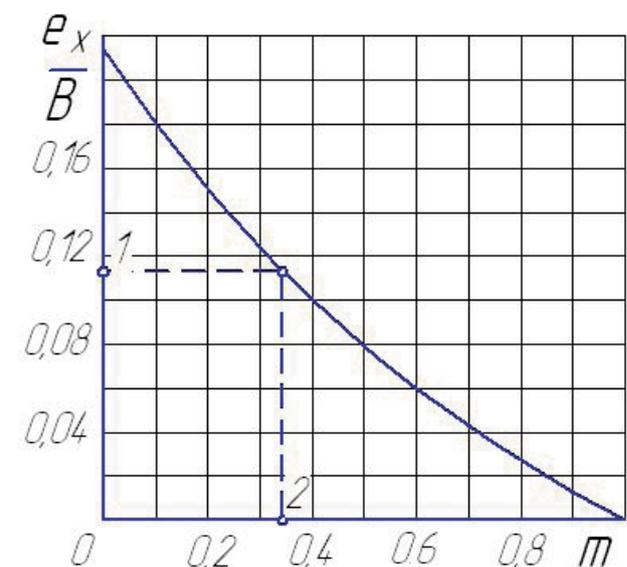


Рис. 2. Зависимость $e_x/B = f(m)$

Fig. 2. The dependence $e_x/B = f(m)$

Если нагрузка Q_z приложена к середине колеса, то нет необходимости пользоваться решением, полученным для случая внецентренного нагружения. Вместе с тем, в ходе решения задачи об определении осадок под цилиндрическим колесом в случае его внецентренного нагружения [1] не вводилось допущений, которые делали бы невозможным использование этого решения в случае, когда нагрузка Q_z приложена к середине колеса. Однако в публикации [1] было сделано предупреждение о том, что предложенное решение нельзя использовать в случае, когда нагрузка Q_z приложена к середине колеса. Эти факты могут навести внимательного и заинтересованного читателя на мысль об ошибочности предлагаемого решения. В этой связи авторы и сочли необходимым опубликовать соответствующие пояснения.

Если нагрузка Q_z приложена к середине колеса, $e_x = 0$, осадки H_1 и H_2 одинаковы. При этом отношение $e_x/B = 0$, а, в соответствии с (2), $m = 1$. Следовательно, при подстановке $m = 1$ в выражение (3) правая часть этого выражения должна стать равной нулю. Однако этого не происходит.

Подстановка $m = 1$ в правую часть формулы (3) приводит к выражению, содержащему неопределенности, связанные с делением на нуль:

$$\frac{1}{7} \left(\frac{5}{2} \cdot \frac{1+m^{\frac{5}{2}}}{1-m^{\frac{5}{2}}} - \frac{1+m}{1-m} \right) = \frac{1}{7} \left(\frac{5}{2} \cdot \frac{1+1^{\frac{5}{2}}}{1-1^{\frac{5}{2}}} - \frac{1+1}{1-1} \right) = \frac{1}{7} \left(\frac{5}{2} \cdot \frac{2}{0} - \frac{2}{0} \right). \quad (5)$$

Оказывается, что стоящая в скобках правая часть уравнения (3), являющаяся функцией переменной m

$$F(m) = \frac{5}{2} \cdot \frac{1+m^{\frac{5}{2}}}{1-m^{\frac{5}{2}}} - \frac{1+m}{1-m}, \quad (6)$$

при $m = 1$ имеет предел. Этот предел равен нулю и может быть найден в результате операции раскрытия неопределенности, выполняемой в соответствии с правилом Бернулли-Лопитала [5].

Приведем правую часть формулы (3), стоящую в скобках, к общему знаменателю:

$$F(m) = \left(\frac{5}{2} \cdot \frac{1+m^{\frac{5}{2}}}{1-m^{\frac{5}{2}}} - \frac{1+m}{1-m} \right) = \left(\frac{5(1+m^{\frac{5}{2}})(1-m) - 2(1+m)(1-m^{\frac{5}{2}})}{2(1-m^{\frac{5}{2}})(1-m)} \right). \quad (7)$$

При подстановке $m = 1$ в правую часть формулы (7) числитель и знаменатель выражения, стоящего в скобках, оказываются равными нулю:

$$F(m) = \left(\frac{5(1+m^{\frac{5}{2}})(1-m) - 2(1+m)(1-m^{\frac{5}{2}})}{2(1-m^{\frac{5}{2}})(1-m)} \right) = \left(\frac{0}{0} \right). \quad (8)$$

Следовательно, приведение правой части формулы (3), стоящей в скобках, к общему знаменателю преобразует ее в выражение, содержащее неопределенность вида $\frac{0}{0}$. Для раскрытия этой неопределенности и воспользуемся правилом Бернулли-Лопитала [5].

Введем обозначения:

$$f(m) = 5(1+m^{\frac{5}{2}})(1-m) - 2(1+m)(1-m^{\frac{5}{2}}), \quad (9)$$

$$\varphi(m) = 2(1-m^{\frac{5}{2}})(1-m). \quad (10)$$

С использованием этих обозначений выражение (8) принимает следующий вид:

$$F(m) = \left(\frac{f(m)}{\varphi(m)} \right). \quad (11)$$

Согласно правилу Бернулли-Лопитала, предел отношения функции $f(m)$ к функции $\varphi(m)$ находится как предел отношения производных этих функций:

$$\lim_{m \rightarrow 1} F(m) = \lim_{m \rightarrow 1} \left(\frac{f(m)}{\varphi(m)} \right) = \lim_{m \rightarrow 1} \left(\frac{f'(m)}{\varphi'(m)} \right). \quad (12)$$

Производная от $f(m)$ по m

$$f'(m) = \frac{35}{2} m^{\frac{3}{2}} - \frac{21}{2} m^{\frac{5}{2}} - 7. \quad (13)$$

Производная от $\varphi(m)$ по m

$$\varphi'(m) = -5m^{\frac{3}{2}} + 7m^{\frac{5}{2}} - 2. \quad (14)$$

Подставляя правые части (13) и (14) в выражение (12), получаем:

$$\lim_{m \rightarrow 1} F(m) = \lim_{m \rightarrow 1} \left(\frac{\frac{35}{2}m^{\frac{3}{2}} - \frac{21}{2}m^{\frac{5}{2}} - 7}{-5m^{\frac{3}{2}} + 7m^{\frac{5}{2}} - 2} \right). \quad (15)$$

При подстановке $m = 1$ в правую часть формулы (15) опять получаем неопределенность вида $\frac{0}{0}$.

В этом случае, согласно правилу Бернулли-Лопиталья, предел функции $F(m)$ следует искать как отношение второй производной функции $f''(x)$ ко второй производной функции $\varphi''(x)$:

$$\lim_{m \rightarrow 1} F(m) = \lim_{m \rightarrow 1} \left(\frac{f''(m)}{\varphi''(m)} \right). \quad (16)$$

Дифференцируя выражения (13) и (14) еще раз, получаем:

$$f''(m) = \left(\frac{35}{2}m^{\frac{3}{2}} - \frac{21}{2}m^{\frac{5}{2}} - 7 \right) = \frac{105}{4}m^{\frac{1}{2}} - \frac{105}{4}m^{\frac{3}{2}}, \quad (17)$$

$$\varphi''(m) = \left(-5m^{\frac{3}{2}} + 7m^{\frac{5}{2}} - 2 \right) = \frac{15}{2}m^{\frac{1}{2}} + \frac{35}{2}m^{\frac{3}{2}}. \quad (18)$$

С использованием выражений (17) и (18) выражение (16) записывается в следующем виде:

$$\lim_{m \rightarrow 1} F(m) = \lim_{m \rightarrow 1} \left(\frac{\frac{105}{4}m^{\frac{1}{2}} - \frac{105}{4}m^{\frac{3}{2}}}{\frac{15}{2}m^{\frac{1}{2}} + \frac{35}{2}m^{\frac{3}{2}}} \right). \quad (19)$$

Подставляя в (19) $m = 1$, убеждаемся, что при этом

$$\lim_{m \rightarrow 1} F(m) = 0. \quad (20)$$

Следовательно, правая часть выражения (3) имеет предел при $m = 1$, и этот предел равен нулю.

Этот же факт показывает, что инженер, занимающийся математическим моделированием процессов и явлений, входящих в круг его профессиональных интересов, может столкнуться с необходимостью исследовать специфические математические свойства используемых средств описания моделируемых процессов и явлений.

Библиографический список

1. *Синицын В.Ф.* Определение осадок и давлений под цилиндрическим колесом в случае его внецентренного нагружения / В.Ф. Синицын // Известия вузов. Горный журнал. - 1972. - № 8. - С. 86-89.
2. *Чудаков Е.А.* Теория автомобиля. 3-е изд., перераб. и доп. / Е.А. Чудаков - М.: Изд-во машиностроительной литературы, 1950. - 343 с.
3. *Львов Е.Д.* Теория трактора. 5-е изд., перераб. и сокр. / Е.Д. Львов - Л.: Машгиз, 1960. - 343 с.
4. *Солопов С.Г.* Торфяные машины / С.Г. Солопов, М.В. Мурашов, М.А. Миркин и др. - М.: Высшая школа, 1962. - 355 с.
5. *Фролов С.В.* Курс высшей математики / С.В. Фролов, Р.Я. Шостак. - М.: Высшая школа, 1962. - 664 с.

УДК 662.31.33:622.331:504.5.062.631.615

Кукушкина Е.Е.

Кукушкина Елена Евгеньевна, к. с.-х. н., доцент кафедры геологии, переработки торфа и сапропеля Тверского государственного технического университета (ТвГТУ). Тверь, Академическая, 12. kukushkina_elena@bk.ru

Панов В.В.

Панов Владимир Владимирович, д. г. н., зав. кафедрой геологии, переработки торфа и сапропеля ТвГТУ. Тверь, Академическая, 12. vvpanov61@gmail.com

ОПЫТ КУЛЬТИВИРОВАНИЯ ТРОСТНИКА (PHRAGMITES AUSTRALIS) ПРИ ИСКУССТВЕННОМ (ПОВТОРНОМ) ОБВОДНЕНИИ ВЫРАБОТАННЫХ ТОРФЯНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ В ТВЕРСКОЙ ОБЛАСТИ

Аннотация. В работе предложена технология посадки растений тростника на обводняемых ранее осушенных торфяниках. Дана оценка приживаемости растений. Определены условия и предложены рекомендации по получению промышленной биомассы растений тростника.

Ключевые слова: биомасса, выработанный торфяник, тростник, торф.

Kukushkina E.E.

Kukushkina Elena E., PhD, Assistant Professor of the Chair of Geology, Peat and Sapropel Processing of the Tver State Technical University (TvSTU). Tver, Academicheskaya, 12. kukushkina_elena@bk.ru

Panov V.V.

Panov Vladimir V., Dr. Sci., Prof., Head of the Chair of Geology, Peat and Sapropel Processing of the Tver State Technical University. Tver, Academicheskaya, 12. vvpanov61@gmail.com

EXPERIENCE OF CULTIVATION OF REED (PHRAGMITES AUSTRALIS) AT ARTIFICIAL REWATERING OF THE DEVELOPED PEAT FIELDS IN THE TVER REGION

Abstract. The technology of cultivation of reed on the rewatered formerly drained peat fields is offered. The assessment of survival of plants is given. Conditions are determined and recommendations about receipt of industrial biomass of plants of reed are offered.

Key words: biomass, cutaway peatlands, reed.

Начиная с середины прошедшего столетия основной задачей рекультивации земель, нарушенных в результате добычи торфа, являлось их вовлечение в хозяйственный оборот. Решению этого вопроса полностью отвечают ранее разработанные технологии лесохозяйственного, сельскохозяйственного, рыбохозяйственного и др. направлений возможного последующего использования выработанных площадей. Так, сельскохозяйственное освоение территорий позволило расширить кормовую базу для животноводства, обеспечить собственными кормами агропредприятия. Результаты многочисленных экспериментальных исследований создали возможность рекомендовать систему мелиоративного земледелия (структуру посевных площадей, севообороты, нормы внесения минеральных и органических удобрений и т. д.), направленную на создание высокопродуктивных сельскохозяйственных угодий.

Как показывает практический опыт во многих регионах России, применение традиционных технологий, использование выработанных торфяных месторождений только под рекультивацию не всегда бывает успешным, экономически целесообразным и экологически безопасным. Например, сельскохозяйственное освоение связано со значительными капитальными вложениями, затратами труда, которые не всегда окупаются вследствие низкой продуктивности угодий. Создание лесных посадок необходимо сочетать с систематическим уходом за осушительной сетью, что повсеместно не выполнялось лесхозами, принимающими и эксплуатирующими эти участки. Неудовлетворительный водно-воздушный режим приводил к гибели саженцев от переувлажнения почв, формированию малоценных лесных массивов. Все это требует поиска, совершенствования и внедрения новых альтернативных способов комплексного освоения территорий выработанных торфяных месторождений, включающих сочетание извлечения ресурса с его возобновлением.

Работы по обводнению брошенных полей и карьеров торфодобычи активно проводятся в Тверском регионе в течение последних шести лет и в основном сводятся к поверхностному подтоплению полей добычи торфа для снижения их пожароопасности. Вместе с тем, кроме снижения пожароопасности вновь заболочиваемые участки пригодны для выращивания

на них палюдокультуры тростника (*Phragmites australis*), биомасса которого является одним из наиболее перспективных возобновляемых источников энергии растительного происхождения, может использоваться в строительстве и сельском хозяйстве.

Предварительно в составе эксперимента было проведено изучение биологических особенностей произрастания тростника на выработанных торфяных месторождениях в природно-климатических условиях области [1]. Растения тростника могут произрастать в составе вторичного фитоценоза на части территории выработанного торфяного месторождения, но, как показали результаты исследований 2014 г. на месторождении Чувицино, вследствие различий уровня воды и мощности остаточного придонного слоя торфа они не всегда будут являться доминантами. С другой стороны, на слабо- и среднеобводненных фрезерных полях при естественном зарастании формируются сообщества с покрытием от 40 до 70%, т. е. в течение длительного периода времени территория будет характеризоваться крайне неравномерным распределением растительности. Поэтому при естественных, неконтролируемых условиях зарастания участков получить плантацию тростника с высокой продуктивностью для промышленной заготовки и переработки биомассы практически не возможно.

Анализ полученных данных позволил выявить два важнейших фактора, определяющих направления обустройства территории и технологические особенности проведения работ по выращиванию тростника. Во-первых, оптимальными условиями вегетационного периода являются условия постоянного поверхностного затопления. Поэтому на экспериментальных участках плантации Галицкий Мох картовые каналы с целью снижения дренающего эффекта и создания оптимального водно-воздушного режима за три дня до подготовки почвы и посадки были перекрыты глухими земляными перемычками.

Во-вторых, при разработке способов выращивания предполагалось, что одним из вариантов может являться посев семенами, предварительно собранными в местах произрастания. Оценка потенциальной семенной продуктивности растений тростника на выработанном торфяном месторождении Чувицино позволила установить следующие закономерности. Поскольку в течение вегетацион-

ного периода отрастание стеблей происходит неравномерно, то определенного временного периода созревания семян, а, следовательно, и оптимального срока их заготовки (уборки) не существует. В популяции одновременно возможно встретить растения, находящиеся в разных фазах развития: выметывание, в фазе цветения, созревания семян, с соцветиями, в которых семена уже созрели. Оценить визуально степень зрелости семян в момент уборки очень сложно. По мере созревания семена тростника не удерживаются в соцветии, осыпаются на поверхность почвы, воды. Поэтому сохранить отобранные метелки для дальнейшего использования в качестве посадочного материала нельзя, а сам процесс сбора помимо трудоемкости будет сопряжен со значительными потерями семян.

В-третьих, потерь частично можно избежать, проводя уборку до полного созревания всех семян, но наши исследования показали, что собранные заблаговременно соцветия в условиях лаборатории не дозревают, и в этом случае доля незрелых семян с потенциально низкой жизнеспособностью может возрасти до недопустимого с хозяйственной точки зрения уровня. Таким образом, в качестве приоритетного следует выделить метод вегетативного размножения растений.

В 2014 г. исследования проводились на выработанном торфяном месторождении Галицкий Мох (Конаковский район Тверской области). Экспериментальный участок расположен на окраине болота с низинной торфяной залежью. Осушение проведено открытым способом системой валовых и картовых каналов. В начале исследований территория болота находилась в состоянии самозаращения (естественная вторичная сукцессия). Мощность остаточного придонного слоя торфа – от 0,1 до 0,5 м.

На участке были оборудованы три делянки площадью 100 м² каждая, квадратной формы (10×10 м), вплотную примыкающие к картовым каналам.

Состав работ по первичному освоению включал следующие технологические операции (с учетом последовательности их проведения): механическое удаление надземной части и корневой системы сорной растительности, удаление части придонного слоя торфа, первичная планировка поверхности участков.

Опыт двухфакторный. Первый – различная мощность придонного слоя торфа: опытная

делянка № 1 – мощность остаточного слоя торфа – 0,4 см; № 2 – мощность остаточного слоя торфа – 0,5 см; № 3 – мощность остаточного слоя торфа – 0,1 см.

Второй фактор – различная ширина междурядий при размещении посадочного материала тростника: вариант № 1 – ширина междурядий 45 см; № 2 – ширина междурядий 70 см.

Поверхностная обработка включала боронование, выравнивание, устранение неровностей микрорельефа граблями. В целях сокращения потерь влаги, предотвращения распыления верхнего слоя почвы проведение глубокой обработки не планировалось.

Таким образом, в результате уничтожения травянистой растительности и мелкой обработки были созданы оптимально возможные условия для равномерной заделки в почву посадочного материала тростника, отвечающие биологическим особенностям растений. Поверхность торфяной почвы перед посадкой была хорошо выровнена, разрыхлена. Проведение поверхностного боронования способствовало уменьшению испарения влаги, хорошему проникновению атмосферных осадков и воздуха в почву, уничтожению прорастающих семян сорняков.

Посадочный материал при использовании вегетативного размножения растений должен быть высококачественным. Для решения данной задачи необходима разработка эффективной технологии его заготовки и хранения с учетом конкретных почвенно-климатических условий. Весной 2014 г. отбор проводился на специальных площадках, на которых заблаговременно были проведены работы, включающие снятие поверхностного придонного слоя торфа до уровня расположения основной массы корневищ (0,5–0,6 м). Поскольку корневища располагаются в торфяной почве на значительной глубине, без предварительной подготовки участка заготовка посадочного материала практически не возможна. После выкапывания корневища осматривали, выбраковывали и удаляли не имеющие живых спящих почек. Длинные части корневища перед посадкой разрезали на участки, обязательным условием при этом являлось наличие на отрезке не менее двух живых почек, что позволяло получать выровненный, однотипный посадочный материал. Использовали практически все корневища, образовавшееся к времени посадки. Участки корневища во время нарезки оберегали от подсушивания. Таким

образом, заготовка, выбраковка и подготовка посадочного материала в опыте были проведены непосредственно в день закладки плантации на экспериментальных участках, исключая его хранение.

При создании промышленных плантаций на значительных площадях выработанных торфяных месторождений потребность в посадочном материале существенно возрастет, что создаст дополнительные трудности.

В связи с этим является целесообразным проведение исследований, выявляющих возможность его консервации и хранения, определения оптимальных сроков и регламентов (температура, влажность и т. п.). Вопрос установления качественных характеристик посадочного материала (наличие спящих почек, их количество, состояние, биометрические параметры и т. д.) также требует дальнейшего изучения и конкретизации. Исследования в этом направлении позволят повысить приживаемость растений тростника, а, следовательно, и эффективность разрабатываемой технологии.

Приживаемость растений возможно дополнительно повысить, если корневища тростника перед посадкой в почву предварительно обработать стимуляторами роста. Ассортимент подобных препаратов, изготавливаемых в РФ и за рубежом, достаточно широк. Технология обработки посадочного материала не требует значительных материальных затрат и затрат труда.

Закладка плантации тростника была проведена 14 июня 2014 г. Выбор схемы посадки (оптимального способа) продиктован целесообразностью разработки промышленной технологии посадки тростника и возможностью наиболее полного применения при этом средств механизации (сельскохозяйственных и лесохозяйственных машин и орудий отечественного производства, рассчитанных на стандартную ширину междурядий в 70 см и 45 см).

Размещение посадочного материала по территории участков – широкорядное (посадка рядами). В опыте применяли две схемы посадки: 70×25 см и 45×25 см. В первом варианте междурядье составило 70 см, расстояние между участками корневища в ряду – 25 см. Во втором варианте – более загущенная посадка – междурядье – 45 см, расстояние между участками корневища в ряду – 25 см. Раскладку частей корневища на дно борозды осуществляли горизонтально вручную. Глубина посадки

была равной 15–18 см. Заделка посадочного материала осуществлялась вручную. При засыпке борозд использовали только почву верхнего слоя, контролировали равномерность заделки и установленную глубину размещения корневищ.

Можно предположить, что посадка участками корневища будет иметь следующие основные преимущества перед посевом: высаженный посадочный материал меньше страдает от травянистой растительности и пересыхания верхних слоев почвы; первые годы после посадки растения, образовавшиеся из спящих почек, будут расти быстрее, чем всходы, и легче переносить неблагоприятные погодные условия. Кроме того, с течением времени после укоренения пионерных растений дополнительно будет осуществляться размножение тростника семенами. Отрицательные стороны анализируемой технологии: высокие затраты ручного труда на заготовку корневищ, значительное количество посадочного материала, которые возможно оптимизировать, если эти работы проводить заблаговременно.

Проведение работ по уходу за плантациями тростника в течение вегетационного периода не планировалось.

С учетом изучаемых вариантов схемы посадки площадь питания одного растения тростника была равной: $S_1 = 0,7 \text{ м} \times 0,25 \text{ м} = 0,18 \text{ м}^2$ (при стандартной ширине междурядья 0,7 м и расстоянием между растениями в ряду 0,25 м), $S_2 = 0,45 \text{ м} \times 0,25 \text{ м} = 0,11 \text{ м}^2$ (при стандартной ширине междурядья 0,45 м и расстоянием между растениями в ряду 0,25 м).

Метеорологические условия весны и лета 2014 года характеризовались преобладанием умеренно теплой погоды с небольшими кратковременными дождями в отдельные периоды. С середины июня осадки выпадали крайне ограниченно, что привело к существенному недостатку влаги в почве.

Наблюдения за ростом растений велись на протяжении всего опыта. В условиях недостатка продуктивной влаги в почве не все жизнеспособные спящие почки на корневищах сформировали проростки, а надземная вегетативная масса начала активно отрастать только к первой декаде августа.

В первый год жизни растений формирование надземной биомассы происходило в основном за счет питательных веществ, накопленных в участке корневища. Это приводило к появлению низкорослых растений с незна-

чительной семенной продуктивностью. Придаточные корни в первый год жизни растений развивались слабо, что позволило выдвинуть следующее предположение: для ускорения этого процесса на территории плантации тростника необходимо создать оптимальные условия влагообеспечения, каковыми является полное поверхностное затопление.

Таким образом, технология выращивания биомассы тростника на территории выработанного торфяного месторождения предусматривает следующую этапность действий: вначале – проведение культуртехнических мероприятий, реконструкция элементов осушительной сети, подготовка почвы и посадка. Завершать работы должны мероприятия по полному поверхностному затоплению территории. Главный элемент технологии – реконструкцию инженерных сооружений и элементов осушительной сети – необходимо провести тщательно и таким образом, чтобы полностью исключить в течение вегетации периоды с недостаточным увлажнением.

С целью учета приживаемости посадочного материала по окончании вегетационного периода на экспериментальных площадках была проведена контрольная копка. Установлено, что средняя высота стеблей тростника, сформировавшихся от посаженных в июне корневищ, колебалась в пределах 30 см, 15–20 см и 15 см на участках 1, 2 и 3 соответственно. Продуктивные стебли отсутствовали. В среднем только 20–25% отрезков корневища оказались способными в первый год посадки сформировать надземную биомассу, при этом от одного корневища отрастало по 3 развитых побега.

Погибшие в течение вегетационного периода корневища составляли 20–25%. Жизнеспособные корневища (70–75%) имели хорошо развитые почки и корневую систему, что позволило предположить большую вероятность возобновления растений в 2015 году.

По-видимому, недостаток влаги в почве привел к торможению роста тростника, которое прослеживается по всем основным ростовым показателям (высота стеблей, наличие жизнеспособных почек на корневище и т. п.), однако процесс формирования стеблей не был нарушен. Можно предположить, что в участках корневища в течение вегетационного периода 2014 г. была сохранена согласованность основных метаболических процессов, что обеспечивает возможность их роста и развития (при условии перезимовки) в дальнейшем.

Полученные данные позволили определить состав работ при использовании метода вегетативного размножения растений, включающий:

1) отбор на предварительно подготовленных участках в местах произрастания тростника посадочного материала – корневищ;

2) подготовка их к посадке: браковка, нарезка (при необходимости – транспортировка и хранение);

3) подготовка поверхности участка (культуртехнические работы, удаление травянистой растительности, кустарников, первичная, предварительная планировка);

4) поверхностная обработка торфяной почвы (мелкое рыхление, выравнивание, нарезка борозд);

5) посадка тростника путем раскладки посадочного материала на дно борозды на расстоянии 20–25 см;

6) заделка борозд, выравнивание поверхности, при условии недостатка влаги – уплотнение (прикатывание);

7) уход за посадками – установление оптимального увлажнения участка.

Кроме заготовки корневищ, браковки и посадки остальные работы по выращиванию тростника могут быть полностью механизированы.

Предварительно можно сделать следующие выводы и рекомендации.

1. Территория выработанного торфяного месторождения, подвергшаяся эффективному осушению в процессе добычи торфа, в последующие годы зарастает сорной растительностью, кустарниками. Поэтому при разработке технологии освоения этих участков должны быть предусмотрены меры борьбы с растительностью, нарушения связности дернины, культуртехнические приемы уничтожения кустарников и мелкокося.

2. После выполнения первичной планировки территории и устранения микрорельефа необходимо дополнительное выравнивание и неглубокое рыхление поверхности с целью достижения оптимального сложения, плотности, пористости торфяной почвы. С помощью рыхления и выравнивания поверхности улучшаются условия для равномерной заделки в торфяную почву посадочного материала тростника.

3. С целью получения достаточного выхода и качества посадочного материала тростника при его вегетативном размножении допол-

нительно необходимо планировать создание на территории участка для заготовки корневищ.

4. Приживаемость растений при закладке плантации вегетативного размножения в большой степени зависит от состояния посадочного материала. Заготовленные за несколько дней до посадки корневища необходимо тщательно прикопать. Если корневища подсохли, то их рекомендуется опустить в воду на 12–24 часа.

5. Для создания плантаций тростника при использовании посадочного материала (частей корневища) должны быть проведены следующие основные технологические операции: первичная подготовка поверхности участка, планировка, удаление растительности, выравнивание и рыхление поверхностного слоя торфяной почвы, нарезка борозд, посадка, закрытие борозд (выравнивание поверхности), уплотнение поверхности – прикатывание (при необходимости).

6. Создание плантаций тростника с использованием вегетативного размножения растений связано со значительным расходом посадочного материала на 1 га площади. Поэтому при использовании этой технологии рекомендуется посадочный материал заготавливать заблаговременно. Приемы сохранения и консервации посадочного материала нуждаются в изучении.

7. Выживаемость посадочного материала находится на достаточно высоком уровне, к концу первого года вегетации 70–75% отрезков корневища сохраняют жизнеспособность, живые почки.

Библиографический список

1. Кукушкина Е.Е., Панов В.В. Перспективы получения биомассы тростника (*Phragmites*

australis) при естественном зарастании выработанных торфяных месторождений в условиях Тверской области // Труды Инсторфа-2015. – № 11 (64). – С.19–32.

2. Кукушкина Е.Е. Особенности формирования фитоценозов при естественном зарастании выработанных торфяных месторождений в условиях Тверской области // Теоретические и прикладные вопросы науки и образования: Сб. науч. тр. – Тамбов: УСОМ, 2015. С. 96–99.
3. Кукушкина Е.Е. Разработка операционной технологии создания биоэнергетических плантаций в условиях Тверской области // Наука сегодня: Сб. науч. тр. – Вологда: НТ Диспут, 2015. – С. 54–56.

Работа выполнена при поддержке проекта «Восстановление торфяных болот в России в целях предотвращения пожаров и смягчения изменений климата», финансируемого в рамках Международной климатической инициативы Федеральным министерством окружающей среды, охраны природы, строительства и безопасности ядерных реакторов Федеративной Республики Германия и управляемого через Германский банк развития KfW (проект № 11 III 040 RUS K «Восстановление торфяных болот»).

This study was prepared with the support from the Project «**Restoring Peatlands in Russia – for fire prevention and climate change mitigation**» financed under the International Climate Initiative (ICI) by the German Federal Ministry for the Environment, Nature Conservation, Building and Nuclear Safety (BMUB) and facilitated through German Development Bank KfW (Project number 11 III 040 RUS K Restoring Peatlands).

УДК 662.331(09)

Копенкина Л.В.

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

**ТОРФЯНАЯ
ОТРАСЛЬ
В ГОДЫ ВЕЛИКОЙ
ОТЕЧЕСТВЕННОЙ ВОЙНЫ
(к 70-летию Великой
Победы)**

Аннотация. В статье отмечается большое значение торфяного топлива для обеспечения электростанций и предприятий Центрального промышленного района нашей страны в годы Великой Отечественной войны, показано развитие торфяной отрасли в военные годы. Отмечена роль руководителей торфяной отрасли в эти годы – А.Ф. Баусина, Н.Н. Самсонова.

Ключевые слова: торф, Великая Отечественная война, история торфяного дела.

Kopenkina L.V.

Kopenkina Lubov V., PhD, Associate Professor of the Chair of Peat Machinery and Equipment of the Tver State Technical University (TvSTU). Tver, Akademicheskaya, 12

**PEAT INDUSTRY
IN DAYS OF THE GREAT
PATRIOTIC WAR
(to the 70 anniversary
of the Great Victory)**

Abstract. Article is devoted to the great value of peat fuel for providing power plants and enterprises of the Central industrial region of our country in days of the Great Patriotic War. Development of peat branch in the years of the War is shown. The role of heads of peat branch these years – A.F. Bausin, N.N. Samsonov is noted.

Key words: peat, Great Patriotic War, history of the peat.

В 2015 году в России отмечали 70 лет со дня Великой Победы над фашистской Германией в Великой Отечественной войне. День Победы – это итог самоотверженного военного и трудового подвига народа, в том числе и работников, связанных с добычей и использованием торфа.

В годы войны большую роль в обеспечении торфяным топливом электростанций и промышленных предприятий сыграл тот факт, что торфяные предприятия, обслуживавшие районные электростанции, были переданы в апреле 1940 года из ведения Народного комиссариата местной топливной промышленности РСФСР в ведение Народного комиссариата электростанций СССР [1].

На торфяных предприятиях Наркомата электростанций в 1940 году было добыто 13 445 тыс. т торфа (41,9% всей добычи торфа по Советскому Союзу). Полностью на торфяном топливе работали Ярославская, Калининская, Ивановская, Кировская энергосистемы и крупнейшие электростанции – Шатурская, Горьковская, Дубровская и другие общей мощностью 1500 тыс. кВт. Удельный вес торфа в балансе топлива Наркомата электростанций в 1940 году составлял 22,5%, на электростанциях Мосэнерго – 68%, Ленэнерго – 60%, Горэнерго – 80% [2]. Таким образом, энергетика Центрального промышленного района в те годы базировалась преимущественно на торфяном топливе.

При эксплуатации крупных электростанций на торфяном топливе (имени Классона, Шатурская, Дубровская) столкнулись со сложной проблемой экономичного сжигания торфа, для решения которой испытывались топочные устройства на самих станциях.

Увеличение добычи торфа должен был обеспечить гидравлический способ добычи. В 1940 году общая добыча торфа в СССР составила 32,1 млн т; из этого объема добычи на гидроторф приходилось 9,6 млн т, резной – 6,2 млн т, фрезерный торф – 5,3 млн т [3].

В системе Наркомата электростанций было организовано Главное управление торфяной промышленности, объединявшее в 1940 году 9 эксплуатационных торфотрестов с 44 торфопредприятиями – Шатурский, Орехово-Зуевский, Калининский, Ярославский, Ивановский, Горьковский, Чернораменский, Свердловский, Ленинградский и один строительный трест – Торфострой.

Руководителем торфяной отрасли в эти годы был заместитель министра электростанций Баусин Алексей Федорович (1900–1963) (рис. 1), выпускник торфяного отделения инженерного факультета сельскохозяйственной академии имени Тимирязева (1925), директор Остеевского, Берендеевского торфопредприятий.



Рис. 1. А.Ф. Баусин

Fig. 1. Alexey Vausin

В 1930–1937 гг. он работал в Московском торфяном институте заместителем директора по учебной части, деканом факультета и заведующим кафедрой, совмещая эту работу со своей деятельностью на руководящих должностях в Главторфе Наркомтяжпрома СССР. С 1938 года Баусин – начальник Главного управления торфяной промышленности Наркомтяжпрома, с 1939 года – народный комиссар местной топливной промышленности РСФСР, в 1942–1944 гг. – заместитель председателя Совета народных комиссаров РСФСР.

В ходе Великой Отечественной войны торфяные предприятия Украины, Белоруссии, Литвы, Латвии, Эстонии, а также ряда областей РСФСР были разрушены, и общая добыча торфа в СССР снизилась.

В течение первых месяцев войны были оккупированы Донецкий и Подмосковский угольные бассейны, прекратилась доставка угля электростанциям Мосэнерго, Ленэнерго, Горэнерго. В Московской энергосистеме из-за

приближения фронта были демонтированы 2 крупные электростанции – Сталиногорская и Каширская, работающие на угле. В системе Мосэнерго базовыми электростанциями в покрытии электрических нагрузок стали Шатурская, имени Классона и Орехово-Зуевская, работавшие на торфяном топливе, общей мощностью 256 тыс. кВт.

Только снабжение действующих электростанций торфом могло обеспечить электроэнергией предприятия, переведенные на выполнение военных заказов. Работа крупных заводов оборонного значения, находившихся в Горьковской, Ивановской, Ярославской, Кировской областях, зависела от своевременной поставки торфа в необходимых количествах.

Главный инженер Главторфа Наркомата электростанций СССР Николай Николаевич Самсонов (1906–1987) (рис. 2) свидетельствовал [4], что торфопредприятия Главторфа также поставляли торф крупным заводам на Урале (Уралмаш, Уралвагонзавод, Новотрубный), предприятиям текстильной и легкой промышленности. Поставке торфа в суровую зиму 1941–1942 гг. способствовали энтузиазм и организованность работников торфяной промышленности.

Для активизации трудовых усилий народа были выпущены плакаты выездной редакции «Правда» для Шатурских торфоразработок (рис. 3–5).



Рис. 2. Н.Н. Самсонов

Fig. 2. Nikolay Samsonov



Рис. 3. Плакат серии «Окно Правды»

Fig. 3. Poster of the Truth Window series

Сезон добычи торфа 1942 года был самым трудным за все годы войны. Требовалось много различного оборудования для добычи торфа, стали для массопроводных труб, проводов для линий электропередачи для электрообеспечения новых участков по добыче торфа.

С целью подготовки кадров для торфодобывающей промышленности Главторф организовал курсы. Преподаватели и студенты Московского торфяного института и торфяных техникумов работали бригадирами, мотористами, рабочими на торфопредприятиях.

В ноябре 1941 года Московский торфяной институт был эвакуирован в г. Свердловск. В Орехово-Зуеве был создан филиал Московского торфяного института. В Москве был организован сектор и цех особых работ, выполнявшие заказы фронта. Цех был создан на базе имевшегося оборудования в лабораториях специальных кафедр и учебно-производственной мастерской. Проводились исследования проходимости танков (Н.А. Наседкин), составов смазочных масел, работавших при низких темпе-

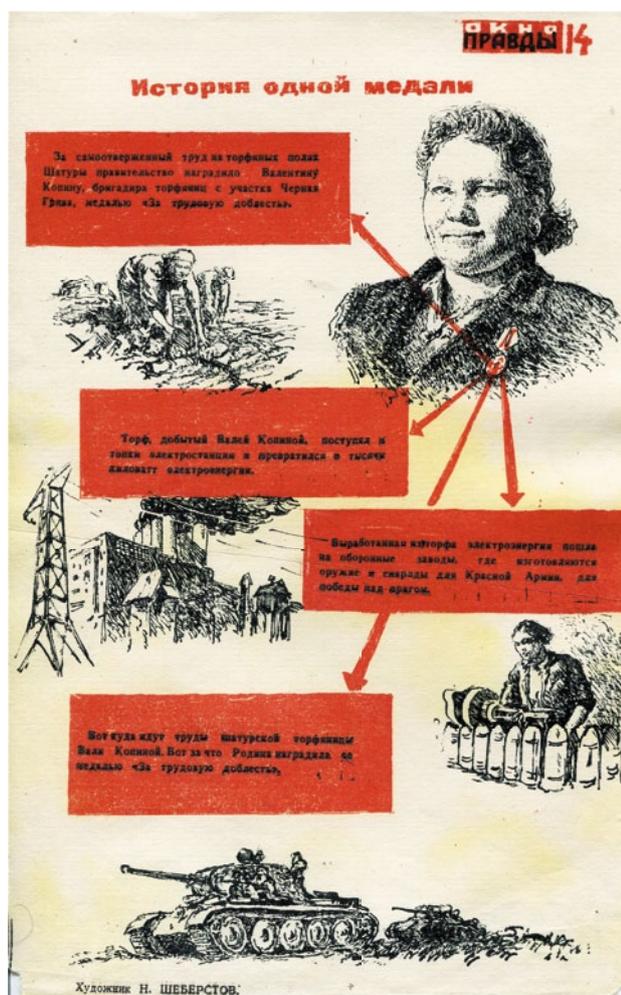


Рис. 4. Плакат серии «Окно Правды»

Fig. 4. Poster of the Truth Window series

ратурах (М.П. Волярович), грелок с торфяной крошкой (С.С. Драгунов).

В Ботаническом институте Академии наук СССР в Ленинграде был создан специальный штаб по внедрению сфагнового мха как перевязочного средства, что было одобрено Ученым советом Наркомздрава СССР, но размеры заготовок которого были незначительны. Директор Московского торфяного института И.Е. Белокопытов призвал все организации торфяных предприятий к заготовке одного миллиона пакетов «хирургического сфагна» (журнал «Торфяная промышленность», № 2, 1942 год).

Статья Владимира Семеновича Варенцова, работавшего заместителем начальника технического отдела Главторфа Министерства электростанций СССР, «Борьба с зажигательными авиабомбами на торфяных складах и полях» (журнал «Торфяная промышленность», № 1,



Рис. 5. Плакат серии «Окно Правды»

Fig. 5. Poster of the Truth Window series

1942 год) помогла торфяникам предотвращать пожары, вызываемые сброшенными зажигательными бомбами.

В 1942 году на торфопредприятиях Главторфа НКЭС СССР было добыто 8 млн т торфа. В 1943 году торфопредприятия Главторфа добыли 11,2 млн т торфа, т. е. больше, чем в 1940 году [3]. Все годы войны торфопредприятия Главторфа полностью удовлетворяли потребность электростанций в торфе, а также нужды многочисленных промышленных предприятий страны.

Главторфу непосредственно подчинялись также предприятия Пальцо, Брянское, Бокситогорский завод искусственного обезвоживания торфа, институт по проектированию новых предприятий Гипроторф и научно-исследовательский институт по механизации торфяной промышленности ВИМТ. В конце 1941 года на основе ВИМТ и Инсторфа был

организован Всесоюзный научно-исследовательский институт торфяной промышленности (ВНИИТП).

В начале войны отраслевой научный центр – ВНИИТП был эвакуирован на Урал (торфопредприятие «Монетное» Свердловского торфотреста), в 1943 г. переведен на ТОС. В феврале 1944 года в Ленинграде был организован филиал ВНИИТП, а затем полностью восстановлен этот научный центр.

25 января 1942 года стал самым тяжелым днем для энергетики Ленинграда: во всей энергетической системе работала только одна станция, неся нагрузку всего в 3000 кВт.

В начале февраля 1942 года ночью у электростанции замерзли паровозы, и стало невозможно подавать топливо. Станция полностью остановилась. Утром работники станции неимоверными усилиями смогли пустить один паровоз, сделать нужную подачу топлива и растопить котел для запуска турбогенератора. Много специалистов-энергетиков ушло на фронт, оставшиеся работники в условиях голода и холода продолжали работать, обеспечивая выработку возможного количества электроэнергии. 3000 ленинградцев отправились на лесозаготовки, для заготовки торфа формировались специальные женские бригады.

Торф, как и дрова, был важнейшим блокадным топливом. Трест «Ленгосторф» и его предприятия добывали торф в 40-градусные морозы, когда выходили из строя паровозы и трескались переводные стрелки узкоколеек в местах добычи. Управляющий трестом Л.В. Черняк, сообщив о выполнении приказа Военного совета Ленфронта от 25 января 1942 г. № 035 об отгрузке 1971 т кускового и 143 т фрезерного торфа, просил лично Жданова срочно прислать квалифицированных мастеров для ремонта паровозов.

В марте 1942 года Н.Н. Самсонов (главный инженер Главторфа) и Ю.Д. Бедрицкий (диспетчер Главторфа) были командированы в Ленгосторф для помощи в организации добычи и снабжения торфом 5-й ГРЭС (Красный Октябрь), которая была единственным источником, обеспечивающим осажденный город электроэнергией (рис. 6). «Днем и ночью шла добыча торфа и его поставка на 5-ю ГРЭС на торфопредприятиях Ириновское, Щеглово, Шувалово и Дунае... В том блокадном сезоне 1942 года добыча торфа составила 431,2 тыс. т», – свидетельствовал Н.Н. Самсонов [4].



Рис. 6. Электростанция «Красный Октябрь»

Fig. 6. Power plant «Red October»

ЛГЭС-5 работала с максимальной нагрузкой на местном кусковом торфе с присадкой фрезерного. Уже до войны решалась проблема сжигания высоковлажного фрезерного торфа. Зимой 1941–1942 гг. котел № 3 электростанции был переделан под сжигание фрезерного торфа, который имелся на торфопредприятиях Всеволожского района.

По проекту Т.Ф. Макарьева под котлом соорудили вихревую топку с горизонтальным транспортером, с которого фрезерный торф взвивался потоками воздуха с помощью сопел. При испытаниях в условиях суровой зимы и полного затемнения с риском для жизни трудились монтажники и работники электростанции, погиб сотрудник Энерголаборатории Н.А. Городков. Котел был пущен в работу в конце марта 1942 года. Пуск этого котла дал возможность повысить нагрузку электростанции до 21–22 из 23–24 тыс. кВт, вырабатываемых системой. Город ожил, 31 марта 1942 года началось движение грузовых трамваев, с 15 апреля – шести маршрутов пассажирского трамвая [5].

За обеспечение электроснабжения Ленинграда электростанция «Красный Октябрь» была награждена в мае 1942 года орденом Трудового Красного Знамени.

В конце марта 1942 г. СНК СССР принял предложение военсовета Ленфронта мобилизовать в помощь Ленинградским торфопредприятиям наркомата электростанций 750 мужчин и 2750 женщин из Воронежской области, 250 мужчин и 750 женщин из Рязанской области, 1500 женщин из Вологодской области, 500 женщин из Тамбовской области, 500 мужчин и 1500 женщин из Мордовии

(ЦАМО, ф. 217, оп. 1258, д. 88, лл. 13–14), чтобы реализовать программу поставки 953 тыс. т торфа.

Осенью 1942 года на заседании Совнаркома РСФСР по предложению заместителя председателя Совнаркома РСФСР А.Ф. Баусина был рассмотрен вопрос об усилении работ по разведке и оценке торфяных месторождений для расширения теплоэнергетики на торфе. В феврале 1943 года было создано Главное Управление торфяного фонда вначале при Наркомземе РСФСР, а затем при Совете Министров РСФСР – Главторффонд РСФСР.

Создававшаяся в годы войны система Главторффонда РСФСР выросла в дальнейшем в крупную геологическую организацию и с созданием Министерства геологии РСФСР была включена в общегеологическую службу. В 1943 году им была выпущена серия карт в несколько схематическом исполнении в качестве оперативного справочного материала о наличии ресурсов торфа в разных районах страны.

По мнению зам. начальника Главторффонда А.С. Оленина, «созданием в дни Великой Отечественной войны Главторффонда РСФСР была вписана новая историческая страница в развитие торфяного дела в СССР» [4, А.С. Оленин].

Выступая перед профсоюзными работниками, секретарь горкома ВКП (б) Я.Ф. Капустин говорил, что на Карельском перешейке больше нет леса, осталось корчевать пни. Для того чтобы пережить зиму 1943–1944 гг., надо заготовить 3 млн куб. м дров, 1700 тыс. т торфа, надо послать 10 тыс. человек – 5 тыс. на заготовку дров и 5 тыс. на торф.

Организатором работы на торфопредприятиях, в т. ч. мобилизации людей, обеспечения технологического процесса, был «Ленторф».

После прорыва блокады, 12–18 января 1943 года, по специально построенной за 40 дней железнодорожной ветке по берегу Ладожского канала и временному мосту через Неву в нескольких сотнях метрах от линии фронта стал поступать в Ленинград с торфопредприятия Назия кусковой торф. В 1943 году на 5-ю и 2-ю ГРЭС было поставлено 593 тыс. т торфа, в 1944 году – 840 тыс. т [7]. Благодаря этому промышленность города продолжала производить оружие для фронта.

В 1943 году торфопредприятия Главторфа добыли 11,2 млн т торфа, т. е. больше, чем в 1940 г.

Признанием государственной значимости труда работников торфяной отрасли явилось награждение Указом Президиума Верховного Совета СССР «за успешное выполнение заданий правительства по добыче торфа в сезоне 1943 года» 465 работников торфяной промышленности [6].

Орденом Ленина были награждены 9 человек, в том числе заместитель Наркома электростанций А.Ф. Баусин, главный инженер Главторфа Н.Н. Самсонов, управляющий Чернораменским торфотрестом и директора Чернораменского и Петровско-Кобелевского торфопредприятий.

Орденом Трудового Красного Знамени были награждены 48 человек, в том числе управляющие торфотрестами: Горьковским, Ивановским, Калининским, Ореховским, Свердловским, Шатурским, Ярославским.

Орденом «Знак Почета» были отмечены 171 человек. Среди них были: начальник конструкторского отдела ВНИИТП А.А. Соколов, работники Московского торфяного института – профессора И.Г. Блох, И.Н. Глыбовский, В.Г. Горячкин; декан факультета М.А. Веллер, заведующий учебной частью В.В. Блюменберг и директор института С.А. Цупров.

Медалью «За трудовую доблесть» было награждено 118 человек, в том числе зам. начальника производственного отдела Главторфа Наркомата электростанций Владимир Семенович Варенцов, медалью «За трудовое отличие» – 119 человек, в том числе инженер-диспетчер Главторфа Наркомата электростанций Чулюков Михаил Андреевич.

В послевоенный период в очень короткий срок были восстановлены торфопредприятия Назия, Синявино, Гатчинское, Ларьянское и Тесово I. Были построены новые торфопредприятия – Кобринское, Пельгорское, Тесово II, Тесово IV, Заплюское, Вердуга [7]. В конце 1940-х гг. фрезерный метод был полностью механизирован.

К концу войны начали действовать строящиеся торфобрикетные заводы (ТБЗ). За 1944–1946 годы стало работать 12 торфобрикетных заводов, каждый мощностью 10–15 тыс. т брикетов в год. В 1950 году в России их было уже 20, в том числе Фornosовский завод мощностью 50 тыс. т брикетов в год [4, Б.И. Струков].

В 1944 году в целях улучшения учета и картографии торфяного фонда в составе Главторффонда был создан отдел кадас-

тра и картографии, на который возлагались задачи по учету, систематизации и изданию справочно-картографических материалов по торфяным ресурсам РСФСР.

Очень важным мероприятием, которое было осуществлено Главторфондом РСФСР, было создание Центрального технического архива, вошедшего впоследствии в состав геологического фонда РСФСР. В нем были собраны отчетные материалы поисков и разведок торфяных месторождений. Это значительно упорядочило хранение этих ценных, зачастую уникальных материалов, сделало их доступными для использования.

За послевоенные пятилетки на предприятиях торфяной отрасли была увеличена производительность добычи торфа, механизированы процессы подготовки, добычи, сушки, уборки, формования, применена рациональная схема разлива гидроторфа, модернизированы агрегаты гидроторфа, усовершенствованы процессы погрузки и транспорта.

В 1950 году за усовершенствование методов добычи, уборки и брикетирования торфа в Эстонской ССР группе работников торфопредприятий была присуждена Государственная премия.

За послевоенный период ВНИИТП с филиалами (Калининским и Московским) разработал и передал в промышленность более 150 различных машин и оборудования и ряд технологических процессов для производства торфяной продукции [4, Н.С. Концевой, Ф.Ф. Петренко].

70-летие Победы в Великой Отечественной войне и факты истории торфяной отрасли в годы тяжелых для страны испытаний помогают оценить критически современное состояние торфяной промышленности. Сложившаяся в 1990-е годы государственная политика в области использования полезных ископаемых привела к тому, что общая добыча торфа в России упала в 2002 году до уровня ниже 5 млн т. Более 80 предприятий по экономи-

ческим причинам прекратили работу. Более 40 тыс. га подготовленных торфяных площадей оказались не востребованы, заросли, создали серьезную пожарную опасность.

В то же время по оценке экспертов ситуация с энергоносителями в России в ближайшей перспективе будет усугубляться. В этих условиях долг всех специалистов в области торфяного дела сделать все возможное для поддержания торфяной отрасли в работоспособном состоянии, выработать принципы рационального применения торфа во многих сферах жизни человека на благо и процветание России.

Библиографический список

1. *Баусин А.Ф.* Вклад торфяников в дело обороны Родины / А.Ф. Баусин // Торфяная промышленность. – 1943. – № 6. – С. 7–8.
2. *Смирнов М.С.* Использование торфа в годы Великой Отечественной войны // М.С. Смирнов, Н.Н. Самсонов. Электрические станции. – 1985. – № 5. – С. 10–11.
3. *Синицын Н.А., Хазанов Я.Н.* Развитие добычи торфа в СССР // 40 лет торфяной промышленности СССР. – Сб.: М.–Л.: Госэнергоиздат, 1957. – С. 33–39.
4. Слово старейших деятелей о работе торфяной промышленности в Великую Отечественную войну // Торфяная промышленность. – 1975. – № 5. – С. 18–25.
5. Электрификация России: Воспоминания старейших энергетиков / Сост. Д.Г. Котилевский, А.М. Маринов. – М.: Энергоатомиздат. – 1984. – 344 с.
6. Указ Президиума Верховного Совета СССР о награждении орденами и медалями работников торфяной промышленности // Торфяная промышленность. – 1943. – № 6. – С. 1–6.
7. *Басов А.Л.* Торф в энергетическом балансе Ленинграда // Торфяная промышленность. – 1970. – № 4. – С. 14–17.

УДК 622.331.002.5

Горячев В.И.

Горячев Валентин Иванович, д. т. н., профессор, зав. кафедрой инженерной графики Тверского государственного технического университета (ТвГТУ). Тверь, Академическая, 12

Goryachev V.I.

Goryachev Valentine I., Dr. Sci., Prof., Head of the Chair of Engineering Graphics of the Tver State Technical University (TvSTU). Tver, Akademicheskaya, 12

Зюзин Б.Ф.

Зюзин Борис Федорович, д. т. н., профессор, зав. кафедрой торфяных машин и оборудования ТвГТУ. Тверь, Академическая, 12

Zuzin B.F.

Zuzin Boris F., Dr. Sci., Prof., Head of the Chair of Peat Machinery and Equipment of the TvGTU. Tver, Akademicheskaya, 12

Копенкина Л.В.

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

Kopenkina L.V.

Kopenkina Lubov V., PhD, Associate Professor of the Chair of Peat Machinery and Equipment of the TvGTU. Tver, Akademicheskaya, 12

**В.М. НАУМОВИЧ –
ВЫДАЮЩИЙСЯ ИНЖЕНЕР,
УЧЕНЫЙ И ПЕДАГОГ
(к 100-летию со дня
рождения)**

Аннотация. В статье отмечается вклад профессора, доктора технических наук Наумовича В.М. в развитие теории и практики процессов брикетирования торфа и других материалов, искусственное обезвоживание и искусственную сушку торфа.

Ключевые слова: история торфяного дела, искусственное обезвоживание торфа, торфяной брикетный завод, пневмогазовая сушилка, Наумович В.М.

**V.M. NAUMOVICH –
OUTSTANDING ENGINEER,
SCIENTIST AND EDUCATOR
(on the 100th anniversary
of his birth)**

Abstract. The article notes Professor, Doctor of Technical Sciences V.M. Naumovich contribution into the development of the theory and practice of peat and other materials briquetting process, peat artificial drainage and peat artificial drying.

Key words: history of peat industry, peat artificial drainage, peat briquette factory, pneumatic gas dryer, Naumovich V.M.

Василий Митрофанович Наумович (1916–1992) родился 1 апреля 1916 года в г. Минске в семье рабочего. После окончания школы он работал слесарем вагоноремонтных мастерских.

Наумович окончил с отличием торфомелиоративный факультет Белорусского политехнического института по специальности «Эксплуатация торфяных залежей» в 1938 году.

Наумович учился в аспирантуре при кафедре механической переработки торфа Московского торфяного института, занимаясь вопросами механического отжатия воды из торфа с помощью торфяного порошка.

В 1941 году он успешно защитил кандидатскую диссертацию на тему «Влияние твердых добавок на механическое обезвоживание торфа». В первые годы Великой Отечественной войны во время жестокой бомбардировки Минска погибли его мать, брат, сестра и племянница. Сам он был контужен. После лечения работал приемщиком торфа на Минской электростанции. Затем был связным партизанского отряда имени Юрченко Первой Минской партизанской бригады. После освобождения Белоруссии от немецких захватчиков Наумович участвовал в восстановлении разрушенной войной торфяной промышленности Белоруссии, работая главным инженером торфопредприятия «Красное Знамя», расположенного в Минской области, главным инженером отдела капитального строительства Наркомместопрома БССР (1944–1945), начальником научно-исследовательского отдела Белпромпроекта (1945–1947). Наумович принимал непосредственное участие в проектировании и строительстве первых белорусских торфобрикетных заводов. Решением ЦК КПБ Наумович в 1947 году был переведен в Институт торфа Академии наук БССР, где работал старшим научным сотрудником, заведующим лабораторией Института торфа АН БССР.

Исследования, проведенные в Институте торфа, послужили основой для создания технологии производства торфяных брикетов с многоступенчатым использованием тепла. Разработанные теоретические основы процесса брикетирования торфа явились материалом докторской диссертации Наумовича «Теоретические основы процесса брикетирования торфа и их практическое применение», успешно защищенной в 1958 году в Московском торфяном институте. Созданная В.М. Наумовичем теория брикетирования торфа явля-



ется общепризнанной и многократно подтвержденной практикой.

Теоретические положения образования высокопрочных брикетов из торфа нашли подтверждение и в других областях окускования порошкообразных полидисперсных материалов (порошковая металлургия, брикетирование химических препаратов, древесных отходов).

Исходя из данной теории, было обосновано влияние технологических факторов на процесс брикетирования, что позволило выбрать наиболее рациональные схемы сушки и сушильные установки. Наиболее эффективной была признана парогазовая барабанная сушилка [1, 2]. Две такие сушилки были изготовлены заводом химического машиностроения «Прогресс» для торфобрикетного предприятия «Вертилишки» Гродненской области Белоруссии [3].

С использованием парогазовых барабанных сушилок, работающих на отработанном тепле тепловой электростанции, разработана новая технологическая схема брикетирования торфа. По этой схеме можно строить торфобрикетные предприятия практически любой мощности от 10 и 100 и более тысяч тонн брикетов в год.

В связи с изменением профиля работы Института торфа АН БССР с 1961 года Наумович работал заведующим кафедрой машин и процессов переработки торфа Калининского политехнического института, где трудился до конца своих дней.

В 1962 году ему было присвоено ученое звание профессора, в 1972 году – почетное звание «Заслуженный деятель науки и техники РСФСР».

Период работы в Калининском политехническом институте явился весьма плодотвор-



Торфобрикетное производство «Вертелишки», г. Гродно, Беларусь

Peat briquette production «Vertelishki», Grodno, Belarus

ным в научно-педагогической и практической деятельности профессора. Ему принадлежит ведущая роль в области исследований по брикетированию торфа, искусственному обезвоживанию и производству различных видов торфяной продукции, многие из которых нашли практическое применение. Наумович оказывал также большую техническую помощь производству.

По разработанной под его руководством высокоэффективной технологии производства торфяных брикетов было реконструировано и построено более 20 заводов в России, Белоруссии, Украине и Прибалтийских республиках.

В 1966 году с помощью кафедры машин и процессов переработки торфа Калининского политехнического института, которую возглавлял Наумович, была выполнена реконструкция Чернораменского торфобрикетного завода Горьковской области с установкой шахтно-мельничной сушилки, что позволило увеличить проектную мощность завода [2]. С данным проектом профессор В.М. Наумович совместно с доцентом А.П. Алешиным участвовали в Выставке достижений народного хозяйства в Москве.

Всего он был награжден тремя медалями ВДНХ.

В 1967 году кафедра оказала техническую помощь в реконструкции Богородского тор-

фобрикетного завода Горьковской области, на котором в результате внедрения шахтно-мельничной сушилки производительность завода возросла в 1,5 раза (до 15 тыс. т), упростилась технология производства [3].

В 1968–1969 годах под его руководством было выполнено исследование пневмопароводяной сушильной установки ПЕКО. На основании полученных экспериментальных (производственных) данных и теоретических расчетов предложен новый способ сушки, позволивший увеличить производительность ТБЗ с сушилками ПЕКО (более 30 заводов) в 1,5 раза по сравнению с проектной мощностью [4].

Под руководством профессора В.М. Наумовича была создана отраслевая лаборатория искусственного обезвоживания торфа [5].

В лаборатории был разработан новый способ круглогодичного производства торфяной подстилки. В основу технологии положено механическое обезвоживание торфа и его искусственная досушка в виброкипящем слое [6]. Использование этих методов позволяет успешно решить проблему получения высококачественной торфяной подстилки и кипованного торфа на экспорт.

Под руководством Наумовича выполнялись исследования по совершенствованию существующих и разработке новых прогрессивных безотходных технологий и оборудования



Юбилейная встреча. 40 лет кафедре машин и процессов переработки торфа механического факультета КПИ, 1978 г. (В.М. Наумович в центре)

Anniversary meeting. 40 years of the Chair of Machinery and Peat Conversion Processes of the Mechanical Faculty of the Kalinin Politechnical Institute, 1978 (Vasily Naumovich is in the center)

по переработке торфяного сырья и древесных включений [7].

Опытно-промышленная технологическая линия для получения кормовых брикетов была испытана в опытно-показательном хозяйстве «Заветы Ленина» Калининской области [8].

Наряду с большими успехами в научно-исследовательской работе значительный вклад внес профессор Наумович в дело подготовки научно-педагогических и инженерных кадров. Под его руководством кафедрой подготовлено более одной тысячи инженеров по механической переработке торфа. К концу 1980-х годов большая часть инженерного состава торфобрикетных заводов страны состояла из выпускников кафедры, возглавляемой профессором В.М. Наумовичем. Под его научным руководством успешно защищено 52 кандидатских и 4 докторских диссертации.

За время научной и педагогической деятельности опубликовано более 200 научных работ, в том числе 50 авторских свидетельств на изобретения, 5 монографий, 2 учебника и 5 учебных пособий. Среди них такие труды, как «Механическое обезвоживание торфа с твердыми добавками» (1947), «Теоретические основы процесса брикетирования торфа» (1960), «Сушка торфа и сушильные установки брикетных заводов» (1971), «Искус-

ственная сушка торфа» (1984), «Торф – надежный источник подъема сельского хозяйства Нечерноземья» (1982), где обобщены вопросы теории и практики переработки торфа и эффективного использования торфяной продукции.

В.М. Наумович успешно сочетал научно-педагогическую деятельность с общественной работой. Долгое время он был членом редколлегии «Всесоюзного инженерно-физического журнала», несколько лет руководил профкомом нашего вуза, был председателем общества «Знание», избирался депутатом городского Совета депутатов трудящихся, являлся председателем методической комиссии торфяного производства, главным редактором сборников научных трудов по переработке торфа.

Профессора В.И. Горячев, О.С. Горфин и доцент В.С. Зайцев вспоминают о своем научном руководителе: «Василий Митрофанович Наумович целиком отдавался работе, был строг и требователен к своим ученикам, много работал с аспирантами, поэтому все защиты диссертаций проходили в срок, поэтому на кафедре был самый высокий выход диссертационных работ. К коллективу кафедры относился благожелательно. Не забывал устраивать праздники. Был внимателен к студентам. Нам, преподавателям, часто напоминал,

что студент всегда прав. Вы, воспитатели, не должны конфликтовать с ним».

Свои мысли и советы для молодых ученых, аспирантов о том, как работать над диссертацией, Наумович изложил уже в зрелом возрасте в журнале «Торфяная промышленность» [9].

Благодаря своей энергии, высокой требовательности к себе и коллегам, добросовестности и отзывчивости Василий Митрофанович Наумович пользовался большим уважением всех, кто его знал.

Правительство высоко оценило его труд. За участие в Великой Отечественной войне был награжден орденом Отечественной войны II степени, восемью медалями, в том числе «За победу над Германией в Великой Отечественной войне 1941–1945 гг.», «За боевые заслуги».

Имя профессора В.М. Наумовича внесено в «Золотую книгу Тверского государственного технического университета» (Тверь: ТвГТУ, 2015).

Библиографический список

1. *Наумович В.М.* Исследование работы новой парогазовой барабанной сушилки для фрезерного торфа / В.М. Наумович // Известия Академии наук Белорусской ССР. – 1951. – № 4. – С. 95–112.
2. *Наумович В.М.* Технология комбинированного предприятия по выработке торфяных брикетов, электрической и тепловой энергии / В.М. Наумович // Известия Академии наук Белорусской ССР. – 1953. – № 1. – С. 149–159.
3. *Наумович В.М.* Освоение технологической схемы брикетирования торфа на заводе «Вертелишки» / В.М. Наумович, В.Л. Ракуш, Л.Л. Ревзин, В.Ю. Драпкин // Торфяная промышленность, 1963. – № 4. – С. 22–25.
4. *Наумович В.М.* Внедрение технологической схемы КПИ на Чернораменском торфобрикетном заводе / В.М. Наумович, А.П. Алешин // Тезисы докладов 2-й внутривузовской научно-технической конференции. – 1967. – С. 314–316.
5. *Наумович В.М.* Использование пневмогазовых сушилок с шахтной мельницей или мелющим вентилятором на торфобрикетных заводах / В.М. Наумович // Торфяная промышленность, 1970. – № 10. – С. 19–21.
6. *Наумович В.М.* Основные показатели работы торфобрикетных заводов с сушилками Пеко / В.М. Наумович // Технология торфяного производства и торфяные машины: сборник научных трудов. – Минск, 1970. – Вып. 1. – С. 29–30.
7. *Наумович В.М.* Отраслевая лаборатория искусственного обезвоживания торфа / В.М. Наумович // Торфяная промышленность, 1982. – № 11. – С. 27–29.
8. *Наумович В.М.* Сушка верхового торфа низкой степени разложения в виброкипящем слое / В.М. Наумович // Торфяная промышленность, 1981. – № 9. – С. 18–20.
9. *Наумович В.М.* Использование древесных отходов торфопредприятий при производстве арболита / В.М. Наумович // Торфяная промышленность, 1983. – № 8. – С. 25–28.
10. *Наумович В.М.* Научные достижения кафедры машин и процессов переработки торфа / В.М. Наумович // Технология, комплексная механизация и автоматизация торфяного производства: межвузовский тематический сборник. – Калинин: КГУ, 1978. – С. 76–82.
11. *Наумович В.М.* Рекомендации соискателям по работе над диссертацией / В.М. Наумович // Торфяная промышленность, 1986. – № 9. – С. 30–32; – № 10. – С. 28–31; – № 11. – С. 29–32.