



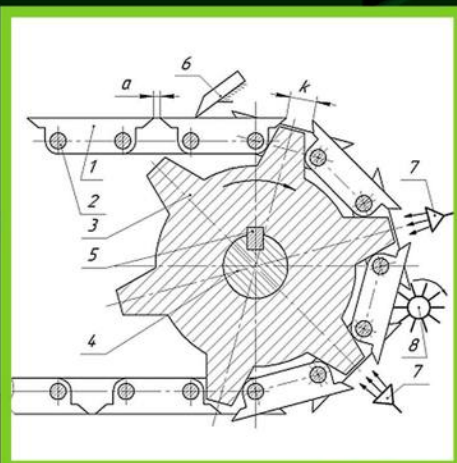
Научный журнал

Восточно-Европейского института торфяного дела
Тверского государственного технического университета



№19 (72) 2019

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

№ 19 (72)
январь–июнь 2019 г.

Тверь 2019

УДК 622.331(05)
ББК 26.343.4я5

Труды Инсторфа: научный журнал. № 19 (72)
(январь–июнь 2019 г.). Тверь: ТвГТУ, 2019. 58 с.

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

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

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

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

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

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

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

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

Редактор Л.Ю. Казаченко

Корректор А.К. Печенина

Верстка Я.Н. Дягилев

E-mail: instorf@gmail.com
Тел. редакции: 8(422) 78-93-91

Подписано в печать 15.07.19 г.
Формат 60×84 1/8. Усл. печ. л. 7,625.
ИП Казаченко Л.Ю.
456789, г. Озёрск, ул. Октябрьская, 8 к.39

ISSN 2224-1523

© Тверской государственный
технический университет, 2019

Содержание

Лиштван И.И., Лис Л.С.

Этапы становления и развития науки
о торфе, торфяных месторождениях
и сапропелях.....3

Синицын В.Ф., Копенкина Л.В.

Компьютерное моделирование поверхности
карт торфяных полей.....18

**Баженов А.А., Сергеев Е.А., Пухова О.В.,
Лебедев В.В.**

Автоматическое регулирование параметров
технологического процесса при производстве
формованной продукции.....22

**Курзо Б.В., Макаренко Т.И.,
Гайдукевич О.М.**

Возможности совместного освоения
месторождений торфа и сапропеля
для целей сельского хозяйства в Беларуси....26

Васильев А.Н.

Намокание торфяной продукции в валках.....33

Гордеева И.М. Пухова О.В., Шахматов К.Л.

Влияние качественных показателей
торфяного сырья на физико-механические
свойства брикетов.....36

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

Анализ и обоснование геометрии
фильтровальных полотен ленточного
фильтр-пресса непрерывного действия.....40

**Томсон А.Э., Соколова Т.В., Навоша Ю.Ю.,
Сосновская Н.Е., Пехтерева В.С., Зюзин Б.Ф.**

Сорбенты на основе торфа как компонент
подстилки при напольном содержании
цыплят-бройлеров.....45

Макеенко А.А.

Безотходное использование продуктов
химической деструкции торфа при
производстве гуминовых препаратов.....49

Зюзин Б.Ф., Копенкина Л.В.

Профессор Амарян Л.С. (1929–2012)
и научная школа механики торфа и торфяной
залежи (к 90-летию со дня рождения).....53

УДК 622.331: 553.97

Лиштван И.И.

Лиштван Иван Иванович, академик НАН Беларуси, Институт природопользования НАН Беларуси. Республика Беларусь, г. Минск, ул. Ф. Скорины, 10.

Лис Л.С.

Лис Леонид Сергеевич, к. т. н., ведущий научный сотрудник Института природопользования НАН Беларуси. Республика Беларусь, г. Минск, ул. Ф. Скорины, 10.

ЭТАПЫ СТАНОВЛЕНИЯ И РАЗВИТИЯ НАУКИ О ТОРФЕ, ТОРФЯНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЯХ И САПРОПЕЛЯХ

Аннотация. Рассматривается история возникновения и расширения разработок торфа в России и Беларуси. Приводятся данные становления научных исследований по происхождению этого ресурса, особенностях его структуры и закономерностях естественных и техногенных преобразований, об этапах и формах его использования в историческом времени. Прослежены этапы становления и развития тематики научных исследований Института торфа АН БССР, показаны полученные результаты по фундаментальным проблемам: генезису торфяных месторождений, составу структуры и важнейших индивидуальных составляющих торфа, закономерностях торфяной механики и разработке многоцелевых машин и механизмов для добычи и переработке этого уникального материала. Приведены последовательные и изменяющиеся во времени направления использования этого ресурса, оценена эффективность и последствия этих направлений. Параллельно даются результаты работы торфяной отрасли республики, некоторые этапы снижения востребованности ее продукции и обосновываются пути ее дальнейшего развития на современном уровне. Обосновывается настоятельная необходимость перехода отрасли на комплексную глубокую переработку торфа с получением востребованной наукоемкой продукции для энергетики, сельского хозяйства, промышленности, строительства, охраны окружающей среды и медицины. Описаны проведенные на сегодняшний день разработки по реализации этих новых направлений на практике путем строительства горно-химического комбината комплексной переработки торфяных ресурсов республики.

Ключевые слова: торф, сапропель, месторождение торфа, история науки.

Lishtvan I.I.

Lishtvan Ivan I., Academician of the National Academy of Sciences of Belarus, Institute for Nature Management of the National Academy of Sciences of Belarus.

Lis L.S.

Lis Leonid S. Ph.D., Leading Researcher, Institute of Environmental Management, National Academy of Sciences of Belarus.

STAGES OF FORMATION AND THE DEVELOPMENT OF PEAT, PEAT DEPOSITS AND SAPROPEL SCIENCE

Annotation. The history about the emergence and expansion of peat developments in Belarus is considered. The data of the formation of scientific research on the origin of this resource, the peculiarities of its structure and the regularity of nature and technogenic transformations, on the stages and forms of its use in historical times are given. The stages of the formation and development of the subjects of the scientific research of the Institute of Peat of the AS of BSSR are tracked, the obtained results on fundamental problems: peat deposits genesis, structure content and the main individual peat content, the regularities of peat mechanics and the development of multi-purpose machines and mechanisms for the extraction and proceeding of this unique material are shown. The consistent and time-varying directions of the use of this material are given, the effectiveness and consequences of these directions are estimated. The results of republican peat branch work-out, several stages on the decrease of its production demand are given in parallel and the ways of its future development on modern level are grounded. The urgent need of branch transition to complex deep peat proceeding with the obtaining of new science-intensive production of high demand for energetics, agriculture, industry, building, environmental protection and medicine is grounded. Conducted to the present day developments on the realization of these new directions on practice by the way of the building of mining and chemical combine on republican peat recourses proceeding are described.

Keywords: peat, sapropel, peat deposit, history of science.

Торфом и торфяным топливом человечество интересовалось ещё в давние времена. Углубляясь в историю, следует начать с 18 столетия, когда Белоруссия входила в состав Российской империи и была её отсталым западным краем.

Появление первых разработок торфяных залежей связано с императором Петром I, эти разработки касались использования торфа как топлива. Это же время можно считать и началом развития научного подхода к происхождению и изменениям «земных слоев» – торфа. Сюда же относится и технология добычи и переработки торфа, внедряемая под руководством созданной Академии наук России, а также многочисленные экспедиции по природным ресурсам обширных областей со сбором материалов о торфе. Эти работы связаны с именами российских академиков М.В. Ломоносова, И.Г. Лемона, Т.Г. Ловца, И.Г. Георги и других.

В дальнейшем достаточно широко начали развиваться практические работы по добыче и использованию торфяных залежей, по их осушению и технологии резки брусков торфа, по внедрению печей обугливания и использованию торфа в качестве удобрения глинистых почв. Начались практические работы по переработке торфа: получению кокса для металлургии, светильного газа, дегтя, компостов; расширились работы по поиску новых месторождений торфа в Московской, Самарской, Санкт-Петербургской и других губерниях России.

Позднее значительное внимание уделялось и сельскохозяйственному использованию торфяных земель. Так, в 1853 году вышло распоряжения Министерства государственного имущества России о превращении болот в луга и пастбища, при этом указывались в основном белорусские губернии (Витебская, Могилевская, Смоленская, Минская), а также отдельные регионы Полесья.

В середине 19 столетия в Российском государстве начался период промышленного производства торфа, существенно возрос и спрос на него. Рост использования фабрично-заводского топлива требовал новых решений в технологиях производства и применявшемся оборудовании. Появлялись и совершенствовались торфорезочные и формовочные машины и механизмы, новым направлением становились различные виды прессовых механизмов для формирования брусков, кирпичей.

В 1870-е годы появилась большая потребность в торфяном топливе для развивающегося железнодорожного транспорта. Этому содействовали как новые технологии добычи торфа, так и новые методы сжигания его в топках паровозов. Развитие практических

работ в торфяном деле этого периода основывалось на многочисленных научных исследованиях закономерностей образования, развития и состояния болотных массивов. Изучалась растительность, классификация болот по растительно-ландшафтному и водно-минеральному признакам, фитоценологические особенности зонального распределения этих образований. Среди научных работ этого периода необходимо выделить основополагающие труды В.В. Докучаева, Г.И. Танфильева, А.В. Фомина, В.Н. Сукачева, В.С. Доктуровского.

Конец 19 века отмечен активным строительством торфобрикетных и торфококсовильных заводов. В это период важный вклад в развитие и продвижение новых направлений освоения торфа внесли российские инженеры Р.Э. Классон, И.И. Радченко, Г.М. Крижановский. Эти же специалисты в дальнейшем внесли неоценимый вклад в развитие торфяной промышленности и тепловой энергетики нового государства рабочих и крестьян.

Земли белорусской национальной окраины Российского государства в конце 19 столетия были крайне отсталыми. Например, потребление электроэнергии на душу населения здесь было в 15 раз меньше, чем в среднем по России [1], но рост промышленного производства требовал источников энергии, что и вызвало потребность в торфяном топливе. Первая торфоразработка на белорусской земле возникла в Оршанском уезде при стеклозаводе «Серковичи», вторая – для обеспечения кирпичного завода под Гомелем [2]. Уже к 1913 году в регионе действовало около 10 торфоразработок с общей добычей более 14 тыс. т.

В 1913 году в Москве была построена первая электростанция на торфе. Вслед за Московской электростанцией на торфе в России появились Ореховская, Балахнинская и Уральская.

Значительное расширение торфоразработки преимущественно резным способом отмечается уже после Октябрьской революции. Например, в 1928 году вводятся в строй крупные торфопредприятия «Осинторф», «Путь социализма», объем добычи торфа на которых составлял 100–120 тыс. т.

В создаваемой в это время топливной базе молодой республики БССР доля торфяного топлива составляла до 26 %. Работали такие крупные торфопредприятия как «Большевик», «Красное знамя», «Красная Беларусь», им. Орджоникидзе и другие. Началось активное техническое перевооружение торфяной отрасли и становление белорусской науки о торфе. Организация Центральной торфяной станции при Наркомземе БССР, последующее создание при Институте промышленности

АН БССР Института торфа (25 декабря 1932 г.) способствовали широкому развитию работ по торфу, прежде всего – по изысканию месторождений, определению основных физико-технических характеристик торфяных залежей, по разработке и введению в строй новых технологий добычи и использования торфа.

В это время расширились работы по обследованию торфяных месторождений для нужд промышленности: Цнянского, Михановичского в восточных областях; Горбузовки, Микельского под Минском, Ржавца под Гомелем. Широким фронтом шли работы по химической переработке торфа, начиналось изучение сапропелей как химического сырья. Значительный объем работ был проведен по газификации торфа для обеспечения газом ряда стекольных и механических заводов.

Для дальнейшего расширения научных исследований в Институт торфа были приглашены высококвалифицированные ученые специалисты, среди которых И.Г. Блох и В.Г. Горячкин, возглавившие работы по технологии и механизации добычи торфа; Б.К. Климов и В.Е. Раковский, авторы работ по химии и химической технологии торфа. В рамках методической работы по анализу торфа в 1934 году составлена первая карта болот Белоруссии.

Первым директором Института торфа АН БССР стал профессор Ф.Я. Бахтеев (1936–1972), который в своих работах пропагандировал пути повышения эффективности использования торфа в сельском хозяйстве, расширение технологических процессов добычи и переработки. В это же время в республике организуется подготовка инженерно-технических специалистов для торфяной отрасли, созданное высшее учебное заведение Торфяной институт в 1933 году входит в состав Белорусского политехнического института [3].

В 1930-е годы торфяная тематика в республике отмечена достижениями и в научной, и в практической областях. Значимые результаты получены по газификации торфа: завершены работы по опытному газогенераторному трактору ХТЗ (Б.К. Климов), закончено технико-экономическое обоснование по газификации г. Минска, начаты проектные проработки по газификации г. Могилева (Б.К. Климов, А.П. Котковский). Завершены работы по исследованию запасов разведанных торфяных месторождений, паспортизации отдельных видов торфа, гидролизного сырья.

Однако в эти же годы возрастающие объемы добычи торфа выявили определенные недостатки в уровне развития отрасли: большую трудоемкость болотно-подготовительных работ, низкий уровень механизации погрузочно-разгрузочных и транспортных работ, срывы в добыче торфа экскаваторным способом.

Отмечен незначительный удельный вес наиболее механизированного – фрезерного способа добычи (около 50 %). Общая добыча торфа в 1930-е годы составила 2,5 млн т, что к 1937 году в общем топливном балансе БССР составляло 45 %.

В этот период недостаточное внимание в научных исследованиях было уделено сельскохозяйственному использованию торфяных месторождений, особенно рекомендациям по организации на них рационального севооборота.

Наравне с анализом последовательных этапов развития научных исследований по торфу мы в обобщенном виде рассматриваем результаты становления торфяной промышленности республики. Этапы её становления разделены нами на три периода.

Динамику развития торфяной промышленности Беларуси можно проследить по диаграмме (рис. 1), представляющей график объемов добычи торфа по годам, начиная с 1928 года (начало промышленной добычи) и по 2020 год (плановая цифра государственной программы «Торф»). Отметим, что выбранный временной интервал в 5 лет скрадывает ежегодные колебания объемов, которые происходили из-за погоды, неблагоприятной для сушки-добычи. Наибольшие из таких колебаний происходили в 1960–1970-е и 1978–1984 годы.

На представленном графике наглядно демонстрируется тенденция этого процесса. Первый этап развития торфяной промышленности (1918–1940 гг.) характеризуется активизацией изучения и разведки новых торфяных месторождений, что обуславливалось повышением спроса на топливную торфяную продукцию. Увеличение объемов добычи вызывало необходимость более пристального внимания к существующим технологиям добычи и имеющемуся оборудованию технологических процессов.

В это время на вооружении отрасли имелись резной и элеваторный способы производства торфяной продукции, объемы добычи составляли: 1928 г. – 88,8 тыс. т, 1932 г. – 834 тыс. т., 1937 г. – 2445 тыс. т.

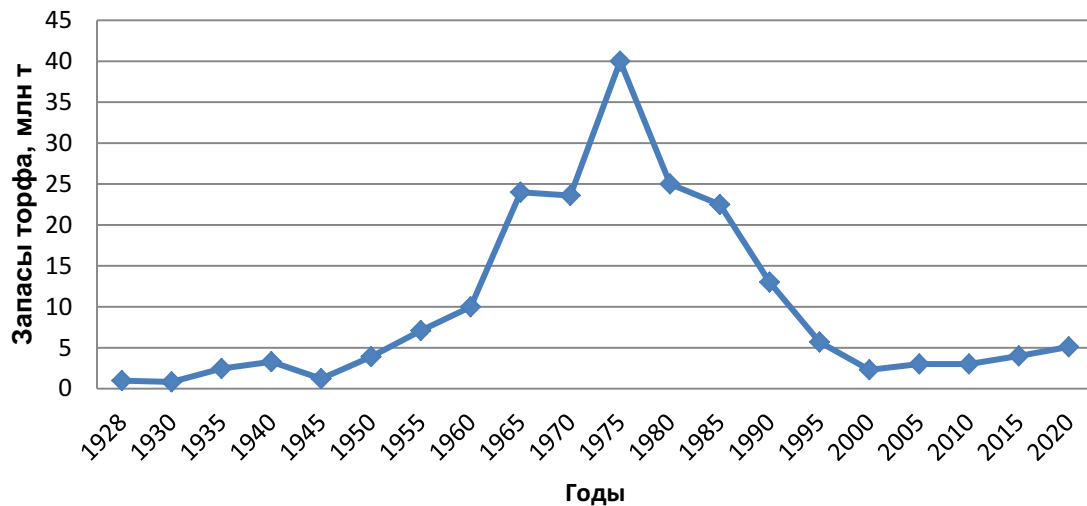


Рис. 1. Динамика объемов добычи торфа в БССР и Республике Беларусь

Fig. 1. Dynamics of peat production in the BSSR and the Republic of Belarus

На территории республики располагались крупные торфопредприятия: «Осинторф», «Большевик», имени Орджоникидзе, «Татарка», имени Баумана, строились новые.

Основными потребителями торфяного топлива были уже существующая БелГРЭС и вновь строящиеся теплоэлектростанции в ряде городов. Торф также использовался предприятиями текстильной, строительной и пищевой промышленности. Нарастание объемов добычи торфа в этот период осуществлялось за счет значительного совершенствования элеваторного способа добычи торфа (использовались многорядные ковшовые элеваторы – «багеры Инсторфа»), а также за счёт введения машинно-формовочного способа получения топливной продукции. Кроме того, уже нашел использование фрезерный торф и гидроторф.

В 1928 г. при Наркомземе БССР была создана Белорусская центральная торфяная станция, в последующем был организован торфяной отдел при Институте промышленности БССР, а в 1932 г. образован Институт торфа Академии наук БССР. Это позволило расширить отдельные исследования по энергетическому использованию торфа, по методам термической переработки торфа и геологоразведочные работы.

Итоговым практическим результатом этих исследований стало издание в 1940 году Кадастрового справочника торфа БССР, в котором было учтено 5105 торфяных месторождений, общей площадью в границах «0» залежи 1043 тыс. га, в границах промышленной залежи 707,4 тыс. га с запасами 1,40 млрд м³. В справочнике приведены следующие данные по каждому месторождению: название, местоположение, площади в границах «0» и промышленной залежи, средняя глубина, запасы, тип, землепользователи, год

разведки, водоприемник для осушения.

Великая Отечественная война 1941–1945 гг. остановила развитие торфяной промышленности БССР и науки по торфу. Была уничтожена техника, многие ученые-торфяники ушли на фронт. Отдельные работы по торфу были выполнены рядом сотрудников в 1942 году. О результатах доложил В.Е. Раковский на сессии Академии наук БССР, состоявшейся в ноябре этого же года в Ташкенте.

Работа Института торфа АН БССР была частично возобновлена в 1943 году в лабораториях Московского химико-технологического института и ряде других учреждений. С 1943 по 1948 гг. институт возглавил В.Е. Раковский – ученый в области химии твердого топлива. С 1948 по 1952 гг. директором института был А.Б. Дубов.

Второй этап развития торфяной промышленности начался в послевоенные годы, мы относим его к 1945–1975 годам. Этот период характеризуется масштабным расширением работ по многоплановому использованию торфа в экономике государства. В первую очередь следует отметить высокие темпы объемов добычи торфа: от 0,6 млн. т в год (1945–1960 годы) до 2,5 млн. т в год (1960–1975 годы). Основная продукция на этом этапе использовалась в качестве топлива, а также как источник повышения урожайности в сельском хозяйстве. В это время доминирующими в технологии добычи торфа стали два способа – фрезерный и экскаваторный (кусовой), причем вначале эти способы распределялись поровну.

Отметим, что во всех технологических операциях производства появилось много нового оборудования достаточно современного уровня и высокой производительности: торфяные экскаваторы ТЭ-2, машины рытья и ремонта осушительных каналов

К-1А, дренажные машины ДДМ-5 и МГД, машины для сводки леса ЭСМ-4, корчеватели РКШ-4, линейки фрезерных барабанов, ворошилок, валкователей, уборочных и окаровывающих машин. Это оборудование активно совершенствовалось на протяжении всего рассматриваемого периода, что приводило к достижению высокой производительности процессов производства.

Восстановить и поддерживать необходимое техническое вооружение отрасли в начале рассматриваемого этапа удалось достаточно быстро, так как производство большей части этого оборудования было освоено на машиностроительных предприятиях республики. Предпринимались попытки улучшить качество готовой продукции. Это касалось разработки технологии производства гранулированного торфа, обеспечивающего улучшение качества фрезерного торфа, применение глубокого фрезерования при производстве кускового торфа, но широкого использования эти новшества не получили.

В отмеченный период были проведены организационные преобразования в масштабах республики, создано Управление торфяной промышленности Совета народного хозяйства, в подчинении которого находилось 84 % торфопредприятий.

Результаты расширенных работ по геологической разведке новых месторождений, особенно по западным областям республики, позволили подготовить и издать в 1953 году справочник «Торфяной фонд Белорусской ССР», в котором учтено около 77,1 % месторождений предполагаемого фонда. Справочник содержал обстоятельный очерк по геоморфологии объектов, их классификации, технологическим средствам добычи торфа, а также порайонные таблицы торфяных месторождений с полным перечнем данных о местообитании, использовании и характеристиках торфа. В 1978 г. был издан новый справочник, уже с названием «кадастровый», который унифицировал подробную информацию по всей территории СССР по методологии союзного треста «Геологоразведка». Целью этого издания явилось повышение качества использования торфа и торфяных месторождений в народном хозяйстве республики, для чего в нем содержались расширенные и современные данные по всему уточненному составу торфяного фонда.

Начальная стадия второго периода становления и развития торфяной промышленности явилась как бы подготовительным этапом для развертывания масштабного использования этого уникального природного ресурса. Наступившее в 1960 году такое мас-

штабное использование торфа в энергетике и сельском хозяйстве вызвало широкое развертывание научно-исследовательской работы. Совместному решению науки и практики подлежали как задачи повышения эффективности существующих направлений освоения торфа, так и проблемы отдаленной перспективы в поиске новых подходов и вариантов освоения этого уникального природного ресурса. Глубокие научные исследования структуры торфа с использованием новейших методов (электронной микроскопии, ЭПР- и ЯМР-методов) обеспечили появление новых структурных композиций в материале и открыли новые грани и свойства составляющих компонентов этого ресурса.

Самыми важными результатами этого этапа развития науки о торфе было обоснование дальнейшего развития торфяной отрасли на новых методах комплексного освоения этого ресурса с получением широкого спектра многоцелевой продукции для энергетики, сельского хозяйства, строительства, охраны окружающей среды и бытового потребления.

Исследования этого периода были направлены на изучение генезиса и стратиграфии торфяных и сапропелевых месторождений, химической и физико-механической переработки торфа с получением новой продукции, продолжались работы по созданию торфяного кадастра, карты торфяных месторождений БССР.

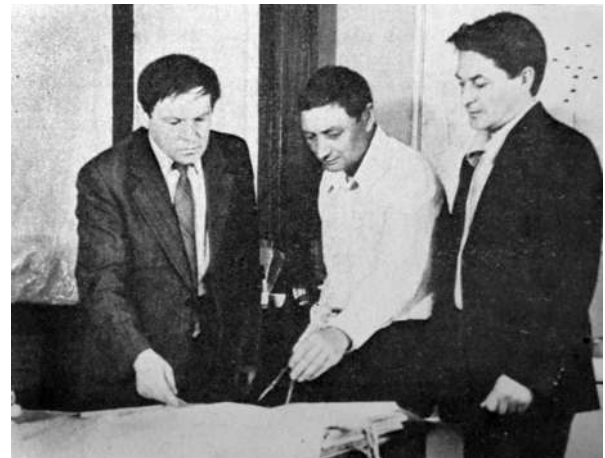


Рис. 2. Заведующий лабораторией генезиса торфяных и сапропелевых месторождений кандидат химических наук Н.Н. Бамбалов с сотрудниками за анализом мероприятий по повышению эффективности использования торфяных месторождений в качестве сельскохозяйственных угодий (Использованы фотографии (рисунки) из книги [4]; в подписях под рисунками указаны данные о сотрудниках на момент фотографирования)

Fig. 2. The head of the laboratory of the genesis of peat and sapropel deposits, candidate of chemical sciences N.N. Bambalov with employees for analyzing measures to improve the use of peat deposits as agricultural land (Photographs (drawings) from the book [4] were used; captions under the figures show data on employees at the time of photographing)

В 1949 году организуется и вступает в строй торфяная опытная станция института на базе торфопредприятия «Дукора», которая наравне с образованным позже конструкторским отделом способствовала широкому внедрению в торфяную отрасль многих новых машин и оборудования, существенно повысивших уровень технического состояния отрасли.

В период 1952–1960 гг. Институт торфа возглавлял П.И. Белькевич – крупный специалист в области химических технологий твердых горючих ископаемых.

Наравне с углублением работ по генезису торфяных месторождений начинались широкие исследования по химическим технологиям торфа и сапропелей; по ионообменным и сорбционным свойствам торфа, по экстракции битума и воска, продуктам газификации торфа [4]. Здесь и в дальнейшем анализу подвергались труды Института торфа, а также многочисленные монографии сотрудников, сборники работ и материалы научно-технических конференций. В это же время начаты работы по микробиологии в торфе (Н.М. Курбатова-Беликова), по начальному изучению гуминовых веществ (М.М. Журавлева, В.Е. Раковский), по ряду продуктов газификации торфа. Получили развитие работы по формированию мелкокускового торфа (К.П. Куницкий, В.П. Кузнецов), по исследованию отдельных операций фрезерного торфа и гидроторфа (Н.С. Костюк, Ф.А. Малышев). Развернуты работы по исследованию заготовки торфа на удобрения (А.И. Селитренников). Здесь отмечается масштабный упор на изучение химического состава торфа и сапропелей с выделением особенностей отдельных компонентов: битумов, гуминовых веществ, лигнина и других. Большое внимание в публикациях этого времени отведено ионным свойствам, обменной адсорбции, особенностям возраста торфа, вопросам очистки воды (В.Е. Раковский, П.И. Белькевич, Л.В. Пигулевская, Л.Р. Чистова, О.И. Мазина).

Более углубленно представлены результаты по процессам экстракции битумов (Ф.Л. Каганович) и их составу (В.Е. Раковский, Е.Ф. Далидович, Л.А. Иванова, Г.В. Наумова). Достаточно большое внимание в тематике института этого периода уделено торфяным машинам и технологии добычи торфа. Наряду с исследованиями физических свойств торфа более детально изучаются упругие и пластические показатели материала в технологических процессах, прочность готовой продукции (Ф.А. Опейко, В.Г. Горячкин, И.С. Нагорский, В.В. Садовничий, Н.С. Костюк, Е.А. Жук).



Рис. 3. Заведующий лабораторией физико-химии торфа член-корреспондент АН БССР П.И. Белькевич и кандидат химических наук Л.А. Иванова проводят хроматографические исследования химического состава торфяного воска

Fig. 3. The Head of the Laboratory of Physical Chemistry of Peat, Corresponding Member of the Academy of Sciences of the BSSR P.I. Belkech and Candidate of Chemical Sciences L.A. Ivanova conduct chromatographic studies of the chemical composition of peat wax

К концу 60-х годов прошлого столетия в институте внедряются более современные методы исследований: хроматография, инфракрасная спектроскопия, ЯМР (В.Е. Раковский, В.Д. Чайкова, В.П. Стригуцкий). Находят решение теоретические вопросы по переработке торфа в различных механизмах, совершенствуются методы брикетирования торфа (В.М. Наумович), получение гранулированной продукции (Н.П. Перов, А.Б. Дубов).

Нашла широкое применение практика заправки малопродуктивных песчаных земель гидроторфом, изучено длительное последствие этих приемов и их экономика (Ф.А. Малышев). Продолжилось совершенствование процессов брикетирования торфа, разработаны новые машины по производству кускового торфа как эффективного коммунально-бытового топлива (МБТ-500). Начаты работы по исследованию пневматической уборки фрезерного торфа, по получению полубрикетов топливных.

Значительное внимание уделялось теоретическим вопросам торфяной механики применительно к торфяным машинам и технологии торфодобычи: (Н.С. Костюк, Н.С. Кривошейн, М.З. Лопотко, А.И. Федотов, А.В. Тишкович), изучены упругие и пластические свойства торфа, модели трения, вопросы сушки торфа, теория гусеничного хода, кинематика ряда механизмов и машин (Ф.А. Опейко, И.В. Можар, И.С. Нагорский, Н.В. Кислов).



Рис. 4. Кандидат технических наук С.С. Маль, старшие инженеры С.С. Поваркова и З.М. Сливка изучают свойства красителя из торфа для древесины

Fig. 4. Candidate of Technical Sciences S.S. Malle, senior engineers S.S. Povarkova and Z.M. Slivka exploring the properties of dye from peat for wood

С 1963 по 1973 гг. Институт торфа возглавлял Н.С. Панкратов, специалист в области технологии и техники торфяного производства. 1970-е годы можно охарактеризовать в тематике Института торфа как продолжение исследований по генезису торфяных месторождений, химии торфа и сапропелей. Под руководством В.Е. Раковского и П.И. Белькевича продолжались исследования процессов гумификации растений торфообразователей, их временные зависимости, изменение характеристик торфа в различных условиях, при термическом разложении.

Были изучены основные природные и техногенные факторы, определяющие поведение торфа при хранении, изучена природа и механизм процесса саморазогревания и самовозгорания торфа, выполнен большой объем исследований по изменению теплофизических и технологических свойств торфа в процессе саморазогревания. Исследовалась микрофлора процесса, биохимические и химические превращения отдельных компонентов и некоторых индивидуальных соединений в хранящемся торфе, опробованы существующие и предложены новые приемы торможения процесса разогревания торфа, разработаны рекомендации по предотвращению потерь торфа от саморазогревания и самовозгорания (Н.С. Панкратов, С.С. Маль, П.Л. Фалюшин, Г.В. Наумова, А.П. Гаврильчик, З.М. Сливка, Г.И. Максименко).

Были изучены изменения важнейших физико-технических и химических характеристик торфа при хранении, предложены методы использования этих изменений в ряде направлений применения, предложены методы по предупреждению нежелательных изменений.

Продолжалось также изучение состава торфяного воска и продукции на его основе, механизмов деструкции торфа и его компонентов в атмосфере водного пара. Были решены вопросы по расчетам режимов переработки торфа для обеспечения качества кускового торфа, начаты работы по автоматизации некоторых технологических процессов добычи и переработки торфа. Значимые результаты получены в исследовании гидролиза малоразложившегося торфа с целью получения кормовых средств для животноводства (В.С. Шиманский, Р.Ф. Братишко, А.П. Лецко).

Появились новые элементы в технологиях добычи торфа: глубокое фрезерование, гранулирование торфа и смесей, пневматическая сепарация, щелевое фрезерование. Значительно расширились исследования по физике и физико-химии торфа: водные свойства различных видов торфа, водопоглощаемость и перенос влаги и тепла в торфе, электрические свойства залежи, торфа и продукции на его основе (А.П. Гаврильчик, П.Н. Давидовский, Ф.С. Яцевич, А.П. Лецко, Н.М. Солодухо).

В продолжающихся исследованиях этого времени намечается определенный уклон в практическую сторону: повышение водостойкости брикетов, улучшение качеств минерально-гуминовых удобрений, воздействие на торфяные активные угли, улучшение структуры супесчаных почв, обессмоливание и этерификация торфяного воска, использование торфяного воска в металлургии. Отмечаются также работы в совершенствовании торфяного производства: автоматический контроль весовых характеристик на брикетных заводах, повышение качества пневмогазовой сушки торфа, повышение брикетируемости сушенки, обогащение сапропелей, испытание новых конструкций формирующих устройств. С созданием академического научного совета по проблемам Полесья в институте начинаются работы по этой тематике, а в завершающей её стадии выпущено 14 сборников научных трудов (Ф.А. Малышев, И.И. Лиштван, Н.Н. Бамбалов, Л.М. Ярошевич, Г.Д. Горбутович).

В это же время были начаты работы по пневмотранспорту измельченного торфа, по разработке методов и приборов определения важнейших физических характеристик торфа в технологических процессах (влагомеры, расходомеры, дозаторы) (М.А. Гатих, Г.А. Куптель, Л.С. Лис, В.А. Царев), по автоматическому регулированию и управлению процессами брикетного производства (М.А. Гатих, В.Е. Геншафт). Были также начаты работы по технологии гидромеханизированной добычи сапропелей из открытых водоемов (М.З. Лопотко, С.К. Дубинин, А.П. Лецко).

В истории института наиболее результативным периодом, отмеченным устоявшейся тематикой и становлением научно-исследовательского коллектива, явились 1970-е годы. Институт становится крупным научно-исследовательским центром решения важнейших задач в области рационального комплексного использования торфяных ресурсов СССР, признанным также и за рубежом.



Рис. 5. Доктор технических наук, директор Института торфа И.И. Лиштван

Fig. 5. Doctor of Technical Sciences, Director of the Institute of Peat I.I. Lishtvan

В 1973–1997 годах директором Института торфа БССР был И.И. Лиштван. Широкая в плане постановки научных исследований тематика в дальнейшем была ориентирована на получение конечных результатов, оказывающих положительное воздействие на экономику республики. Были подытожены результаты по ряду научных направлений.

В тематике по генезису торфяных и сапропелевых месторождений установлены закономерности формирования этих природных отложений в различные периоды исторического времени, получены новые данные по механизму процессов торфообразования, обобщены стратиграфические схемы сапропелевых отложений (А.П. Пидопличко, М.А. Канойко, Б.В. Курзо). Составлены справочники, обоснованы и законодательно резервированы сырьевые базы битуминозного и гидролизного сырья.

На основе исследований физических и физико-химических свойств широкого диапазона видов торфа обоснованы методы оптимального регулирования состава и свойств торфа путем управления процессами структурообразования и тепломассопереноса. Это позволило предложить новые технологические схемы комплексного использования торфа и торфяных месторождений (А.М. Лыч, И.И. Лиштван, А.А. Терентьев, Г.П. Бровка,

П.Н. Давидовский, А.М. Абрамец, Н.Н. Битюков, В.М. Дударчик, Ю.Г. Янута).

С применением новейших методов исследований выявлены структурные особенности ассоциатов углеводного и углеводородного комплексов, определены энергетические параметры взаимодействия молекул воды с твердой составляющей торфа. Предложен ряд приборов и методик по определению структурных характеристик горных пород, разработаны высокостабильные буровые растворы на основе сапропелевых суспензий.

На основе изучения физических свойств торфяных залежей и торфяной продукции разработаны основы торфяной механики, положенной в основу при конструировании новых торфяных машин. Предложены методы расчета несущей способности залежи, анизотропного трения, параметров резания грунта, степени переработки массы (Ф.А. Опейко, Ф.С. Яцевич, А.И. Федотов, Н.А. Кот). Разработаны физико-технические основы систем автоматического контроля и управления технологическими процессами брикетного производства и качеством готовой продукции (М.А. Гатих, В.Е. Геншафт, В.А. Царев, Л.С. Лис).

На основе широких исследований физико-химических свойств и химического состава торфа и его составляющих были обоснованы новые направления его использования в различных отраслях экономики, в том числе и в охране окружающей среды. Изучение ионообменных свойств компонентов торфа и разработанные методы регулирования гидрофильности и гидрофобности позволили предложить для многих производств эффективные сорбционные материалы (Н.И. Лыч, И.И. Лиштван, Н.Д. Дрожалина, Л.Р. Чистова, А.Э. Томсон, Т.В. Соколова, Т.М. Липская).



Рис. 6. Доктор технических наук М.А. Гатих, кандидаты технических наук Ф.С. Яцевич, Л.С. Лис и Н.М. Солодухо анализируют задания по механизации и автоматизации производственных процессов при добыче и переработке торфа

Fig. 6. Doctor of Technical Sciences M.A. Gatih, Ph.D. F.S. Yatsevich, L.S. Lis and N.M. Soloduhu analyze tasks on the mechanization and automation of production processes in the extraction and processing of peat

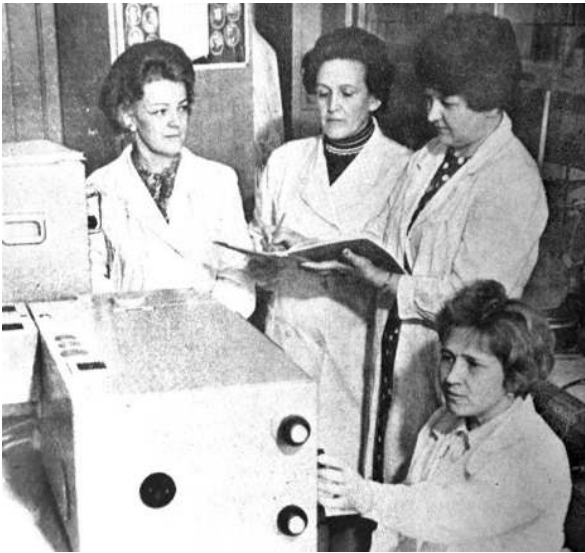


Рис. 7. Заведующая лабораторией химико-биологических исследований торфа кандидат технических наук Г.В. Наумова, кандидаты технических наук Р.В. Кособокова, Р.Ф. Братишко и Н.Ф. Сорокина анализируют результаты очередного эксперимента по получению стимуляторов роста

Fig. 7. The head of the laboratory of chemical and biological studies of peat, Candidate of Technical Sciences G.V. Naumova, Candidates of Technical Sciences R.V. Kosobokova, R.F. Bratishko and N.F. Sorokin analyze the results of the next experiment to obtain growth stimulants

Широкие исследования торфяного воска новейшими методами дали возможность выделить большую группу физиологически активных соединений, на основе которых были предложены препараты медицинского назначения. Кроме того, были выявлены механизмы лечебного действия в ряде продуктов этанольного экстракта смолы торфяного воска, что позволило расширить сырьевую базу медицинского направления использования (П.И. Белькевич, Н.Г. Голованов, Е.Ф. Долидович, Л.А. Иванова, Л.С. Шеремет).

Результаты химического исследования торфа по традиционной тематике обеспечили существенное расширение их практического использования. Так, в мебельной промышленности еще во времена СССР был предложен торфяной краситель, полученный на основе выделенных гуминовых веществ (А.П. Гаврильчик, С.С. Маль). В это же время был разработан технологический регламент на преобразователь ржавчины, качество которого определялось рядом технологических факторов (С.С. Маль, А.П. Гаврильчик, Т.Я. Кашинская, Л.П. Майко).

В этот период в Институте торфа была создана серия модельных составов на основе торфяного воска для литья деталей сложной конфигурации методом выплавляемых моделей. В составе этих продуктов использова-

лись различные наполнители (тонкодисперсные фракции торфа и сапропелей), обеспечивающие этим сплавам высокую термостойкость, прочность и необходимую гидрофильность.

Широкие перспективы планировала обеспечить развернутая тематика по получению активных углей на основе обезбитуминозного торфа, которые поставлялись в то время в республику только импортом. Установлены закономерности образования пористой структуры углей, особенности параметров технологических этапов производства, были созданы рецептуры модифицированных торфяных углей для очистки воздуха от паров летучих органических соединений, очистки жидких сред от ионов металлов и радионуклидов, очистки пищевой продукции от различных загрязнителей. Предложенная продукция прошла широкую проверку, однако реализация промышленного выпуска не состоялась (П.И. Белькевич, Н.Д. Дрожалина, О.И. Мазина, В.К. Жуков).

Важные практические результаты были получены в изучении свойств гуминовых веществ, выделяемых из торфа различными методами. На основе комбинированного кислотно-щелочного гидролиза были получены и широко испытаны биологически активные препараты «Оксидат», «Гидрогумат», «Оксигумат», нашедшие широкое применение в практике сельскохозяйственного производства как ростостимулирующие и фунгицидные препараты для овощных и зерновых культур, корнеплодов. В исследованиях показано положительное воздействие гуминовых препаратов на живые организмы, что создает перспективы их использования в животноводстве и инженерной микробиологии (И.И. Лиштван, Г.В. Наумова, Н.Ф. Сорокина, С.И. Коврик, Р.В. Кособокова, Л.В. Косоногова, Т.И. Райцина, Р.Ф. Братишко).

С помощью оригинального комплекса установок и методик получены многообразные характеристики структурно-механических и тепломассообменных свойств природных дисперсных материалов при положительных и отрицательных температурах, что позволило выполнить ряд практических расчетов в проектировании промышленных объектов. В теоретическом плане в этой тематике предложена термодинамическая модель фазового равновесия воды в природных дисперсных системах при отрицательных температурах, выдвинута также теория миграции влаги при промерзании этих систем (И.И. Лиштван, Г.П. Бровка, И.В. Дедзюля, П.Н. Давидовский, И.И. Романенко, В.И. Тановицкий).



Рис. 8. Доктор технических наук А.В. Тишкович с сотрудниками рассматривают новые виды комплексных гранулированных удобрений на основе торфа

Fig. 8. Doctor of Technical Sciences A.V. Tishkovich and employees consider new types of complex granulated fertilizers based on peat

Получением многих эффективных сорбционных материалов завершились работы по изучению ионообменных свойств композитов на основе торфа, были предложены эффективные сорбенты для очистки нефтяных и радиоактивных загрязнений.

Важным результатом исследований по тематике сельскохозяйственного освоения торфа явилось создание высокоэффективных органических удобрений на основе торфа, минеральных туков и отходов животноводства. По разработанной институтом технологии в республике строились цеха по производству таких удобрений (А.В. Тишкович, Г.П. Вирясов, В.Г. Шныриков, Г.А. Соколов, Т.А. Шатахина).

Строительством цеха по производству комплексных гранулированных удобрений увенчались работы по совершенствованию технологии этого вида эффективных удобрений, обладающих свойством последствия (А.В. Тишкович, Г.П. Вирясов).

В 1970–1980 годах в институте широко развивалось исследование сапропелей. Наравне с разведкой новых залежей этого продукта в водоемах и под торфом работы этого направления завершаются промышленно-генетической классификацией сапропелей, разработано также много звеньев в технологии добычи, повышающих производительность используемого оборудования.

По рекомендациям института построено более 15 промышленных объектов по добыче сапропелей из озер республики, что способствовало оздоровлению этих объектов и возвращению их в естественную природную среду. Важнейшим направлением использования добытых объемов сапропеля являлось производство удобрений и их использование для

повышения урожайности сельскохозяйственной продукции. Решен также ряд вопросов по особенностям генезиса озерных отложений республики. Предложены рецептуры приготовления компостов, питательных смесей и гранулированных удобрений на основе сапропелей (М.З. Лопатко, Г.А. Евдокимова, С.К. Дубинин, С.В. Богданов, И.С. Бракович, Б.В. Курзо).

В сельскохозяйственной тематике института важное место на протяжении этого периода занимали вопросы рационального использования торфяных почв. Разработаны математические модели баланса органического вещества торфяно-болотных почв с учетом качественного состава органического вещества, условий и продолжительности эксплуатации, что позволило развить представления о временной деградации их урожайности, а также выдать рекомендации по вариантам оптимального использования. Предложены специальные механизмы для обработки почв, снижающие эрозию (А.И. Федотов, В.И. Бакшанский, Н.Н. Бамбалов, Л.М. Ярошевич).

Результативно продолжались работы по экологической роли торфяных месторождений в природе (Н.Н. Бамбалов, В.В. Ракович). В этот период в тематике института появились исследования по направлениям освоения имеющихся на территории республики бурых углей и горючих сланцев. При каталитическом термолизе сланцев с различной предварительной обработкой были достигнуты экономически выгодные результаты по выходу смолы. Бурые угли разведанных месторождений могли быть использованы для получения торфо-угольных брикетов, органоминеральных удобрений, красителей, а при термической переработке – жидких и газообразных видов топлива, полукокса, высокопрочных адсорбентов (З.К. Лукьянова, Ю.И. Горький, И.И. Лиштван, П.Л. Фалюшин, В.С. Мартинович, Г.И. Морзак, В.С. Зеньков, В.М. Дударчик, В.М. Крайко).

К концу 1980-х годов значительное место в тематике института стала занимать природоохранная тематика, что определило дальнейшее преобразование Института торфа АН БССР. В 1990 г. Институт был реорганизован в Институт проблем использования природных ресурсов и экологии АН БССР. Основанием для этих изменений явилась установка директивных органов республики на увеличение вклада ученых в решении экономических и социальных задач. Необходимо отметить, что с ростом доли природоохранной тематики вся научно-исследовательская работа института претерпела существенные изменения.

В это время (и даже немного раньше) произошли существенные изменения в состоянии торфяной промышленности республики, связанные с высокими темпами снижения потребности в ее продукции.



Рис. 9. Заведующий лабораторией сапропелей кандидат технических наук М.З. Лопотко, кандидат технических С.К. Дубинин, кандидат сельскохозяйственных наук П.Л. Кузмицкий и старший инженер Л.П. Пекач обсуждают результаты исследований по добыче и использованию сапропелей в качестве удобрений

Fig. 9. The head of the sapropel laboratory is M.Z. Lopotko, Candidate of Technical Sciences S.K. Dubinin, Candidate of Agricultural Sciences P.L. Kuzmitsky and senior engineer L.P. Pecath discuss the results of research on the extraction and use of sapropel as fertilizer

В 1970–1980-х годах с началом газификации Беларуси электростанции Белорусской энергосистемы, крупные промышленные и коммунальные котельные переходят на использование сначала мазута, а затем природного газа. Одновременно с этим происходило постоянное сокращение добычи торфа и производства брикетов. Так, в 2001 году эти показатели составляли 2,0 и 1,1 млн. т. соответственно. Из 44 заводов, производивших топливные брикеты, остался в строю лишь 21. За годы упадка отрасли они морально и физически устарели, износ основного оборудования составил более 50 %.

Мировая конъюнктура цен на энергоносители заставила Беларусь сократить применение природного газа и после многолетнего перерыва вновь вернуться к наращиванию использования местных топливно-энергетических ресурсов. Концепцией энергетической безопасности Республики Беларусь, утвержденной Указом Президента от 17 сентября 2007 года № 433, была поставлена задача по снижению в энергобалансе страны удельного веса природного газа путем увеличения доли местных видов топлива до 25 %. Акцент был сделан, в том числе, на увеличение использования торфа.

В этой ситуации материалы по торфяному фонду, а также тематика и стратегия использования торфяных ресурсов в новых условиях требовали существенных изменений и уточнений.

Отметим, что в преобразованном институте были сохранены специалисты торфяной тематики, поэтому она в несколько измененном виде присутствовала в планах научно-исследовательских работ и в дальнейшем. В частности, ею занимались лаборатории: биогеохимии ландшафтов (заведующий академик Н.Н. Бамбалов), использования и охраны торфяных месторождений (заведующий доктор технических наук А.П. Гаврильчик, Б.В. Курзо), физико-химической механики природных дисперсных систем (заведующий академик И.И. Лиштван, Г.П. Бровка), агроэкологии (заведующий кандидат сельскохозяйственных наук Г.А. Соколов), экотехнологии (заведующий кандидат химических наук А.Э. Томсон).

Работы, связанные с торфяной тематикой, продолжались под новыми ориентирами, связанными с требованиями наступавших задач и реалий. Продолжались исследования по теории и механизмам минерализации торфа, молекулярной структуре и свойствам гуминовых веществ, разработка методов научно-обоснованного природопользования на торфяных месторождениях. Подытожены некоторые закономерности гумификации органо-генных материалов, продолжена классификация биосферных функций болот, разработан прогноз изменений торфяных почв.

Существенно обновлена информация по торфяному фонду, внесены принципиальные изменения в технологию производства кускового торфа, исследован ряд методов воздействия на торфяные и сапропелевые системы с целью повышения качества продукции на их основе.

В последнее время проведены соответствующие работы и составлен нормативный документ «Схема распределения торфяников Республики Беларусь по направлениям использования на период до 2030 года», утвержденный Советом Министров Республики Беларусь в 2015 году (Л.С. Лис, Н.И. Тановицкая, Ю.Ю. Навоша). Обоснована эффективность перехода торфяной отрасли на новые технологии комплексной глубокой переработки торфа с получением востребованной продукции для энергетики, сельского хозяйства, промышленности, строительства и охраны окружающей среды. Разработана база данных торфяных месторождений пригодных для комплексного освоения.



Рис. 10. Модульный автоматизированный комплекс по производству торфяных брикетов ТБЗ «Лидский»

Fig. 10. Modular automated complex for the production of peat briquettes TBZ «Lidsky»

Оборудован новый перспективный брикетный завод по производству торфяных брикетов с возможностью его переустановки на новые сырьевые базы.

Проведено широкое исследование процессов теплообмена в замерзающих грунтах, на основе чего разработан ряд методик по выдаче исходных данных для проектирования промышленных объектов. Выдвинута теория миграции влажности при промерзании дисперсных материалов. Обследованы характеристики бурых углей Житковичского месторождения и Лельчицкого проявления. Разработано несколько компьютерных программ по исследованию процессов промерзания почв, рассмотрены вопросы пиролиза растительной биомассы и торфа, даны рекомендации по энерготехнологическому использованию продуктов выхода. Рассмотрены вопросы переноса влаги в реологических сложных системах, представленных в вязких, вязко-упругих и упругих моделях, объяснены их различия. Уточнена конструкция, разработана документация, выполнены исследования газогенератора на фрезерном торфе, даны рекомендации по его использованию на практике. Обоснованы принципы использования гуминовых препаратов для окультуривания территорий, нарушенных хозяйственной деятельностью, разработаны новые гуминовые препараты для обустройства пустынных (песчаных) территорий.

Исследовались результаты модификации торфа поверхностно-активными веществами и биоцидами на фунгитоксичные свойства композиционных материалов, получены оптимальные режимы такой обработки. Проверена ростостимулирующая эффективность ряда препаратов, полученных на основе торфа по рецептуре института («Гидрогумат», «Оксигумат», «Мальтамин», «Дублин») проведена их классификация по этому признаку и выданы рекомендации. Разработана новая корре-

лирующая кормовая добавка для высокопродуктивных пород сельскохозяйственных животных. Выполнена проверка разработанных биологически активных препаратов в новых направлениях: выращивание древесных декоративных растений, производство кормовых добавок. Предложен новый биологически активный препарат для хранения плющеного зерна, оценена его эффективность в сравнении с импортными аналогами.



Рис. 11. Кандидат технических наук, докторант Ю.Г. Янута проводит эксперимент с сотрудниками лаборатории

Fig. 11. Candidate of Technical Sciences, doctoral candidate Yu.G. Januta is conducting an experiment with laboratory staff

Продолжались исследования сорбционных свойств различных композиционных материалов в качестве средств очистки объектов и окружающей среды от различных загрязнителей. Большие успехи достигнуты при создании сорбентов для очистки от нефтезагрязнителей, для защиты среды (материалов) от плесневого поражения, очистки от тяжелых металлов. Проведены также поисковые исследования по некоторым видам биоудобрений, по переработке отходов птицефабрик, получены определенные результаты и разработаны направления для дальнейших испытаний в этих вопросах (А.Э. Томсон, Т.В. Соколова, Н.А. Сосновская).

В это же время проводились широкие комплексные исследования по ликвидации и минимизации загрязненных территорий радионуклидами Чернобыльского происхождения (В.Е. Смеловский, П.Н. Давидовский, Н.Н. Бамбалов, А.П. Гаврильчик, А.М. Абрамец, А.М. Лыч и другие).

Продолжались исследования по эффективности применения разработанных удобрений Элегом на различных культурах, а также оценивались продолженные методы активизации органического вещества торфа и вторичного сырья для современных составов удобрительных и мелиорирующих смесей. Выпол-

нена сравнительная оценка биологической эффективности гуминовых веществ, выделенных различными методами. Широкие исследования проведены по оценке воздействия на почвы (торф, сапрпель) процессов гидродинамической кавитации. Оценены динамика и количественные показатели выхода водорастворимых и гуминовых веществ, водорастворимых органических веществ.

Определенные сдвиги в возрождении торфяной отрасли произошли в 2008 году, когда Советом Министров Республики Беларусь была утверждена Государственная программа «Торф» на период до 2020 года.

За период реализации Госпрограммы «Торф» обеспечен рост объемов добычи торфа и производства топливных брикетов, полностью удовлетворена потребность республики в торфяном топливе. Износ основных фондов торфяной промышленности снижен с 70,2 % до 44 %. Освоен выпуск практически всего спектра оборудования для выполнения болотно-подготовительных работ, добычи, транспортировки и переработки торфа.

Очередным шагом в развитии торфяной промышленности стало утверждение в 2010 году Государственной программы строительства энергоисточников на местных видах топлива, которая предусматривала ввод к 2015 году 36 источников на торфяном топливе, частично такие источники были введены.

Намечается сдвиг в расширении номенклатуры выпускаемой отраслью продукции. В 2011 году введен в эксплуатацию завод республиканского предприятия «Витебскоблгаз» ПУ «Витесбкторф» по производству питательных грунтов и киповки верхового торфа в агрогородке Крулевщина производственной мощностью 200 тыс. м³ (38 тыс. т) в год. Начал работу завод по производству субстратов (питательных грунтов) на основе торфа ОАО ТП «Глинка» производственной мощностью 183,6 тыс. м³ (35 тыс. т) в год.



Рис. 12. Линия по производству торфяных субстратов торфопредприятия «Глинка»

Fig. 12. Line for the production of peat substrates of peat «Glinka»

Освоение производства экспортноориентированной торфяной продукции нетопливного назначения – торфа верхового кипованного и грунтов торфяных питательных – придало новый импульс развитию отрасли, позволило расширить номенклатуру продукции из торфа, увеличить объемы ее экспорта, а также диверсифицировать рынки сбыта.

С 2017 года, когда действие Государственной программы «Торф» было прекращено, торфяная промышленность республики развивается в соответствии с «Отраслевой программой развития организаций торфяной промышленности, входящих в систему Министерства энергетики Республики Беларусь на 2017–2020 годы». Программа поставила перед отраслью новые задачи и определила перспективы ее развития.

Существенному развитию работ по комплексному использованию и глубокой переработке торфа и сапрпеля будут способствовать теоретические и экспериментальные исследования созданного в Институте в недавнее время центра по торфу и сапрпелю (И.И. Лиштван, А.Э. Томсон). В планах центра предусматривается проведение работ по созданию горно-химического комбината с производством активированных углей, торфоминеральных гранулированных удобрений, широкого набора гуминовых препаратов, сорбентов-поглочителей (грунтов, субстратов).

Фактически это уже второе решение – первое было принято в 1980 году, когда по данным Института торфа АН БССР и Министерства топливной промышленности БССР было разработано положительное технико-экономическое обоснование по целесообразности строительства предприятий по комплексной переработке торфа с получением целого ряда ценных продуктов по малоотходным технологиям. Было показано, что при переработке 500 тыс. т торфа в год, можно получить 15 тыс. т кормовых дрожжей, 80 тыс. т осажаренного торфа, 1,6 тыс. т воска, 10,5 тыс. т активированных углей, 100 тыс. т гранулированных органоминеральных удобрений (Г.А. Филиппов, И.И. Лиштван). Проект такого производства был разработан московским институтом «Гипроторф». В качестве сырьевой базы выбрано торфопредприятие «Татарка», а финансирование предполагалось осуществлять через ведомства СССР. Однако последующие события, приведшие к распаду союзного государства, вынудили приостановить эту работу.

Предшествующие выполненные исследования по комплексной глубокой переработке торфа позволили построить ряд производств: завод горного воска в Дукоре, цех по производству гранулированных торфоминераль-

ных удобрений, опытные производства по получению кормовых добавок и другие.

Уже имеются большие научные и прикладные разработки по глубокой комплексной переработке торфа с получением большого количества продуктов и материалов для промышленного использования, так как торф в отличие от других видов горючих ископаемых и материалов включает в себя соединения, типичные для углей и древесно-растительной биомассы.

Современные работы института по торфяной тематике направлены на реализацию отдельных звеньев извечной мечты многих специалистов: создать горно-химический комбинат по комплексной глубокой переработке торфа с получением новой наукоемкой продукции для энергетики, сельского хозяйства, промышленности, строительства, охраны окружающей среды и медицины (И.И. Лиштван, В.К. Жуков, Г.В. Наумова, А.Э. Томсон, Н.Н. Бамбалов, Г.А. Соколов).

Что сделано? По договору с ОАО «Туршевка», которое определено как сырьевая база такого комбината, добыт торфяной кусок необходимого качества, на заводе АО ЭНПО «Неорганика» (г. Электросталь Московской области) произведены активированные угли в количестве 250 кг. На основании исследований лаборатории изготовителя установлены следующие показатели.

Объем микропор полученных углей имеет гораздо более развитую систему транспортных пор – мезопор, которая составила 38,7 % против 23,0 % у сравниваемого угля БАУ-А соответственно от общего объема сорбционного пространства. В то же время отмечено, что при использовании произведенных углей в больших адсорбционных аппаратах (более 1 м³), а также в аппаратах кипящего слоя требуется повышение их прочности на истирание. По заключению специалистов ЭНПО «Неорганика», полученный на основе кускового белорусского торфа уголь практически идентичен по пористой структуре, адсорбционным и прочностным свойствам активированному углю на основе древесного угля марки БАУ и может применяться для адсорбции примесей из жидких сред, в том числе очистки питьевой воды, оборотных и сточных вод, очистки парового конденсата на ТЭЦ от масел и других примесей. В измельченной форме (размер частиц менее 100 мкм) уголь АУ-ТБ (так он назван) идентичен осветляющим углям марки ОУ-А, ОУ-В, ОУ-Г по ГОСТ 4453-74, которые могут быть применены для очистки и изготовления медпрепаратов в фармацевтической промышленности, а также для очистки растворов при производстве пищевых органиче-

ских кислот, для очистки и осветления растворов в пищевой продукции; для очистки жидкостей от высокомолекулярных смолистых и окрашивающих примесей в органическом синтезе (А.Э. Томсон, В.Б. Кунцевич, Т.Я. Царюк).

Анализ мирового рынка активированных углей, а также импорт этих продуктов Республикой Беларусь в период 2008–2018 гг. показали, что потребность промышленности достаточно высока и составила за это время около 5 тыс. т общей стоимостью около 15 млн. долларов США. При этом цена на активированные угли проявляет тенденцию к росту.

В заключение отметим, что полученные активированные угли на основе белорусского кускового торфа прошли испытания в ряде организаций республики. В частности, результаты очистки нефтесодержащих сточных вод в лабораторных условиях ОВС УП «Минскводоканал» получили положительные оценки.

Также проанализированы перспективы применения полученных активных углей в индустрии стройматериалов.

В итоге проведенных работ и проверок эффективности активных углей авторы работы, а также причастные к этой тематике организации считают, что организация производства активных углей в Республике Беларусь необходима и перспективна. В этой связи подготовлен к реализации проект по разработке технической документации и дальнейшему строительству опытной установки для производства расширенной партии активных углей.

Вторым весомым элементом проекта горно-химического комбината является разрабатываемый в настоящее время проект «Разработка экспериментальной пилотной установки и технологии получения комплексных органоминеральных гранулированных удобрений пролонгированного действия на основе торфа». В составе этого проекта, который начал реализовываться в 2017 году, предусмотрены все этапы освоения новой технологии по разработке достаточно сложного по составу, многокомпонентного и востребованного продукта для сельскохозяйственного производства. Здесь предусмотрена поэтапная разработка узлов сепарации, дозирования, смешивания торфа и азотно-фосфорно-калийных удобрений, а также испытания опытных образцов этих узлов. Большое внимание уделено конструированию, изготовлению и испытаниям узла грануляции торфоминеральных смесей как ключевому элементу всей технологии. Не менее важен в технологии узел по сушке гранул, требующий инно-

вационных решений с позиций экономики процесса. Заложена в проекте и разработка необходимых нормативно-технических документов (технических условий и технологического регламента на готовую продукцию). Завершающим этапом проекта на 4 кв. 2019 года запланированы изготовление и испытание опытной партии удобрений.

Отметим, что описанные два элемента, планируемые как завершающий этап мечты работников торфяной отрасли (ученых и производителей), составляет основу этого перспективного производства по комплексному эффективному освоению торфяных ресурсов республики.

На протяжении многих лет работы по торфяной тематике проводились с учетом опыта многих государств ближнего и дальнего зарубежья (России, Украины, Китая, Польши, Финляндии, Швеции, Канады, США, Великобритании, Венгрии и других), чему способствовало успешное сотрудничество института

с Международным торфяным обществом, в работе которого долгие годы принимали участие И.И. Лиштван и Н.Н. Бамбалов. Многие институтские работы по изучению, использованию и охране торфяных ресурсов высоко оценивались зарубежными специалистами, что проявлялось в проведении на базе Института многочисленных научных международных конференций и симпозиумов.

Библиографический список

1. Копенкина Л.В. История торфяного дела в России. Тверь: ТвГТУ, 2015. 228 с.
2. Сквозь годы в согласии с природой. Институт проблем использования природных ресурсов и экологии НАН Беларуси. Минск, 1998. 136 с.
3. Труды Института торфа Академии наук БССР, том I–IX, 1951–1960 гг. Издательство АН БССР. Минск.
4. Институт торфа АН БССР. Минск: Наука и техника, 1983. 160 с.
5. Труды Института природопользования. Вып. 1–23. 1996–2017 гг. Минск.

УДК 622.331.002.5

Синицын В.Ф.

Синицын Вячеслав Федорович, д. т. н., профессор кафедры технологических машин и оборудования ГОУ ВПО «Тверской государственный технический университет». Тверь, Академическая, 12. vfsinizyn@mail.ru.

Копенкина Л.В.

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

**КОМПЬЮТЕРНОЕ
МОДЕЛИРОВАНИЕ
ПОВЕРХНОСТИ КАРТ
ТОРФЯНЫХ ПОЛЕЙ**

Аннотация. При проектировании параметров добывающего фрезера и фрезера-планировщика может использоваться имитационная модель процесса обработки поверхности торфяной залежи фрезером. Для описания рельефа поверхности эксплуатируемых торфяных полей используются случайные функции. Продольный профиль карты можно считать нормально распределенной случайной функцией, корреляционная функция которой хорошо аппроксимируется затухающей косинусоидой. Исследования, выполненные с помощью программы MOD-FUNK1.BAS, показали, что характеристики смоделированного профиля практически не отличаются от характеристик, используемых в качестве исходных данных, если длина моделируемого профиля не меньше 1500–2000 м.

Ключевые слова: рельеф поверхности торфяных полей, моделирование случайных функций, корреляционная функция.

Sinizin V.F.

Sinitzin Vyacheslav F., Dr., Professor of the Chair of Technological Machinery and Equipment of the Tver State Technical University.

Kopenkina L.V.

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

**COMPUTER
MODELING
OF THE SURFACE
OF PEAT FIELDS**

Annotation. When designing the parameters of a mining mill and a mill scheduler, a simulation model of the process of treating the surface of a peat deposit with a mill can be used. To describe the surface relief of exploited peat fields, random functions are used. The longitudinal profile of the field can be considered a normally distributed random function, the correlation function of which is well approximated by a damped cosinusoidal. Studies performed using the MOD-FUNK1.BAS program showed that the characteristics of the modeled profile are almost the same as those used as the source data if the length of the modeled profile is not less than 1500–2000 m.

Keywords: the relief of the peat fields, simulation of random functions, correlation function.

При проектировании параметров добывающего фрезера и фрезера-планировщика может использоваться имитационная модель процесса обработки поверхности торфяной залежи фрезером [1].

Внутренние параметры этой модели – расстояние между передними и задними опорными колесами фрезера (продольная база) и размер, определяющий положение фрезы относительно опорных колес.

Поверхность залежи представляется цилиндром, направляющая которого – продольный профиль карты торфяного поля, а образующая перпендикулярна плоскости продольного профиля.

Продольный профиль задается ординатами, соответствующими дискретным значениям абсцисс (расстояний). Шаг дискретизации абсцисс постоянен на протяжении всего профиля. Ось абсцисс находится на поверхности стояния грунтовых вод.

Основой имитационной модели является алгоритм вычисления текущих значений глубины фрезерования и ординаты обработанного профиля для каждого дискретного положения фрезера на продольном профиле. Шаг дискретизации положения фрезера равен шагу дискретизации абсцисс профиля.

Алгоритм имитационной модели реализуется компьютерной программой MODFRES4, написанной на алгоритмическом языке BASIC.

Однократное использование программы MODFRES4 – компьютерный эксперимент.

Компьютерный эксперимент позволяет оценить результат обработки заданного профиля фрезером с заданными внутренними параметрами – получить значения выходных параметров V и O_T .

Параметр V – коэффициент вариации глубины фрезерования. Значение V определяется как отношение среднего квадратичного отклонения (стандарта) глубины фрезерования σ_n к математическому ожиданию глубины фрезерования M_n :

$$V = \frac{\sigma_n}{M_n}. \quad (1)$$

Параметр O_m представляет собой отношение стандарта ординаты профиля после

обработки фрезером σ_F к стандарту ординаты профиля до обработки σ :

$$O_T = \frac{\sigma_F}{\sigma}. \quad (2)$$

Параметр V характеризует равномерность глубины фрезерования, а параметр O_T – планирующую способность фрезера.

Компьютерные эксперименты показали, что значения внутренних параметров, обеспечивающих наилучшие значения выходных параметров, зависят от свойств обрабатываемого профиля. Следовательно, в компьютерных экспериментах с имитационной моделью, выполняемых в ходе проектирования параметров фрезер, должны использоваться профили со свойствами, характерными для рельефа торфяных полей, находящихся в эксплуатации.

При решении этой задачи не воссоздаются в прямом смысле те исходные реализации, в результате математической обработки которых были получены характеристики случайной функции, а создаются совершенно другие, но, с вероятностной точки зрения, эквивалентные исходным реализациям. По этой причине процесс получения отдельных реализаций случайной функции, исходя из характеристик функции, называется моделированием случайной функции.

Случайные функции используются для описания рельефа поверхности эксплуатируемых торфяных полей.

Экспериментальные исследования рельефа поверхности эксплуатируемых торфяных полей проводятся в течение многих лет [2–4]. Исследованию подвергались наиболее представительные (с точки зрения математической статистики) производственные площади торфяных предприятий Ленинградской, Тверской и Московской областей.

Эти исследования показали, что ординату продольного профиля карты можно считать стационарной нормально распределенной случайной функцией расстояния.

Соответственно характеристиками профиля в этом случае являются математическое ожидание ординаты профиля m_y , дисперсия ординаты D_y и корреляционная функция $k_y(l)$.

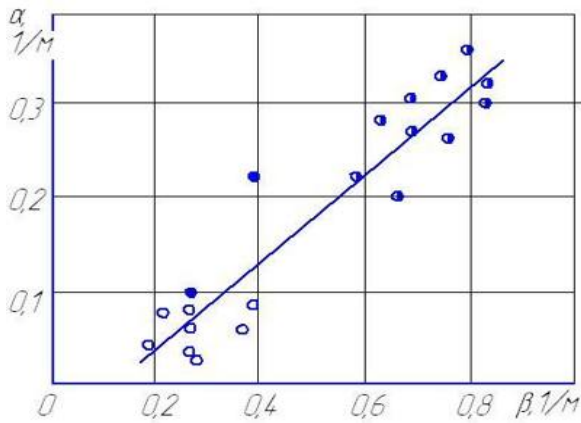


Рис. 1. Зависимость коэффициента затухания α корреляционной функции продольного профиля от частоты колебаний β :

- – данные Н.В. Кузнецова
- – данные В.Г. Селеннова
- – данные В.К. Куприянова

Fig. 1. The dependence of the damping coefficient α of the correlation function of the longitudinal profile from the oscillation frequency β :

- – N.V. Kuznetsov data
- – V.G. Selenov data
- – V.K. Kupriyanov data

Фактически характеристикой профиля является корреляционная функция, так как математическое ожидание характеризует только положение средней линии профиля, а дисперсия D_y равна значению корреляционной функции $k_y(l)$ при $(l)=0$. Корреляционная функция продольных профилей торфяных полей хорошо аппроксимируется затухающей косинусоидой:

$$k_y(l) = D_y e^{-\alpha l} \cos(\beta l), \quad (3)$$

где D_y – дисперсия ординаты профиля;

α – коэффициент затухания, 1/м;

l – аргумент, м;

β – круговая частота колебаний корреляционной функции, 1/м.

При этом стандарт ординаты профиля (среднее квадратичное отклонение) изменяется в пределах от 0,015 м до 0,065 м (при среднем значении около 0,025 м). Значения коэффициента затухания α изменяются в пределах от 0,041 1/м до 0,91 1/м. Круговая частота колебаний корреляционной функции β тоже варьируют в пределах от 0,19 1/м до 0,83 1/м.

Корреляционный анализ данных, содержащихся в литературных источниках, показал, что математическое ожидание круговой частоты колебаний корреляционной функции β равно 0,507, а математическое ожидание коэффициента затухания α равно 0,188. При этом между величинами α и β имеется достаточно тесная корреляционная зависимость (коэффициент корреляции

$r=0,93$) (рис. 1), которая представляется следующим уравнением:

$$\alpha = -0,054 + 0,477\beta. \quad (4)$$

Для такой зависимости есть определенные основания. При прочих равных условиях большей частоте β соответствует более быстрое изменение значения корреляционной функции с изменением аргумента. Более быстрое изменение значения корреляционной функции, в общем случае, связано с ее более быстрым затуханием, в нашем случае – с большим α .

Таким образом, согласно уравнению (4), значение α может быть определено через значение β . Следовательно, в некоторых случаях можно полагать, что корреляционная функция продольных профилей карт (см. формулу (3)) фактически определяется двумя параметрами – дисперсией ординаты профиля D_y (или стандартом ординаты профиля – σ_y) и частотой колебания корреляционной функции β .

В этой связи для моделирования продольных профилей карт нами применялся метод, предназначенный для моделирования случайных функций с корреляционной функцией именно такого типа. Алгоритм этого метода и лежит в основе разработанной нами программы MODFUNK1.

Ординаты профиля, используемого в компьютерном эксперименте с имитационной моделью, считываются программой MODFRES4 из файла MODFUNK.DAT. Файл MODFUNK.DAT создается программой MODFUNK. Выше отмечалось, что продольный профиль карты можно считать нормально распределенной случайной функцией, корреляционная функция которой хорошо аппроксимируется затухающей косинусоидой.

Программа MODFUNK1 реализует алгоритм [5], обеспечивающий вычисление (моделирование) ординат случайной функции именно такого типа. При этом в качестве исходных данных используются параметры α , β и D корреляционной функции. Использование значений α , β и D , полученных при экспериментальном исследовании рельефа торфяных полей (см. выше), обеспечивает соответствие свойств смоделированного профиля свойствам рельефа торфяных полей.

Программа MODFUNK1, написанная на языке BASIC, была создана нами, главным образом, для того, чтобы на практике выяснить факторы, которые необходимо учитывать при моделировании продольного профиля карты. Взаимодействие пользователя с программой происходит в диалоговом режиме.

В качестве исходных данных вводятся параметры уравнения затухающей косинусоиды, которым аппроксимирована корреляционная функция профиля:

α – коэффициент затухания, 1/м;

β – круговая частота колебаний корреляционной функции, 1/м;

dL – шаг дискретизации профиля, м;

$SigF$ – среднее квадратичное отклонение ординат профиля, м.

Кроме того, вводятся параметры:

N – количество моделируемых ординат;

MF – математическое ожидание ординаты профиля, м;

NR – количество вычисляемых ординат корреляционной функции смоделированного профиля.

Смоделированные ординаты профиля записываются программой в файл MODFUNK.DAT и подвергаются математической обработке с целью получения числовых характеристик смоделированного профиля. Числовые характеристики определяются в полном соответствии с методикой вычисления числовых характеристик эргодической случайной функции по одной реализации [6].

Вычисленные значения математического ожидания и среднего квадратичного отклонения выдаются на дисплей. Ординаты нормированной корреляционной функции смоделированного профиля при необходимости документируются – выводятся в файл KORFUMOD.DAT.

Ординаты исходной нормированной корреляционной функции могут быть выведены в файл KORFUISH.DAT.

На экране дисплея строятся графики корреляционных функций – исходной и полученной в результате математической обработки смоделированного профиля (рис. 2).

Оси графика градуированы – цена одного деления на оси ординат равна 0,1, а на оси абсцисс равна шагу дискретизации dL . Наличие градуировки позволяет количественно оценить изображенные зависимости. В режиме диалога быстро подбирается количество NR , достаточное для того, чтобы стремление значений корреляционной функции к нулю уже выразилось в полной мере. Так же в режиме диалога быстро находится и такое количество моделируемых ординат продольного профиля, при котором различия графиков корреляционных функций – исходной и полученной в результате математической обработки смоделированного профиля – сводятся к минимуму.

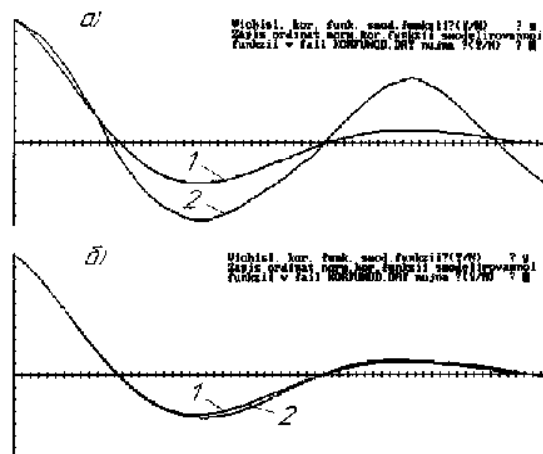


Рис. 2. Копии экрана – графики корреляционных функций (1 – исходной, 2 – смоделированной функции) при различных количествах N моделируемых ординат: а – $N=100$; б – $N=8000$

Fig. 2. Screen Copies – Correlation Graphs (1 – initial, 2 – simulated function) with different amounts of N simulated ordinates: а – $N=100$; б – $N=8000$

Исследования, выполненные с использованием программы MODFUNK1.BAS, показали, что характеристики смоделированного профиля практически не отличаются от характеристик, используемых в качестве исходных данных, если длина моделируемого профиля не меньше 1500–2000 м.

Библиографический список

1. Сеницын В.Ф. Имитационная модель обработки поверхности торфяной залежи фрезером / В.Ф. Сеницын // Технология и комплексная механизация торфяного производства: сборник научных трудов. Тверь: ТГТУ, 1997. С. 156–160.
2. Кузнецов Н.В. Исследование влияния работы фрезеров копирующего и профилирующего типов на рельеф поверхности торфяной залежи и формирование расстила: дисс. ... канд. техн. наук / Н.В. Кузнецов. Калинин: КПИ. 1979. 190 с.
3. Куприянов В.К. Влияние элементов рельефа поверхности производственных площадей на технологические показатели добычи фрезерного торфа и совершенствование средств механизации планировки: дисс. ... канд. техн. наук. Калинин: КПИ, 1985. 190 с.
4. Селеннов В.Г. Исследование взаимодействия гусеничных торфяных машин с осушенными залежами верхового типа: дисс. ... канд. техн. наук. Калинин: КПИ. 1976. 204 с.
5. Сеницын В.Ф. Автоматизированное проектирование / В.Ф. Сеницын. Л.В. Копенкина. Тверь: ТвГТУ. 2018. 176 с.
6. Вентцель Е.С. Теория вероятностей: учебник для вузов. / Е.С. Вентцель. 6-е изд. стер. М.: Высш. школа, 1999. 576 с.

УДК 681.518:622.7

Баженов А.А.*

Сергеев Е.А.*

Пухова О.В.*

Лебедев В.В.*

АВТОМАТИЧЕСКОЕ РЕГУЛИРОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ ФОРМОВАННОЙ ПРОДУКЦИИ

Аннотация. В статье представлены результаты исследований автоматического контроля качественных параметров торфяной массы при производстве торфяных полых горшочков. Прочность готового продукта определяет целостность и крошимость, которые влияют на потери при сушке и транспортировке. На стадии водозатворения предусматривается автоматический контроль расхода, дисперсности и влажности поступающего в резервуар гидроразбивателя торфяной массы, измерение и регулирование количества вносимых дополнительных элементов – минеральных компонентов, древесной массы, а также воды для формирования необходимой консистенции. Для построения моделей автоматического управления технологическим процессом и их анализа использовались методы теории дифференциальных уравнений, численного интегрирования, а также теории устойчивости. Модель реализуется на основе разработанного, оригинального программного обеспечения. Адекватность модели определяется опытным путем, сравнением полученных данных на модели к реальному технологическому процессу.

Ключевые слова: торф, автоматизация, процесс, водозатворение, модель.

Bazhenov A.A.*

Sergeev E.A.*

Puhova O.V.*

Lebedev V.V.*

AUTOMATIC REGULATION OF THE PARAMETERS OF TECHNOLOGICAL PROCESS FOR MANUFACTURING OF MOLDED PRODUCTS

Annotation. The article presents the findings of the research in the field of automatic control of peat mass quality in hollow peat pot production. The strength of the finished product determines its integrity and crumblability which affect the loss during drying and transportation. Therefore, knowing the strength characteristics we can use them for quality control. Besides, not strength but heterogeneity in the distribution of pores, moisture, and density is responsible for crumbling. Automatic regulation of effective peat mass water content is one of the main stages determining the quality. At this stage automatic control of the flow, dispersion and water content of peat mass entering the pulper tank as well as measurement and control of the amount of additional elements introduced, such as mineral components, wood pulp, and water to form the required consistency, are provided for. The models of automatic process control are built and analyzed with the methods of differential equation theory, numerical integration, and stability theory. The model is implemented with the custom-made proprietary software. The model adequacy is determined empirically by comparing the data obtained on the model with the actual technological process

Keywords: peat, automation, process, water drawing, model.

* Сведения об авторах приведены в конце статьи

При производстве [1] формованной продукции из торфяного сырья необходимо получение прочного продукта, так как его прочность косвенно определяет целостность и крошимость, которые влияют на потери при сушке и транспортировке. Торфяные полые горшочки, заполненные питательным грунтом на основе торфа, широко используются в аграрном секторе для выращивания рассады различных овощей, декоративных цветов, а также сеянцев ягодных и декоративных кустов, других культур. Поэтому, зная только прочностные показатели конечного продукта, можно воспользоваться ими для контроля качества [2]. Причем, за крошимость ответственна не столько прочность, сколько неоднородность в распределении пор, влаги, плотности.

К технологическим факторам, влияющим на прочность, относятся дисперсность и начальное влагосодержание при формовании подготовленного торфяного сырья. Степень измельченности вещества на частицы, выраженная в процентах, оценивает дисперсность, которую в исследованиях отождествляли с условной удельной поверхностью частиц S ($\text{м}^2/\text{кг}$). Определение степени дисперсности необходимо для характеристики торфа как сырья для промышленности, исследования его физико-химических и механических свойств, а также для изучения различных производственных процессов [3, 4].

Технологический процесс формирования торфяных полых горшочков можно разделить на четыре этапа, связанных между собой:

- подготовка торфяного сырья;
- приготовление торфодревесной массы;
- перемешивание;
- прессование и сушка готовых изделий.

В процессе механической переработки изменяются физические свойства торфяного сырья и его макроструктура, частично разрушаются растительные остатки.

При формовочном влагосодержании торфяные полые горшочки представляют собой тонкостенные изделия, сформированные из переработанной торфодревесной массы с добавкой удобрений и других минеральных компонентов, и являются структурированными системами преимущественно с коагуляционным типом контактов и широким спектром энергии связи между частицами. Процесс сушки является одним из способов повышения концентрации твердой фазы, происходящего в торфяной системе. Зависимость прочности от влагосодержания представляет собой ломаную линию, состоящую

из двух прямолинейных участков с точкой перегиба в области $W = W_c$ (рис. 1).

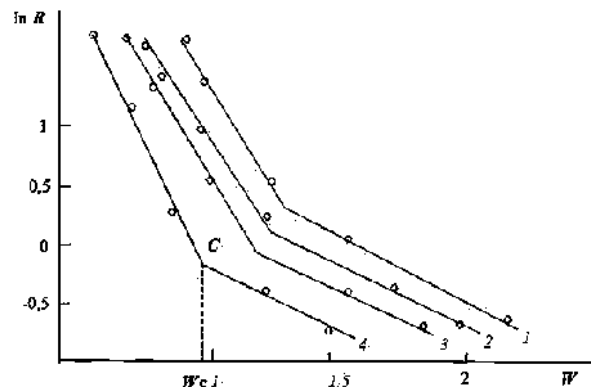


Рис. 1. Изменение прочности R в зависимости от влагосодержания W верхового пушицево-сфагнового торфа степенью разложения 25 % $S = 570$ (1), 445 (2), 380 (3), 309 (4) $\text{м}^2/\text{кг}$

Fig. 1. Change of strength R depending on moisture content W of high cotton grass-sphagnum peat decomposition degree 25 % $S = 570$ (1), 445 (2), 380 (3), 309 (4) m^2/kg

Первый период определяет структурообразование торфяной системы, которая переходит из жидкообразной в твердообразную условно-пластичную, преобладают молекулярные связи. Второй участок характеризует временную стабилизацию коагуляционной структуры, когда система переходит из вязкопластичного в твердое состояние, преобладают водородные межмолекулярные связи. Для каждого из периодов структурообразования зависимость прочности от влагосодержания торфяной массы при постоянной температуре представляется в виде экспоненциальной формулы:

$$R = R_{0W} \exp(-\lambda W),$$

где $\lambda = (\rho \cdot k_v) / (c \cdot \gamma_0)$ – коэффициент упрочнения структуры, определяемый ρ – плотностью твердой фазы, γ_0 – плотностью сухого вещества торфа, коэффициентом усадки k_v и уплотнения c , определяемого по компрессионной кривой. Как следует из рис. 1, нарастание прочности во втором периоде выше, чем в первом.

Водозатворение торфяной массы является одним из основных этапов, определяющим качество конечного продукта. На этой стадии предусматривается автоматическое регулирование расхода, поступающего в резервуар гидроразбивателя торфа, измерение и регулирование количества вносимых дополнительных элементов – минеральных компонентов, древесной массы, а также воды для формирования необходимой консистенции.

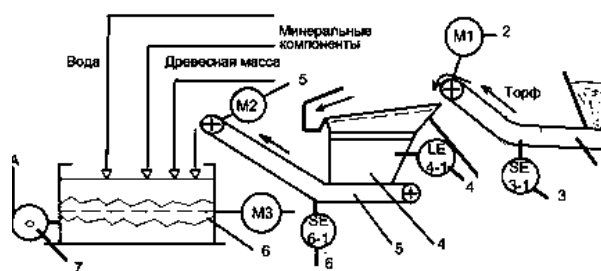


Рис. 2. Функциональный блок подготовки торфяной массы

Fig. 2. Functional block of peat mass preparation

Согласно рис. 2, исходное торфяное сырье доставляется и разгружается в приемный бункер 1. Ленточным конвейером 2 сырье направляется в инерционный грохот или каскадный валково-дисковой сепаратор 3, где происходит удаление пней и фракций крупнее 25 мм. Просеянный материал поступает в бункер дозатор 4, а из него ленточным конвейером 5 транспортируется в ванну гидроразбивателя 6. Из гидроразбивателя приготовленная торфодревесная масса перекачивается насосом 7 в промежуточную емкость.

В гидроразбивателе периодического действия происходит водозатворение (насыщение водой), роспуск волокон торфа и древесной массы, растворение и интенсивное перемешивание всех компонентов за счет интенсивного вихревого движения воды, создаваемого вращающимся ротором с лопатками.

Основные датчики для автоматического регулирования данного блока – датчики уровня сыпучих веществ в бункерах и скорости конвейера подачи. С помощью этих средств автоматизации осуществляется контроль процесса подачи к гидроразбивателю.

Каждый из отрезков (рис. 1) характеризует свой период структурообразования, обусловленный изменением энергии межмолекулярных взаимодействий дисперсных частиц между собой и, следовательно, с дисперсионной средой. При этом характер изменения энергетического уровня приводит к четкой фиксации отдельных периодов структурообразования. Каждому из периодов соответствует определенное взаиморасположение твердой и жидкой фаз, а также органического и минерального вещества между собой. Приращение прочности торфа обусловлено изменением природы, числа связей между элементами структуры при переходе от большего влагосодержания к меньшему и дефектности структуры [5].

Для верхового торфа $R = 25\%$ с начальной дисперсностью $S = 309 \text{ м}^2/\text{кг}$ торфяного сырья точка перегиба C приходится на влагосо-

держание $W_c = 0,9 \text{ кг/кг}$. Относительно невысокое значение прочности при $W = 0,49 \text{ кг/кг}$ определяется характером распределения усадочных давлений [4]. Это вызывает изменение прочности формованного торфа. С увеличением дисперсности до $S = 445 \text{ м}^2/\text{кг}$ распределение усадочных давлений равномернее, это приводит к более равномерной упаковке частиц по всему объему куска и росту прочности. Значение влагосодержания, соответствующего точке перегиба, составляет уже $1,3 \text{ кг/кг}$. При дальнейшем увеличении степени дисперсности до $S = 570 \text{ м}^2/\text{кг}$ растет плотность упаковки частиц, и поэтому прочность возрастает. Второй период структурообразования начинается не одновременно для всей исследованной дисперсности торфяного сырья.

В процессе сушки от формовочной влаги до влаги точки перегиба коагуляционная структура торфяных кусков упрочняется в результате сближения и уплотнения надмолекулярных образований, что объясняет их интенсивную усадку. В этом интервале влагосодержаний удаляется влага физико-химической связи. Обезвоживание происходит вследствие потока влаги из крупных пространств. При этом растет число элементарных актов взаимодействия, что обеспечивает развитие внутренних давлений, неодинаковых в верхних и центральных слоях. Во втором периоде удаляется преимущественно физико-химическая форма связи влаги с материалом.

Построение модели системы автоматического управления технологических параметров (влажность, дисперсность) при формировании торфяных полых горшочков состояло из нескольких этапов:

- построение концептуальной модели системы управления и ее формализация;
- формирование алгоритмов модели системы и их машинная реализация;
- получение модельных результатов параметров системы управления.

Модель реализуется на основе разработанного, оригинального программного обеспечения. Адекватность модели определяется опытным путем, сравнением полученных данных на модели к реальному технологическому процессу.

Проведение экспериментов над моделью сводится к выявлению зависимости влияния переменных x (фактор) на y (реакция). Каждый фактор в эксперименте x_i , $i = 1, k$; принимает одно из допустимых значений, называемых уровнем. Весь диапазон уровней факторов определяет состояние, в котором находится система.

Взаимосвязь между уровнями факторов и реакцией системы можно представить в виде соотношения:

$$y_l = \Psi_l(x_1, x_2 \dots x_k) \quad l = 1, m.$$

Функцию Ψ_l , связывающую реакцию с факторами называют функцией реакции. Изначальный вид зависимости Ψ_l не известен, поэтому принято использовать приближенное соотношение:

$$\bar{y}_l = \varphi_l(x_1, x_2 \dots x_k) \quad l = 1, m.$$

Зависимость φ_l найдена по данным эксперимента.

Точность установившихся режимов и качество переходных процессов в совокупности определяют качество системы автоматического управления технологическим процессом формирования торфяных полых горшочков. Точность оценивается отсутствием или наличием рассогласования в различных установившихся режимах и коэффициентами ошибки.

При проведении экспериментов с моделью учтена чувствительность модели к изменению и вариации параметров. Анализ чувствительности модели позволил оценить степень изменения результата относительно изменения одного или нескольких входных параметров, а также определить устойчивость системы автома-

тического управления.

Для решения поставленных задач использованы методы системного анализа и математического моделирования сложных систем автоматического управления. Выполнена декомпозиция технологического процесса производства торфяных полых горшочков на логические блоки. Для построения моделей и их анализа использовались методы теории дифференциальных уравнений, численного интегрирования, а также теории устойчивости. Исследование математических моделей и обработка экспериментальных данных проводились на основе разработанных оригинальных программ.

Библиографический список

1. Панов В.В., Мисников О.С. Современные тенденции развития торфяной отрасли России // Труды Инсторфа, 2015, № 11(64). С. 312.
2. Яблонев А.Л., Пухова О.В. Современные направления использования торфа // Вестник ТГТУ. 2010. № 17. С. 104.
3. Мисников О.С., Тимофеев А.Е. О рациональном использовании энергетических и минеральных ресурсов торфяных месторождений // Горный журнал, 2008, № 11. С. 59–63.
4. Мисников О.С., Тимофеев А.Е., Михайлов А.А. Анализ технологий разработки торфяных месторождений в странах дальнего и ближнего зарубежья // Горный информационно-аналитический бюллетень. М: МГГУ, 2011. № 9. С. 84–92.

Сведения об авторах

Баженов Александр Александрович, студент направления «Энерго- и ресурсосберегающие процессы химической технологии, нефтехимии и биотехнологии», выпускающая кафедра «Природопользование и экология» Тверского государственного технического университета. sg8lfc@yandex.ru.

Сергеев Егор Александрович, студент направления «Энерго- и ресурсосберегающие процессы химической технологии, нефтехимии и биотехнологии», выпускающая кафедра «Природопользование и экология» Тверского государственного технического университета. egar.s@mail.ru.

Пухова Ольга Владимировна, к. т. н., доцент кафедры геотехнологии и торфяного производства Тверского государственного технического университета. owpuhova@mail.ru

Лебедев Владимир Владимирович, к. т. н., доцент, профессор кафедры электронных вычислительных машин Тверского государственного технического университета. lebedev_vl.69@mail.ru

Bazhenov Alexander A., student of the direction «Energy- and resource saving processes of chemical technology, petrochemistry and biotechnology», Chair of Nature Management and Ecology, Tver State Technical University (TSTU).

Sergeev Egor A., student of the direction «Energy and resource saving processes of chemical technology, petrochemistry and biotechnology», Chair of Nature Management and Ecology, TSTU.

Pukhova Olga V., PhD, Associate Professor, Chair of Geotechnology and Peat Production, TSTU.

Lebedev Vladimir V., PhD, Professor, Chair of Electronic and Computing Machinery, TSTU.

УДК 553.97:553.973

Курзо Б.В.

Курзо Борис Валентинович, д. т. н., доцент, заведующий лабораторией Институт природопользования НАН Беларуси. Беларусь, 220114, г. Минск, ул. Ф. Скорины, д. 10. kurs@ecology.basnet.by.

Макаренко Т.И.

Макаренко Татьяна Ивановна, мл. н. с., Институт природопользования НАН Беларуси. Беларусь, 220114, г. Минск, ул. Ф. Скорины, д. 10. Makarenko.ip@mail.ru.

Гайдукевич О.М.

Гайдукевич Олег Михайлович, к. т. н., с. н. с., Институт природопользования НАН Беларуси. Беларусь, 220114, г. Минск, ул. Ф. Скорины, д. 10. olek2008@tut.by.

ВОЗМОЖНОСТИ СОВМЕСТНОГО ОСВОЕНИЯ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ТОРФА И САПРОПЕЛЯ ДЛЯ ЦЕЛЕЙ СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА В БЕЛАРУСИ

Аннотация. Выполнен анализ затрат энергии при разных способах совместной добычи торфа и сапропеля для сельского хозяйства. Установлено, что наименьшими удельными вложениями энергии характеризуется экскаваторная технология добычи и сушки сапропеля на выбывшем из эксплуатации торфяном участке. Расчеты показывают, что затраты на производство сапропелевых удобрений смешанного типа на торфяном участке по экскаваторной технологии и их внесение на пахотных угодьях района ниже затрат по сравнению с применением только минеральных удобрений при сопоставимом удобрительном эффекте. Сделан вывод, что имеющаяся в Республике Беларусь сырьевая база торфа и сапропеля перспективна для использования в сельском хозяйстве.

Ключевые слова: торф, сапропель, технологии добычи, удобрения, затраты энергии, эффективность.

Kurzo B.V.

Kurzo Boris V., Dr. for Technical Sciences Assistant Professor, Head of Laboratory Institute for Nature Management of the National Academy of Sciences of Belarus.

Makarenko T.I.

Makarenko Tatyana I., Junior Researcher, Institute for Nature Management of the National Academy of Sciences of Belarus.

Hajdukiewich O.M.

Hajdukiewich Oleg M., PhD. (Technical) Senior Researcher Institute for Nature Management of the National Academy of Sciences of Belarus.

OPPORTUNITIES OF THE JOINT DEVELOPMENT OF PEAT AND SAPROPEL DEPOSITS FOR AGRICULTURAL IN BELARUS

Annotation. The analysis of energy consumption was carried out for different methods of the joint extraction of peat and sapropel for agriculture. It has been established that the excavation technology of sapropel extraction and drying in the peat section out of service is characterized by the smallest specific energy investment. Calculations show that the costs of the production of mixed-type sapropel fertilizers on the peat site using excavation technology and their application on the arable lands of the region are lower than the costs compared to the use mineral fertilizers only with a comparable fertilizer effect. It is concluded that the raw material base of peat and sapropel available in the Republic of Belarus is promising for use in agriculture.

Keywords: peat, sapropel, extraction technologies, fertilizers, energy costs, efficiency.

Введение

Тенденции развития современного сельскохозяйственного производства свидетельствуют, что для получения планируемых урожаев используются повышенные дозы минеральных удобрений, пестицидов, химических стимуляторов роста. В последнее время большое внимание уделяется органическому сельскому хозяйству, основанному на отказе от широкого применения средств химизации и использовании природных органических и органоминеральных удобрений: навоза, торфа, сидеритов и т. д. Для повышения урожайности более активно используются севообороты и специальные методы обработки почвы.

Немаловажная роль в ведении экологически чистого сельского хозяйства, наряду с торфом, отводится сапропеля. Многочисленными исследованиями установлено, что сапропель – экологически чистое природное сырье, которое имеет разнообразный вещественный состав, гомогенную структуру, широкий спектр макро- и микроэлементов, свободных и связанных аминокислот, витаминов, ферментов и других биологически активных веществ [1, с. 7]. Торф и сапропель с успехом применяют в различных отраслях хозяйства: медицине и косметологии, сельском хозяйстве, ветеринарии, строительной индустрии, буровой практике, при производстве местного топлива и др.

Беларусь обладает значительными запасами торфа и сапропеля, опытом по их добыче и использованию. В результате поисково-оценочных и детальных работ, выполненных в конце прошлого века, установлен ресурсный потенциал сапропеля озер [2], выявлено более 480 выбывших из эксплуатации торфяных участков, подстилаемых сапропелем, с общими запасами последнего более 350 млн т [3, с. 101].

В республике в настоящее время сапропель добывается из девяти озер. Общий объем добычи составляет около 200 тыс. т, что несопоставимо мало по сравнению с огромными ресурсами, которые составляют более 4 млрд м³ или 1,6 млрд т в пересчете на условную 60 %-ную влажность. Из них 2,8 млрд м³ сосредоточено в озерах и 1,2 млрд м³ – под торфом.

Ресурсы торфа в республике в 2,5 раза больше, чем сапропеля и составляют около 4 млрд т. Торфопредприятия и их филиалы добывают в год 2,8–3 млн т торфа, более 70 % которого используется для производства различных видов топлива, а из остального изготавливается продукция для сельского хозяйства.

Издержки при добыче и переработке сапропелевого сырья существенно снижаются при освоении ресурсов сапропеля на выбывших из эксплуатации участках торфа по ресурсосберегающей экскаваторной технологии с послонно-поверхностным способом уборки. В значительной степени это обусловлено достаточно низким (75–80 %) уровнем естественной влажности сапропеля, залегающего под слоем торфа.

Результаты и их обсуждение

Ранее показано, что для создания бездефицитного баланса гумуса в пахотных почвах Республики Беларусь среднегодовая потребность в органических удобрениях составляет 12,0 т/га, или 57 млн т [4, с. 73]. В настоящее время в среднем вносится около 8,9 т/га органических материалов. Восполнение потребности в гумусе возможно за счет торфа и сапропеля.

Основным органическим удобрением для почв считается торф, внесение которого без предварительного компостирования с навозом обогащает почву гумусом. Однако из-за медленной скорости минерализации органического вещества в пахотном слое и несбалансированности торфа по элементам питания этот прием экономически невыгоден. Следует учесть, что в республике многие животноводческие комплексы удалены от мест добычи торфа. Это делает приготовление торфонавозных компостов экономически неоправданным. В таких местах для производства удобрений целесообразно и перспективно использовать сапропель, в том числе залегающий под торфом, что значительно более эффективно, чем добыча сапропеля из озер.

Сапропелевые удобрения (СУ) более, чем торфяные, увеличивают содержание и запасы гумуса и азота в почве. Лучший результат наблюдается при применении СУ на основе смешанного типа сапропеля, который по продуктивности севооборота не уступает навозу. При перевозке на 2–5 км рентабельные дозы 40 и 80 т/га СУ всех типов и 120 т/га смешанных [5, с. 15]. Сочетание 40 т/га СУ + N₁₀₀P₆₀K₁₁₀ позволяет добиваться максимальной продуктивности севооборота (не менее 65 ц/га к. ед.) и положительной рентабельности в расчете на тонну СУ.

С учетом специфических горно-геологических условий месторождений и свойств залежей используют несколько технологий добычи и переработки сапропеля. При выборе способа добычи решающим фактором является энергозатратность технологий. Для оценки энергоэффективности технологий использованы материалы по освое-

нию действовавших ранее в Республике Беларусь производственных участков, работавших по гидромеханизированной технологии (озера Вечер и Червоное), экскаваторно-грейферной (озера Мено и Большое Юров-

ское) и экскаваторной на торфяных участках Закружка и Лавы. Структура совокупных удельных энергозатрат при разработке сапропелевых месторождений по различным технологиям показана на рисунке.

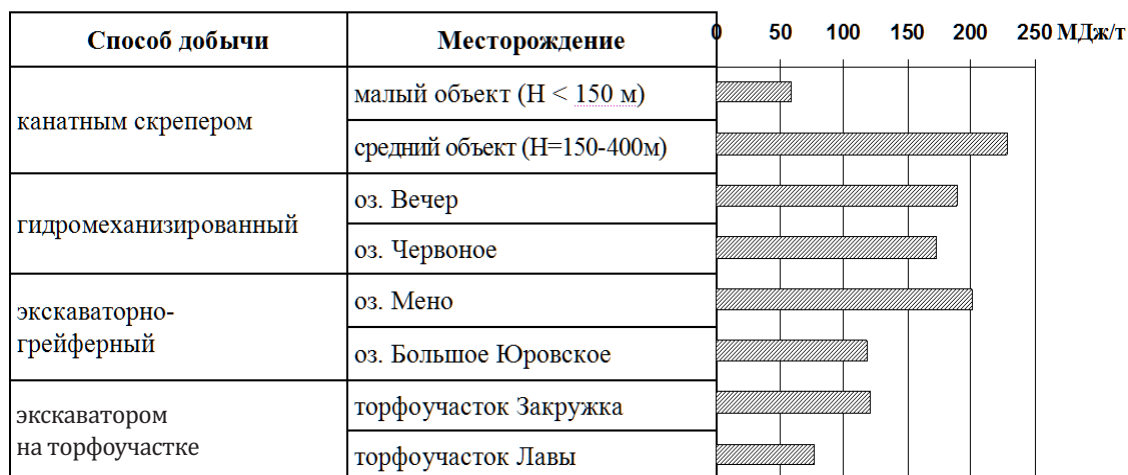


Рис. Совокупные удельные затраты энергии при добыче сапропеля различными способами в Республике Беларусь

Fig. Cumulative energy costs for sapropel mining in various ways in the Republic of Belarus

Наименьшими вложениями энергии в добычу 1 т сапропелевого сырья условной 60 %-ной влажности характеризуется экскаваторная технология на выбывшем из эксплуатации торфоучастке, подстилаемом сапропелем. Здесь добыча сапропеля осуществляется, как правило, в условиях имеющейся инфраструктуры торфяного производства по разработанной и опробованной ранее технологии [6]. Поэтому вложения энергии на обустройство месторождений незначительны, а совокупные энергозатраты в расчете на единицу готовой продукции примерно на 45–70 % ниже, чем при организации работ по гидромеханизированной или экскаваторно-грейферной технологиям, и составляют 80–125 МДж/т.

Из имеющихся технологий наибольшими вложениями энергии в добычу 1 т сырья условной 60 %-ной влажности характеризуется экскаваторно-грейферная с экскаваторной перегрузкой сапропеля из баржи на транспортное средство на берегу. При использовании данной технологии расходуется более 200 МДж/т совокупной энергии, что на 35 % больше, чем для экскаваторного способа. Применение этой технологии на малых объектах с гидромеханизированной перегрузкой сырья на берегу позволяет снизить удельные энергозатраты до 120 МДж/т. Добыча сапропеля средствами гидромеханизации также характеризуется повышенными удельными энергетическими вложениями – около 130–140 МДж/т. При этом самыми

энергоемкими операциями, вследствие повышенной металлоемкости применяемого оборудования, являются экскавация сапропеля, на что расходуется 35–53 % совокупной энергии, и транспорт пульпы к береговым чекам-отстойникам – 15–40 %.

При добыче сапропелевой лечебной грязи на озере Судобль применяется перспективная ковшово-элеваторная технология извлечения сапропеля. Прямые энергозатраты на топливо и электроэнергию, косвенные затраты на машины и оборудование для данной технологии сравнимы с экскаваторной технологией на торфоучастке. Пониженные совокупные удельные энергозатраты при добыче по данному способу объясняются сбалансированностью мощности силовых установок с объемом добычи и физическими свойствами залежи. Широкому внедрению ковшово-элеваторной технологии добычи сапропеля препятствуют ограничения по глубине разработке залежи и сложность изготовления установки по индивидуальному проекту, в отличие от других технологий, где используется серийно выпускаемое оборудование.

Разрабатываются другие способы и средства добычи озерного сапропеля совместно с торфом. Показана возможность использования для этого технологии канатного скреперования [7], которая рекомендуется для разработки малых по площади (до 10–15 га) месторождений в озерах и на торфоучастках, прибрежных участках крупных озер и сред-

них по площади месторождений удлиненной конфигурации с плечом экскавации до 150 м. Технология канатно-скреперной добычи сапропеля естественной влажности испытана в Лельчицком районе Гомельской области. Затраты энергии при добыче канатным скрепером увеличиваются пропорционально плечу экскавации за счет снижения производительности оборудования. Резервы ее

повышения – в увеличении скорости холостого хода и объема ковша.

Расчеты показывают, что затраты на производство сапропелевых удобрений и их окупаемость зависят от агрохимического состава сырья, технологии добычи и приготовления удобрений, расстояния перевозки готовых удобрений от месторождения до удобряемых сельхозугодий (табл. 1).

Таблица 1. Затраты на производство СУ

Table 1. Costs for the production of sapropel fertilizers (SF)

Технология добычи	Технологические операции	Расстояние до сельхозугодий, км	Цена удобрений (франко-штабель)	Затраты на погрузку, транспорт и внесение		Итого затрат
				долл. США/т		
Гидромеханизированная, озеро Червоное	Фрезерование	1	9,7	0,7	10,4	
		5		1,1	10,8	
		15		2,3	12,0	
Экскаваторная на осушенном озере Прибыловичи	Лущение и дискование	1	4,2	0,7	4,9	
		5		1,1	5,3	
		15		2,3	6,5	
Экскаваторная на южном участке т. м. Нивское (расчет)	Лущение и дискование	1	5,1	0,7	5,8	
		5		1,1	6,2	
		15		2,3	7,4	
Канатно-скреперная, озеро Бувское (предварительная оценка)	Лущение и дискование	1	3,0	0,7	3,7	
		5		1,1	4,1	
		15		2,3	5,3	

В связи с увеличением цен на азотные и фосфорные удобрения в последнее время проводятся работы по поиску сапропелевых месторождений с повышенным содержанием фосфора и азота в сырье. Содержание данных элементов в некоторых залежах, как показывают исследования, может составлять 1,5–4 и более процентов на сухое вещество. Применяемые в настоящее время сапропелевые удобрения из местного сырья

месторождения в озере Прибыловичи с повышенным содержанием азота, фосфора, кальция, органического вещества, микроэлементов в дозах 33 т/га практически заменяют минеральные удобрения и карбонатные материалы в основную заправку, что позволяет экономить до 390 долл. США на 1 га сельхозугодий за счет существенной замены минеральных туков (табл. 2).

Таблица 2. Расчет применения СУ смешанного типа месторождения Прибыловичи в сравнении с эквивалентной дозой минеральных удобрений (МУ) при внесении на 1 га, у. ед. (на середину 2009 г.)

Table 2. Calculation of the use of sapropel fertilizers (SF) of the mixed type of the Pribylovichi deposit in comparison with the equivalent dose of mineral fertilizers (MF) when applied to 1 ha, c. units (mid-2009)

	Стоимость			Итого
	удобрений	доставки	погрузки и внесения	
Сапропелевые удобрения (СУ) смешанного типа	490,0	408,0	82,9	-394,8
Эквивалентная доза минеральных удобрений (МУ) по действующему веществу	1161,6	163,5	115,6	
Разность стоимости применения СУ – МУ	- 671,6	+244,5	+32,3	

Примечание. Дозы внесения в основную заправку: сапропелевые удобрения 33 т/га; суперфосфат (8/30) – 1,57 т; карбамид (46) – 1,36 т; хлористый калий (56) – 0,42 т; доломитовая мука – 13,2 т. Расчеты по состоянию на 2009 г.

Кроме того, одновременно с сапропелем вносится в среднем 16,5 т/га органического вещества, обогащающего почву гуминовыми и фульвовыми кислотами. После минерализации органических веществ часть элементов питания, находящихся в поглощенном состоянии, высвобождается, становится доступной для растений и усваивается в результате ионно-обменных реакций. Этим объясняется эффект последствия сапропелевых удобрений.

Использование открытого способа добычи сапропеля с помощью экскаватора из осушенных озер (оз. Прибыловичи) и торфяных участков (участок месторождения Бенин, осваиваемый южный участок месторожде-

ния Нивское) в совокупности с разработкой наиболее ценных в агрохимическом отношении сапропелевых залежей делают минимальными текущие затраты и увеличивают прибавки урожая до 40 кормовых единиц (к. ед.) в расчете на 1 т внесенного сапропелевого удобрения, при нормативе окупаемости органических удобрений в республике 30 к. ед. на 1 т [4, с. 6]. Это способствует тому, что экономическая эффективность добычи сапропеля из таких объектов заметно возрастает, а его применение в растениеводстве становится рентабельным на расстоянии до 10–12 км от места заготовки (табл. 3).

Таблица 3. Эффективность применения 1 т СУ, добытых по различным технологиям за счет прибавки урожая

Table 3. The effectiveness of the use of 1 ton of sapropel fertilizers (SF), produced by various technologies due to yield increase

Технология	Расстояние до удобряемых сельхозугодий, км	Прибавка урожая		Доход + (потери -) на 1 т удобрений, долл. США
		к. ед./т	стоимость, долл. США	
Гидромеханизованная	1	30	4,4	- 6,0
	5			- 6,4
	15			- 7,6
Экскаваторная	1	40	5,7	+ 0,8
	5			+ 0,4
	15			- 0,8
Канатно-скреперная	1	35	5,0	+ 1,3
	5			+ 0,9
	15			- 0,3

Примечание. Стоимость 1 т к. ед. на дату расчетов составляла 142,8 долл. США.

Следует учитывать эффект последствия СУ, который проявляется до 4–5 лет после заправки поля [1, с. 140]. С учетом этого фактора, прибавки урожая от применения 1 т СУ увеличиваются в 3,5–4 раза. Кроме того, использование карбонатного или смешанного сапропеля (участок Бенин, южный участок Нивское) в дозе 40 т/га позволяет вносить 4–6 т на 1 га известковых материалов в пересчете на CaCO₃ и избежать поддерживающего известкования сельхозугодий, что способствует экономии бюджетных средств.

В настоящее время в Кличевском районе Могилевской области в рамках Государственной научно-технической программы «Природопользование и экологические риски» реализуется два взаимно дополняющих друг друга научных проекта по внедрению принципов органического сельского хозяйства, которые позволяют организовать производство эффективных торфо-сапропелевых грунтов и СУ на базе местных месторождений с целью получения конку-

рентоспособных удобрений и гуминовых препаратов для органического земледелия и разработать систему экологического управления агроландшафтами на основе внедрения технологий органического растениеводства и механизмов лесохозяйственной интеграции. В Кличевском районе имеются ранее выбывшие из активной разработки торфяные месторождения с запасами сапропеля (Гончанское, Нивское, Миложня и др.). По составу и свойствам, горнотехническим условиям залегания торфа и сапропеля наиболее перспективным для повторного освоения является месторождение Нивское.

В результате детальных геологоразведочных работ на выбывшем из эксплуатации южном участке площадью 20 га этого месторождения установлено, что оставшиеся здесь запасы торфа составляют 28,8 тыс. т, сапропеля – 101,5 тыс. т. Состав сапропеля смешанного типа следующий: зольность – 51,6, влажность – 77,6, рН (KCl) – 6,7, содержание азота – 2,1 % на сухое веще-

ство (СВ), P_2O_5 – 1,5 %, K_2O – 0,4 %, SO_3 – 1,4 %, CaO – 15,9 %. В настоящее время проводятся подготовительные работы по освоению данного месторождения для выпуска сапропелевых удобрений, питательных грунтов, торфа для компостирования с навозом и гуминовых препаратов. Здесь освоение торфо-сапропелевого месторождения является экономически выгодной при производстве конечной продукции в объеме не менее 3 тыс. т в год и налаженном сбыте.

Прогнозный расчет экономической эффективности использования СУ месторождения Нивское в сравнении с применением минеральных удобрений на фоне органических удобрений в виде пожнивно-корневых остатков под картофель и кукурузу (силос) на дерново-подзолистой почве под планируемую урожайность первой культуры 250–300 ц/га и второй – 450–500 ц/га представлен в

табл. 4.

В качестве альтернативы минеральным удобрениям под основную заправку рассматривалась доза сапропелевых удобрений месторождения Нивское в количестве 40 т/га. По данным многолетних экспериментов с сапропелевыми удобрениями разрабатываемых озер показано [1], что наиболее эффективным является их внесение в дозах 40–50 т/га.

С увеличением дозы СУ урожайность также повышается, но незначительно, а окупаемость 1 т удобрений снижается. За счет быстрой трансформации органического вещества сапропеля в первый год СУ смешанного типа обеспечивают получение 54 % урожая [5, с. 16], и действие его продолжается в последующие годы. При этом последствие сапропеля при повышенных дозах дает прибавки урожая, близкие к прибавкам в первый год внесения.

Таблица 4. Расчет применения сапропелевых удобрений (СУ) смешанного типа месторождения Нивское в сравнении с минеральными удобрениями (МУ) при внесении на 1 га сельскохозяйственных угодий на дерново-подзолистой супесчаной почве (средняя доза под картофель и кукурузу в основную заправку)

Table 4. Calculation of the use of sapropel fertilizers (SF) of the mixed type of Nivskoye deposit in comparison with mineral fertilizers (MF) when entering agricultural land per 1 ha on sod-podzolic sandy loam soil (an average dose for potatoes and corn in the main dressing)

Сапропелевые удобрения (СУ)									
Наименование основных элементов питания, вносимых с СУ	Валовое содержание элементов на СВ, %	Кол-во элементов в 40 т сапропелевых удобрений, кг д. в.	Прогноз усвоения по годам, кг д. в.					Стоимость СУ франко-штабель, руб.	
			1-й год	2-й год	3-й год	4-й год	5-й год	1 т	40 т
Азот	2,1	840	240	210	210	180	–	10,2	408
Фосфор	1,5	600	100	120	125	130	125		
Калий	0,4	160	30	40	60	30	–		
Карбонаты кальция	28,5	11400							
Стоимость погрузки и доставки 40 т СУ до потребителя (ср. расстояние 40 км), руб.								348	
Стоимость внесения 40 т СУ разбрасывателем ПРТ-10, руб.								48	
Общая стоимость 40 т СУ с доставкой и внесением, руб.								804	
Минеральные удобрения (МУ) и доломитовая мука									
Наименование минерального удобрения	Действ. вещество	Кол-во д. в. МУ за 1 год внесения, кг	Кол-во д. в. МУ за 4 года внесения, кг	Стоимость 1 т по д. в. МУ на ст. Несета, руб.	Всего стоимость 1 т по д. в. МУ за 4 года внесения, руб.		Итого стоимость МУ и доломитовой муки, руб.		
Мочевина (марка Б)	N	100	400	1217	486,8		1320		
Суперфосфат-8/30	P_2O_5	80	320	1760	563,2				
KCl 60	K_2O	100	400	140	56,0				
Доломитовая мука	$CaCO_3$ $MgCO_3$	4500	4500	48	214,2				
Стоимость доставки и внесения МУ и доломит. муки до потребителя (ср. расстояние 40 км) за 4 года, руб.								280	
Общая стоимость МУ и доломитовой муки с доставкой и внесением за 4 года, руб.								1600	

Расчеты показывают, что стоимость приобретения (по ценам 2018 года для производителей сельхозпродукции) и внесения МУ под основную заправку в течение последствия СУ (4 года) в два раза превосходят затраты на заготовку последних на торфоучастке по экскаваторной технологии и внесение в дозах 40 т/га (табл. 4). Выполненные прогнозные сопоставительные расчеты указывают на целесообразность освоения выбывшего из эксплуатации торфяного месторождения с сапропелем Нивское с годовой добычей торфа 1 тыс. т и сапропеля 2,5 тыс. т в пересчете на 60 %-ную условную влажность для обеспечения развития в регионе биологического земледелия.

Заключение

Для замены минеральных удобрений и пестицидов органическими компонентами необходимо шире использовать ресурсы экологически чистого сапропелевого сырья, общие запасы которого в Республике Беларусь составляют более 1,6 млрд т. По энергозатратности наименьшими вложениями в добычу 1 т торфяного и сапропелевого сырья условной 60 %-ной влажности характеризуется экскаваторная технология на ранее выбывшем из эксплуатации торфяном участке, подстилаемом залежью сапропеля.

Опыт разработки сапропелевых месторождений убеждает, что добыча сапропеля, кроме заметного улучшения экологической ситуации на мелиорируемых участках дает возможность вовлечь в сферу сельскохозяйственного использования ценное агрохимическое сырье, что способствует созданию условий для внедрения механизмов органического сельского хозяйства. Применение новых технологий совместной добычи и переработки торфяного и сапропелевого сырья в качественные органоминеральные удобрения позволяет получать чистый доход от повышения урожайности сельхозугодий, частичной или полной за-

мены минеральных удобрений.

Выполненные расчеты показывают перспективность освоения местных ресурсов торфа и сапропеля на торфоучастке месторождения Нивское по экскаваторной технологии. Стоимость внесения СУ в почву в дозах 40 т/га приблизительно в два раза ниже стоимости приобретения и внесения минеральных удобрений под основную заправку в течение четырехлетнего периода последствия сапропелевых удобрений. Положительный опыт обеспечения биоорганического сельского хозяйства эффективными природными органоминеральными можно будет распространить на иные подобные объекты.

Библиографический список

1. *Лопотко М.З.* Сапропели в сельском хозяйстве / М.З. Лопотко, Г.А. Евдокимова, П.Л. Кузьмицкий. Минск: Навука і тэхніка, 1992. 216 с.
2. Кадастр сапропелевых отложений озер Белорусской ССР / Под ред. акад. И.И. Лиштвана. Т. 1–6. Минск: Наука и техника, 1981. 254 с.
3. *Курзо Б.В.* Вещественный состав и ресурсы сапропеля на торфяных месторождениях Беларуси / Б.В. Курзо, Л.П. Пекач, О.П. Чубарева // Природопользование. Вып. 7. Минск, 2001. с. 97–102.
4. Система применения удобрений / В.В. Лапа, В.Н. Емельянова, Ф.Н. Леонов [и др.]; под ред. проф. В.В. Лапа. Гродно, 2011. 416 с.
5. *Красноберская О.Г.* Трансформация органического вещества сапропелевых удобрений в дерново-подзолистой супесчаной почве: автореф. дис. ... канд. сельскохозяйств. наук: 06.01.04 / О.Г. Красноберская; Инст. Почвоведения и агрохимии. Минск, 2002. 21 с.
6. Временные рекомендации по технологии добычи залегающего под торфом сапропеля экскаваторным способом / Е.А. Басальга, Г.А. Романовский, А.И. Федотов [и др.]. Минск, 1989. 28 с.
7. *Курзо Б.В.* Технология разработки торфа и сапропеля канатным скреперованием / Б.В. Курзо, О.М. Гайдукевич // Природопользование. Вып. 12. Минск, 2006. с. 103–107.

УДК622.331:658.7

Васильев А.Н.

Васильев Алексей Николаевич, д. т. н., профессор кафедры механизации природообустройства и ремонта машин Тверского государственного технического университета. 170001, Тверь, Академическая, 12, vasilev_1942@bk.ru.

Vasiliev A.N.

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

**НАМОКАНИЕ
ТОРФЯНОЙ ПРОДУКЦИИ
В ВАЛКАХ**

Аннотация. Исследовалась торфяная продукция, представленная фрезерным торфом, укрупненной крошкой и кусковым торфом. Торф может храниться в валке в течение длительного времени, практически на протяжении всего сезона добычи, не теряя кондиционной влажности. Увлажнение торфа в валке от осадков ликвидируется за счет испарения в течение 2–3 суток при любой величине выпавших осадков. Поверхность производственных площадей необходимо поддерживать в профилированном состоянии, соблюдая нормативы уровня грунтовых вод.

Ключевые слова: фрезерный торф, укрупненная крошка, кусковой торф, намокание, осадки, поверхность площадей.

**THE PROCESS OF WET
OF PEAT PRODUCTION
IN ROLLS**

Annotation. The article investigated peat products represented by milling peat, coarsened crumb and sod peat. Peat can be stored in the roll for a long time, almost throughout the production season, without losing the conditioned moisture. Moisture of peat in the roll from precipitation is eliminated by evaporation for 2–3 days at any amount of precipitation. The surface of the production area must be maintained in a profiled state, observing the standards of groundwater level.

Keywords: milling peat, enlarged crumb, sod peat, wetting, precipitation, surface of production areas.

Исследование характера намочения в валках формованной торфяной продукции, представленной фрезерным торфом, укрупненной крошкой и кусковым торфом выполнялось в лабораторных условиях и на первом производственном участке торфопредприятия «Васильевский Мох». Опыты проводились с торфом верхового типа, степень разложения 30 %, начальная влажность 40 %, площадь поперечного сечения валка 0,229–0,336 м²; для опытов с кусковым торфом проводилась однократная переработка.

В ходе экспериментов были определены коэффициенты поглощения осадков в зави-

симости от интенсивности последних.

Для фрезерного торфа в начальной фазе поглощения выпадающие «морозящие» осадки впитываются верхними слоями валка. После полного насыщения верхних прослоек начинается следующая фаза впитывания слоем – фильтрация. В этой фазе осадки в виде капелек, преодолевая сопротивление почвенного воздуха и вытесняя его, заполняют поры между отдельными частицами торфа [1, 2]. Таким образом, под действием, в основном, гравитационных сил осадки, смачивая и впитываясь в частицы торфа, передвигаются к нижним слоям (рис. 1).

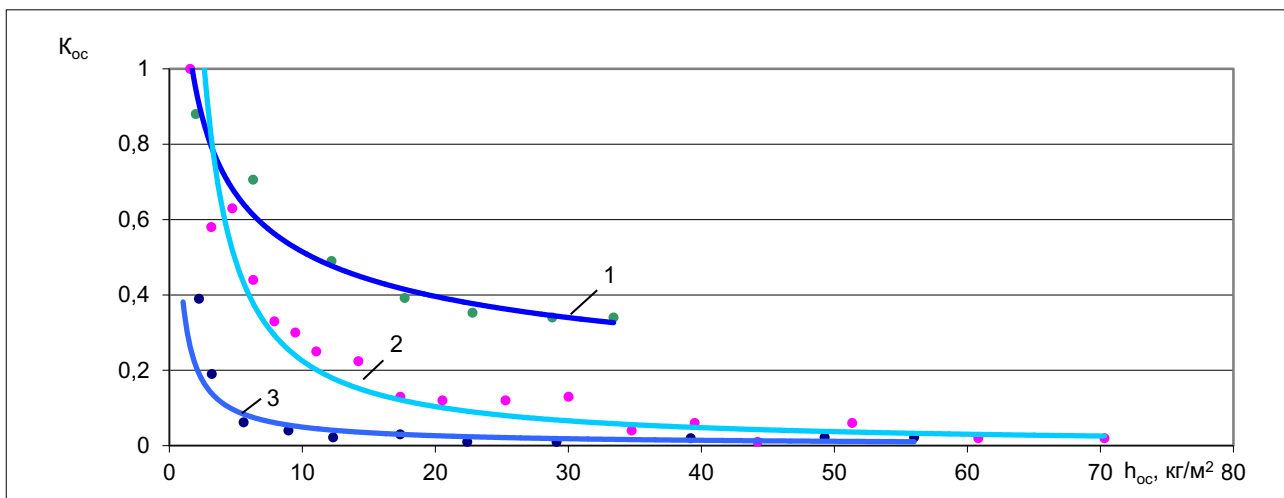


Рис. 1. Зависимость коэффициента поглощения осадков ($K_{ос}$) от количества осадков ($h_{ос}$) для различных видов торфяной продукции: 1 – фрезерный торф; 2 – укрупненная крошка; 3 – кусковой торф

Fig. 1. The dependence of the absorption coefficient of precipitation (Braid) from precipitation ($h_{ос}$) for different types of peat products: 1 – milling peat; 2 – enlarged crumb; 3 – sod peat

Под воздействием осадков происходит уплотнение верхнего слоя фрезерной крошки за счет ударной силы капель и уплотнения агрегатов торфа, а также вследствие перераспределения мелких частиц между крупными [3]. Толщина уплотненного слоя увеличивается с ростом количества и интенсивности выпадающих осадков и может достигать 15–20 мм.

Исследования по определению влияния метеорологических условий на влажностный режим фрезерного торфа в наращиваемых валках выявили, что при величине осадков до 2 кг/м² осадки поглощаются практически полностью, то есть коэффициент поглощения равен или близок к единице, а при осадках более 15 кг/м² коэффициент поглощения осадков почти не изменяется и равен 0,15–0,4. Наблюдения за изменением влажности торфа в валках показали, что она может изменяться в обе стороны на 8–10 % от первоначальной. Увлажнение торфа от осадков ликвидируется за счет ис-

парения, как правило, в течение 2–3 суток при любой величине осадков.

Установлено, что насыщение влагой верхнего слоя максимально за счет характерных неровностей поверхности валка. В этом периоде дождевания коэффициент поглощения осадков близок к единице при их величине выпадения до 2 кг/м². Это объясняется как частичным впитыванием частицами фрезерного торфа влаги, так и ее просачиванием между частицами. Проникновение влаги вглубь валка фрезерного торфа происходит замедленно, так как большая часть ее задерживается в порах между частицами. Кроме впитывания влаги торфяными частицами и ее просачивания, происходит интенсивное скатывание капель воды с поверхности валка по образовавшейся пленке. При увеличении продолжительности дождевания вследствие наличия пленки на поверхности валка происходит снижение коэффициента поглощения осадков.

В естественных условиях действуют одновременно несколько различных факторов, влияющих на процесс намочания, например, капли дождя за частую падают не вертикально (косой дождь), в общем времени дождевания присутствуют бездождные промежутки. Есть и другие причины, по которым валок подвергается намочанию неравномерно.

Для укрупненной крошки также характерно скатывание капель дождя, но в значительно меньшей степени, чем для валка фрезерного торфа. Поскольку укрупненная крошка представляет собой частицы со средним размером 40 x 10 x 10 мм, то и верхний слой валка представляет собой сложную геометрическую поверхность. Влага в этом случае скатывается преимущественно уже не по поверхности валка, а проникает вглубь его, скатываясь по самим частицам, формируя тем самым различную толщину влагонасыщенного слоя. В результате при продолжительном времени дождевания (около 7–8 ч) влага полностью проникает сквозь валок, попутно смачивая сами частицы.

В отличие от валка с фрезерным торфом, где в начале дождевания влага заполняет межпоровое пространство в ограниченном верхнем слое и затем впитывается более мелкими фракциями торфа, в валках с укрупненной крошкой влага без особых препятствий проникает вглубь валка ввиду отсутствия на поверхности сдерживающей пленки, но намочание самих частиц происходит замедленно. При разрушении валка было установлено его полное намочание.

При дождевании валка кускового торфа выявлено следующее. В процессе увлажнения максимальный коэффициент поглощения приходится на период в самом начале опыта, так же как и с валком укрупненной крошки, однако в дальнейшем он уменьшается и почти не изменяется во времени. При этом сами частицы подвергались намочанию по-разному. В центре валка кускового торфа крошка почти не намочла, что свидетельствует о большом влагопоглощении именно верхних слоев, как и у фрезерного торфа.

Здесь, в отличие от фрезерного торфа, максимальный коэффициент водопоглощения связан с обволакиванием и небольшим поверхностным смачиванием кусков. При этом, так же как и в опыте с укрупненной крошкой, наблюдается активное перемещение капель воды по поверхности куска. Влага, перемещаясь таким образом и быстро проникая сквозь весь валок, попадает на подстилающее основание (залежь). Перенос влаги осуществляется здесь примерно так же, как у укрупненной крошки, только быстрее.

Коэффициент поглощения влаги в валках формованной продукции зависит от формы и

размеров слагающих частиц, наличия дефектов и трещин, ботанического состава торфа.

Важно учитывать начальную влажность торфа перед началом увлажнения. При увеличении влажности торфа свыше 50 % наблюдается явное увеличение интенсивности поглощения, что было ранее установлено в исследованиях с фрезерным торфом. Для кускового торфа увеличение начальной влажности образцов также сказывается на увеличении поглощения влаги, что подтвердили пробы на влажность после прекращения процесса дождевания. Влажность таких образцов кускового торфа в валке, находящихся в лаборатории при комнатных условиях в течение суток после проведения эксперимента, повысилась на 5–7 %. Необходимо также отметить, что снижение начальной влажности кусков до 10–12 % сказывается на конечной влажности незначительно: за 7–8 ч дождевания куски намочили не более чем на 2–3 %.

Результаты исследования влажности торфа в наращиваемых валках позволяют сделать вывод о том, что торф может храниться в валке в течение длительного времени, практически на протяжении всего сезона добычи, не теряя кондиционной влажности. Увлажнение торфа в валке от осадков ликвидируется за счет испарения в течение 2–3 суток при любой величине выпавших осадков.

В данных технологиях особое внимание должно быть уделено состоянию производственных площадей, поверхность которых необходимо поддерживать в профилированном состоянии, соблюдая нормативы уровня грунтовых вод.

Необходимо отметить важное преимущество данных технологических схем – резкое увеличение концентрации фрезерного торфа в штабелях путем образования крупных складочных единиц. За счет уплотнения торфа бульдозером-штабелером в процессе формирования штабеля увеличивается плотность, вследствие чего потери от намочания и мерзлоты снижаются пропорционально величине удельной поверхности. Увеличение плотности торфа способствует значительному замедлению темпов роста температуры в таких штабелях и сокращению потерь торфа от самопрогрева почти в 2,5 раза.

Библиографический список

1. Берман Ю.А. Закономерности гравитационного пленочного движения влаги в дисперсных материалах / Ю.А. Берман // Инженерно-физический журнал. 1959. № 3. С. 36–42.
2. Берман Ю.А. Влияние осадков на процесс сушки фрезерного торфа / Ю.А. Берман // Бюллетень научно-технической информации ВНИИТП. Вып. 3. 1958. С. 18–22.
3. Васильев А.Н. Повышение выработки технологических машин: монография / А.Н. Васильев. Тверь: Тверской государственный технический университет, 2018. 196 с.

УДК 622.31:622.271.9

Гордеева И.М.

Гордеева Инна Михайловна, студент направления «Природообустройство и водопользование», выпускающая кафедра «Геология, переработка торфа и сапропеля». inna_001f@mail.ru.

Пухова О.В.

Пухова Ольга Владимировна, канд. техн. наук, доцент, доцент кафедры геотехнологии и торфяного производства Тверского государственного технического университета. owpuhova@mail.ru.

Шахматов К.Л.

Шахматов Кирилл Леонидович, канд. техн. наук, доцент кафедры геологии, переработки торфа и сапропеля Тверского государственного технического университета. krl81@list.ru.

ВЛИЯНИЕ КАЧЕСТВЕННЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ТОРФЯНОГО СЫРЬЯ НА ФИЗИКО- МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА БРИКЕТОВ

Аннотация. В статье представлены результаты исследований физико-механических свойств брикетов в зависимости от качественных показателей сырья. Для исследований использованы часто встречающиеся в Тверской области виды торфяного сырья со степенью разложения от 10 до 50 %. Полученные результаты позволяют рассматривать зависимость основных свойств брикетов от зольности в пределах общей совокупности. Установлено, что при формировании физико-механических свойств брикетов на основе торфа существенную роль играют минеральные компоненты. Так, при увеличении зольности с 2 до 15 % (браковочный предел) происходит уменьшение прочности до 1,5 раз. Зольность отрицательно влияет на потребительские свойства брикетов. Полученные зависимости прочности от степени разложения указывают, что при постоянной загрузке по массе определяющим является давление прессования, а не плотность отдельных частиц, слагающих брикет.

Ключевые слова: торф, свойства, добыча, качество, влажность, дисперсность.

Gordeeva I.M.

Gordeeva Inna M., Student of the direction «Environmental Engineering and Water Use», Chair of Geology, Peat and Sapropel Processing, Tver State Technical University.

Pukhova O.V.

Pukhova Olga V., Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Chair of Geotechnology and Peat Production, Tver State Technical University.

Shakhmatov K.L.

Shakhmatov Kirill L., Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Chair of Geology, Peat and Sapropel Processing, Tver State Technical University.

INFLUENCE OF QUALITY INDICATORS OF RAW PEAT ON PHYSICOMECHANICAL PROPERTIES OF BRIQUETTES

Annotation. The article presents the results of studies of the physical and mechanical properties of briquettes, depending on the quality indicators of raw materials. For the research, peat raw materials that are often found in the Tver Region with a degree of decomposition from 10 to 50 % were used. The results obtained allow us to consider the dependence of the basic properties of briquettes on the ash content within the total set. It has been established that the formation of the physico-mechanical properties of briquettes based on peat plays a significant role in mineral components. So with an increase in ash content from 2 to 15 % (rejection limit), there is a decrease in strength up to 1.5 times. Ash content negatively affects consumer properties of briquettes. The obtained dependences of strength on degree of decomposition indicate that at constant loading by mass the determining factor is pressure, but not the density of individual particles composing the briquette.

Keywords: peat, properties, production, quality, humidity, dispersion.

Тверской регион богат разнообразием торфяного фонда, рациональное использование которого играет значимую роль для торфодобывающих компаний [1, 2]. Значение торфа как местного вида топлива возрастает для населенных пунктов, расположенных в отдаленных районах. Совершенствование технологий торфяного производства [3, 4] позволяет расширить диапазон использования торфа, а также продуктов на его основе. Цель исследований – установление связей между степенью разложения, зольностью, размером частиц уплотняемого материала и физико-механическими характеристиками брикетов. Брикетирование торфа проводили из образцов часто встречающихся видов торфяного сырья, степень разложения которых колебалась от 10 до 50 %. Она находилась методом определения по дисперсности – по содержанию фракций размером менее 250 мкм при помощи сокращенного ситового анализа [5].

В ходе исследований установлено, что на формирование физико-механических свойств брикетов на основе торфа (табл. 1) существенную роль играют минеральные компоненты. Верховой торф имеет малое количество поглощенных катионов. В нем много внутриклеточной и осмотической влаги. В низинном торфе имеются поглощенные ионы. Они существенно изменяют структуру ассоциатов и могут приводить к пептизации или коагуляции торфа [6, 7]. Торф, насыщенный поливалентными катионами (*Ca*, *Mg*, *Fe* и др.), обладает жесткой структурой и представляет собой совокупность дисперсий высокомолекулярных соединений различного химического состава

и минеральных компонентов. Общее содержание минеральных соединений в топливе характеризуется зольностью. Однако зола представлена смесью оксидов. Зависимости прочности и плотности сушенки от зольности представлены уравнениями:

$$\sigma_{\text{изг}} = 40,5 - 1,31A^c \pm 12,9 (\times 9,8 \cdot 10^5 \text{ н/м}^2),$$

$$\rho_{\text{суш}} = 0,242 + 0,01A^c \pm 0,103 (\times 10^3 \text{ кг/м}^3).$$

Водопоглощение брикетов в пределах типов и торфа в целом практически не зависит от зольности.

Полученные результаты позволяют рассматривать зависимости основных свойств брикетов от зольности в пределах общей совокупности. В целом для торфа при увеличении зольности с 2 % (верховой торф) до 15 % происходит уменьшение прочности до 1,5 раза. Учитывая это обстоятельство, а также снижение теплоценности, следует считать зольность наиболее отрицательным фактором, влияющим на потребительские свойства брикетов.

Степень разложения характеризует биохимический распад растений-торфообразователей и определяет физические и химические свойства торфяного сырья. В образцах верхового торфа связь степени разложения с составом и свойствами в большинстве случаев довольно тесная [2]. В низинном торфе тесных связей гораздо меньше. Определяющим является уже не степень разложения, а состав поглощенных катионов кальция.

Выполненные исследования (таблица) показали, что в верховом торфе связь между степенью разложения и свойствами брикетов более тесная, чем в низинном.

Таблица. Физико-механические свойства брикетов на основе торфа

Table. Physico-mechanical properties of peat-based briquettes

№ п/п	Показатель	Значения показателей	
		низинный торф	верховой торф
1	Прочность брикетов на изгиб, $\times 9,8 \cdot 10^5 \text{ н/м}^2$ при влажности		
	14 %	3,0–64,0 (29,1)	21,1–64,5 (39,2)
	20 %	4,3–50,5 (23,1)	10,4–63,6 (31,7)
2	Плотность брикетов, т/м^3 при влажности		
	14 %	0,864–1,295 (1,086)	0,898–1,215 (1,070)
	20 %	0,912–1,322 (1,104)	0,915–1,170 (1,058)
3	Водопоглощение, % при влажности 14 %	1,900–323,6 (117,7)	0,860–354,0 (55,7)

Связи показателей прочности брикетов на изгиб ($\sigma_{изг.}$), водопоглощения (B_{15}) и плотности ($\rho_{бр.}$) со степенью разложения для образцов брикетов из торфа верхового типа влажностью 14 % имеют коэффициенты корреляции: -0,39; -0,35; 0,13 соответственно. Для низинного торфа при тех же параметрах: -0,19; 0,16; 0,12.

В целом для торфа коэффициент корреляции между прочностью брикетов на изгиб и степенью разложения равен -0,32 с ошибкой $m_r = 0,093$. Уравнение имеет вид:

$$\sigma_{изг} = 43,3 - 0,33R \pm 12,9, (\times 9,8 \cdot 10^5 \text{ н/м}^2).$$

Опытные данные показывают, что с ростом степени разложения прочность на изгиб резко снижается для верхового торфа и меньше для низинного. Полученные зависимости прочности от степени разложения указывают, что при постоянной загрузке по массе определяющим является давление прессования, а не плотность отдельных частиц, слагающих брикет. Прочность брикетов из торфа [8] зависит от количества и качества связей между частицами и ассоциатами, из которых он состоит, а также от дефектов структуры.

Степень разложения оказывает существенное влияние на плотность торфяного сырья для брикетирования. Для верхового и низинного типов торфа коэффициент корреляции составляет 0,59. Уравнение регрессии имеет вид:

$$\rho_{тс} = 0,191 + 0,0041R \pm 0,096 (\times 10^3 \text{ кг/м}^3).$$

Следует отметить, что плотность торфяного сырья для брикетирования в диапазоне влажностей 14–20 % практически не меняется.

Полученные результаты по водопоглощению брикетов показали, что связь между водопоглощением фрезерного торфа верхового типа и степенью разложения близка к функциональной с коэффициентом корреляции 0,93. Практическое отсутствие связи водопоглощения и степени разложения для брикетов на основе торфа по сравнению с тесной связью между теми же показателями во фрезерном торфе объясняется неодинаковой исходной влажностью (сырья и фрезерной крошки) и, в особенности, разным механизмом поглощения влаги в брикетах и фрезерной крошке. Это различие определяется большей битуминозностью торфа.

В процессах структурирования брикетов на торфяной основе учитывалось склеивание растений-торфообразователей гумино-

выми и легкогидролизуемыми веществами в единую систему, то есть от относительной доли грубодисперсных и высокодисперсных фракций зависит целостность брикета. В исследованиях установлено, что повышение степени дисперсности торфа приводит к увеличению прочности брикетов, так как происходит равномерное распределение грубодисперсных и высокодисперсных фракций в объеме формируемой массы. Причем высокодисперсная фракция склеивает крупные отдельные частицы в одно целое. Увеличение прочности снижает водопоглотительную способность.

Физико-механические свойства брикетов увязываются с объективными показателями дисперсности, а именно, с содержанием фракций <250 мкм ($P_{<250}$). Наибольшее влияние на тесноту связи в верховом торфе оказывает фракция $P_{<250}$. Поэтому, чтобы характеризовать прочность от дисперсности, достаточно оперировать этими двумя значениями. Содержание фракций $P_{<250}$ определяется по данным ситового анализа, поэтому этот показатель предпочтительнее, особенно для прогнозной оценки.

В брикетах при сушке в диспергированном торфе возникают прочные и жесткие связи, определяющие деформируемость агрегатов [8]. Такие агрегаты имеют малую подвижность молекул, высокую вязкость, малую пластичность. Напряжения, возникающие в частицах, мало релаксируют, а после снятия внешней нагрузки будут возвращать накопленную за счет сил упругости энергию. Увеличение влажности снижает жесткость частиц, но одновременно увеличивается длина связей между ними. Последнее оказывает большое влияние на прочность, и она снижается.

В низинных видах торфа наиболее четко прослеживается связь между прочностью и дисперсностью при влажности 17 и 20 %. В целом по торфу $r = -0,47$, а уравнение регрессии имеет вид:

$$\sigma_{изг} = 73,5 - 0,515 P_{<250} \pm 12,8 (\times 9,8 \cdot 10^5 \text{ н/м}^2).$$

На водопоглощение брикетов из верхового торфа фракционный состав влияния не оказывает, но в низинном торфе оно увеличивается с ростом раздробленности торфяных частиц. В верховом торфе насыпная плотность сырья для брикетирования растет более заметно с увеличением содержания фракций <250 мкм. Плотность ее связана более тесной зависимостью с содержанием фракций менее 250 мкм:

$$\rho_{суш} = 0,167 + 0,0038 P_{<250} \pm 0,106 (\times 10^3 \text{ кг/м}^3).$$

Плотность брикетов связана слабой положительной зависимостью с дисперсностью исходного торфа. Водопоглощение брикетов верхового торфа находится в менее тесной связи с дисперсностью, чем прочность. Связь эта обратная для фракций <250 мкм. При $\omega = 14\%$ $r = -0,38$.

Водопоглощение (%) образцов торфа кроме механических факторов в значительной мере определяется компонентным и катионным составами (содержанием кальция):

$$B_v = 121,03 - 2,57 Ca^{2+} \pm 95,7$$

(верховой торф),

$$B_n = 0,37 Ca^{2+} + 66,55 \pm 38,0$$

(низинный торф).

Таким образом, проведенные исследования по влиянию качественных показателей на свойства брикетов показали, что наибольшее влияние (в пределах совокупности всех видов торфа) степень разложения оказывает на прочностные свойства, однако теснота этой связи незначительна. Влияние степени разложения на насыпную плотность торфяного сырья для брикетирования более тесное. В среднем при изменении степени разложения от 10 до 60 % можно ожидать уменьшения прочности примерно в 1,6 раза и увеличения плотности в 1,9 раза, что приведет к увеличению производительности пресса. Дисперсность более тесно, чем степень разложения, связана с прочностью и плотностью брикетов. Она легко измеряется и изменяется при

переработке, и ее можно рекомендовать в качестве основного показателя, характеризующего свойства торфяного сырья для брикетирования.

Библиографический список

1. Панов В.В., Мисников О.С. Современные тенденции развития торфяной отрасли России // Труды Инсторфа, 2015, № 11(64). С. 3–12.
2. Яблонев А.Л., Пухова О.В. Современные направления использования торфа // Вестник ТГТУ. 2010. № 17. С. 104.
3. Мисников О.С., Тимофеев А.Е. О рациональном использовании энергетических и минеральных ресурсов торфяных месторождений // Горный журнал, 2008, № 11. С. 59–63.
4. Мисников О.С., Тимофеев А.Е., Михайлов А.А. Анализ технологий разработки торфяных месторождений в странах дальнего и ближнего зарубежья // Горный информационно-аналитический бюллетень. М: МГГУ, 2011. № 9. С. 84–92.
5. Технический анализ торфа / Е.Т.Базин, В.Д.Копенкин, В.И.Косов, С.С.Корчунов. М.: Недра, 1992. 431 с.
6. Регель В.Р., Слуцкер А.И., Томашевский Э.Е. Кинетическая природа прочности твердых тел. М.: Наука, 1974. 560 с.
7. Afanas'ev A.E., Gamayunov S.N., Misnikov O.S. Structurization processes during of sapropels with varying ash content // Colloid Journal. 1999. Т. 61. № 3. С. 274–279.
8. Афанасьев А.Е., Чураев Н.В. Оптимизация процессов сушки и структурообразования в технологии торфяного производства. М.: Недра, 1992. 288 с.

УДК: 622.331+622.641

Михеев И.И.

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

Горячёв В.И.

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

Щербакова Д.М.

Щербакова Дарья Михайловна, ассистент кафедры гидравлики, теплотехники и гидропривода Тверского государственного технического университета.

АНАЛИЗ И ОБОСНОВАНИЕ ГЕОМЕТРИИ ФИЛЬТРОВАЛЬНЫХ ПОЛОТЕН ЛЕНТОЧНОГО ФИЛЬТР-ПРЕССА НЕПРЕРЫВНОГО ДЕЙСТВИЯ

Аннотация. Обезвоживание малоразложившегося торфа целесообразно проводить механическим обезвоживанием, в том числе в фильтр-прессах непрерывного действия. В статье дан анализ и обоснование геометрии фильтровальных полотен ленточного фильтр-пресса. Отмечены недостатки фильтровальных полотен, используемых в настоящее время. Разработана новая конструкция зубчатой цепи для изготовления фильтровальных полотен, геометрические параметры которой обеспечивают эффективную фильтрацию воды из отжимаемого материала и очистку поверхности фильтровального полотна в процессе работы без остановки фильтр-пресса. Предложенные решения позволяют увеличить давление на отжимаемый материал и скорость движения фильтровального полотна, что повышает производительность фильтр-пресса и качество получаемого продукта.

Ключевые слова: фильтр-пресс, механическое обезвоживание, давление, конструкция фильтровального полотна, геометрические параметры, скорость фильтрации, очистка цепи, производительность.

Mikheyev I.I.

Mikheyev Igor I., Associate professor of the Chair of Engineering Graphics of the Tver State Technical University.

Goryachyov V.I.

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

Scherbakova D.M.

Scherbakova Darya M., Assistant of the Chair of Hydraulics, Heat Engineering and Hydraulic Drive, Tver State Technical University.

ANALYSIS AND JUSTIFICATION OF GEOMETRY OF A FILTERING CLOTH OF A TAPE FILTER PRESS OF CONTINUOUS ACTION

Annotation. It is expedient to carry out dehydration of peat raw materials from the low-decayed peat with mechanical dehydration in filter presses of continuous action. In article the analysis and justification of geometry of filtering cloths of a tape filter press is given. Shortcomings of filtering cloths, now in use are noted. The new design of a gear chain is developed for production of filtering cloths which geometrical parameters provide effective filtration of water from the wrung-out material and cleaning of a surface of a filtering cloth in the course of work without stopping of a filter press. The proposed solutions allow increasing pressure upon the wrung-out material and speed of the movement of a filtering cloth that increases productivity of a filter press and quality of the received product.

Keywords: filter press, mechanical dehydration, pressure, design of a filtering cloth, geometrical parameters, filtration speed, cleaning of a chain, productivity.

Искусственное обезвоживание малоразложившегося торфа целесообразно осуществлять путем удаления основной массы воды механическим отжатием, в том числе, в фильтр-прессах непрерывного действия [1]. При этом важная роль отводится конструкции фильтровальных полотен, которые должны хорошо пропускать воду, не пропускать торф, быть прочными, недорогими, хорошо очищающимися [2].

Недостатком фильтровальных полотен, изготавливаемых на тканевой основе, является их малая прочность. Поэтому для обезвоживания таких материалов, к которым относится и малоразложившийся торф, требуются фильтровальные полотна, которые могут быть изготовлены, например, из зубчатых цепей типа В2х2 ГОСТ 13552-81 [3, 4]. Испытания фильтр-пресса ПЛР-3 показали [1], что зубчатая цепь является надежным тяговым рабочим органом, так как имеет большую разрушающую нагрузку. Однако при давлениях отжатия более 1,5 МПа щели забивались торфом, а при дальнейшем увеличении давления торф

продавливался через фильтрационные щели, что приводило к потере сухого вещества до 20–40 % [1]. Очистка щелей цепи от торфа промыванием водой и щеткой во время движения фильтровального полотна заметного эффекта не давала, что требовало остановки фильтр-пресса для очистки фильтровальных полотен.

Для устранения указанных недостатков фильтровального полотна разработана новая конструкция зубчатой цепи, в которой предусмотрена эффективная фильтрация воды из отжимаемого материала и очистка поверхности цепи и фильтрационных щелей в процессе работы без остановки фильтр-пресса [5].

Ниже дан анализ и обоснование геометрии фильтровального полотна из зубчатой цепи новой конструкции в сравнении с цепью В2х2 (рис. 1–5).

На рис. 1 показан общий вид фильтровального полотна из зубчатой цепи, которое состоит из рядом расположенных звеньев 1, выполненных из рядов пластин 2, последовательно соединённых между собой.

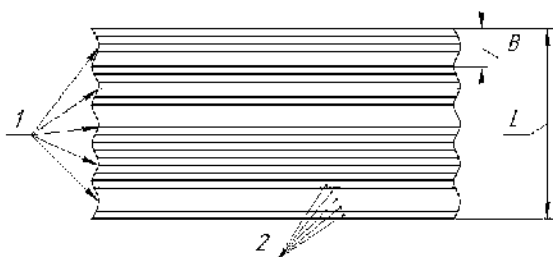


Рис. 1. Фильтровальное полотно, выполненное из зубчатой цепи: 1 – звенья, 2 – ряды

Fig. 1. The filtering cloth executed from a gear chain: 1 – links, 2 – ranks

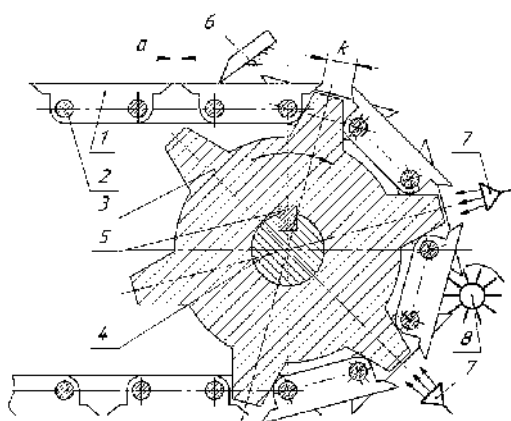
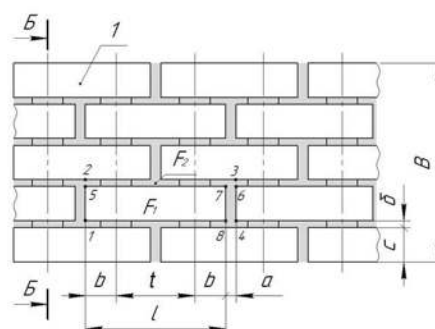


Рис. 2. Фильтровальное полотно, выполненное из цепи новой конструкции на приводном валу: 1 – пластина, 2 – валик, 3 – шестерня, 4 – вал приводной, 5 – шпонка, 6 – счищающий нож, 7 – форсунка, 8 – щётка

Fig. 2. The filtering cloth executed from a chain of a new design on driving to a shaft: 1 – plate, 2 – roller, 3 – gear wheel, 4 – power shaft, 5 – spline, 6 – cleaning-off knife, 7 – nozzle, 8 – brush



Б-Б (повернуто)

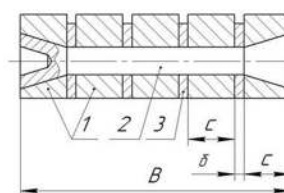


Рис. 3. Звено фильтровального полотна новой конструкции: вид сверху на звено и его поперечный разрез Б-Б; 1 – пластины, 2 – валик, 3 – шайба (затемнены фильтрационные щели)

Fig. 3. Link of a filtering cloth of a new design: the top view on a link and its cross-section of B-B; 1 – plates, 2 – roller, 3 – washer (filtrational cracks are darkened)

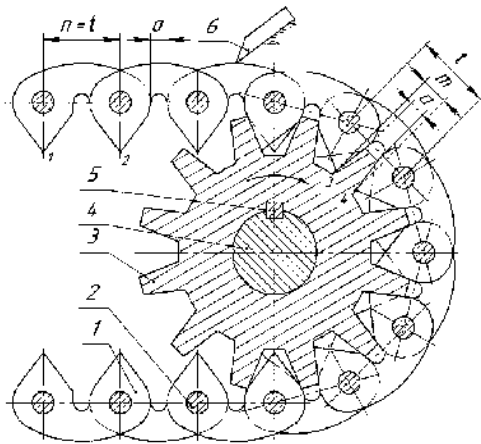


Рис. 4. Фильтровальное полотно, выполненное из цепи существующей конструкции по ГОСТ 13552-81 на приводном валу: 1 – пластина, 2 – валик, 3 – шестерня, 4 – вал приводной, 5 – шпонка, 6 – счищающий нож

Fig. 4. The filtering cloth executed from a chain of the existing design in accordance with GOST 13552-81 on driving to a shaft: 1 – plate, 2 – roller, 3 – gear wheel, 4 – power shaft, 5 – spline, 6 – cleaning-off knife

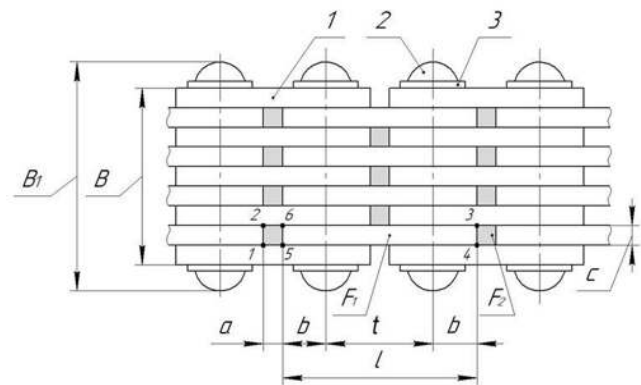


Рис. 5. Вид сверху на звено фильтровального полотна существующей конструкции: 1 – пластина, 2 – валик, 3 – шайба (затемнены фильтрационные щели)

Fig. 5. The top view on a link of a filtering cloth of the existing design: 1 – plate, 2 – roller, 3 – washer (filtrational cracks are darkened)

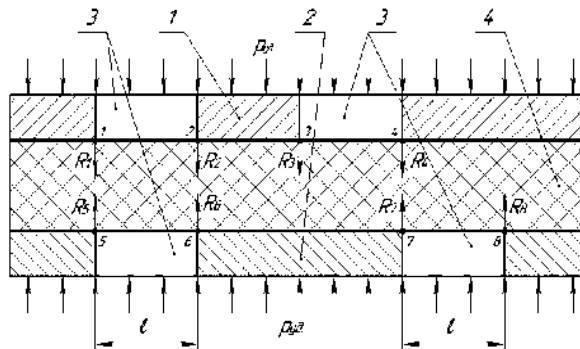


Рис. 6. Схема воздействия давления отжатия на слой торфа в фильтр-прессе: 1 – верхнее фильтровальное полотно, 2 – нижнее фильтровальное полотно, 3 – фильтрационные щели, 4 – отжимаемый слой торфа

Fig. 6. The scheme of influence of pressure on a peat layer in a filter press: 1 – top filtering cloth, 2 – lower filtering cloth, 3 – filtrational cracks, 4 – pressed peat layer

Таблица 1. Геометрические параметры элементов цепей фильтровальных полотен (рис. 3, 5)

Table 1. Geometric parameters of the elements of the chains of filter sheets (Fig. 3, 5)

Цепи фильтровальных полотен	t, мм (шаг цепи)	с, мм (ширина пластины)	b, мм (радиус закругления пластины)	l, мм (длина пластины)	Фильтрационные щели		В, мм (ширина звена по пластинам)
					а, мм (продольная фильтрационная щель между пластинами)	δ, мм (поперечная фильтрационная щель между пластинами)	В ₁ , мм (ширина звена по валикам)
Новой конструкции	31,75	10,00	15,30	62,35	1,15	1,22	77-122 77-122
ГОСТ 13552-81	31,75	3,00	11,91	55,57	7,93	-	75-129 85-139

Таблица 2. Соотношения площадей F и периметров P элементов цепей фильтровальных полотен (рис. 3, 5)

Table 2. The ratio of areas F and the perimeters of the P elements of the chains of filter cloths (Fig. 3, 5)

Цепи фильтровальных полотен	Площади F элементов цепей фильтрационных полотен (* - цифрами обозначены точки контура каждой площади F ₁ , F ₂ и F _{ед})				Периметры P элементов цепей фильтровальных полотен (* - цифрами обозначены точки каждого периметра P _{ед} , P _{пл} и P _щ)			
	F ₁ , мм ² (площадь пластины)	F ₂ , мм ² (площадь щели)	F _{ед} = F ₁ + F ₂ , мм ² (еди- ничная пло- щадь)	F _{ед}	P _{ед} , мм (по контуру единичной площади)	P _{пл} , мм (по конту- ру пласти- ны)	P _щ , мм (по контуру щели)	P _{ед}
Новой конструкции	623,5 (*1, 5, 7, 8, 1, рис. 3)	89,0 (*2, 3, 4, 8, 7, 5, 2, рис. 3)	712,5 (*1, 5, 2, 3, 6, 4, 8, 1. рис. 3)	12,5	149,44 (*1, 5, 2, 3, 6, 4, 8, 1, рис. 3)	144,7 (*1, 5, 7, 8, 1, рис. 3)	149,44 (*2, 3, 6, 4, 8, 7, 5, 2, рис. 3)	100
ГОСТ 13552-81	166,7 (*3, 4, 5, 6, 3, рис. 5)	23,8 (*1, 2, 6, 5, 1, рис. 5)	190,5 (*1, 2, 6, 3, 4, 5, 1, рис. 5)	12,5	133,00 (*1, 2, 6, 3, 4, 5, 1, рис. 5)	117,14 (*3, 4, 5, 6, 3, рис. 5)	21,86 (*1, 2, 6, 5, 1, рис. 5)	16,4

В табл. 1, 2 и рис. 3, 5 приведены геометрические параметры элементов цепей фильтровальных полотен. Шаг цепи новой конструкции равен шагу стандартной цепи $t = 31,75$ мм. Площадь фильтрационных щелей в процентном отношении к поверхности фильтровального полотна в новой цепи также равна стандартной цепи 12,5 %.

Геометрия фильтровального полотна новой зубчатой цепи содержит принципиальные отличия от стандартной цепи (рис. 2–5).

Во-первых, пластины полотна выполнены плоскими, в результате чего с плоской поверхности фильтровального полотна отжатый материал полностью счищается ножом (рис. 2). В существующей цепи нож не может полностью счистить отжатый материал с поверхности фильтровального полотна, так как наружная поверхность пластин выполнена в продольном направлении по дуге, что приводит к запрессовыванию частиц торфа в щель между пластинами (рис. 4).

Во-вторых, фильтрационные щели в новой цепи охватывают по периметру каждую пластину со всех сторон, т. е. на 100 % (табл. 2). При этом максимальное расстояние фильтрации равно половине ширины пластины $c/2 = 5$ мм (рис. 3, табл. 1).

В существующей цепи фильтрационные щели расположены фрагментарно. При этом максимальное расстояние фильтрации равно радиусу закругления пластины $v = 11,91$ мм (рис. 5, табл. 1), а периметр щелей составляет только 16,4 % от периметра пластины (табл. 2).

Таким образом, максимальное расстояние фильтрации новой цепи в 2,4 раза меньше, чем у стандартной цепи, что сокращает время фильтрации. Это позволяет

увеличить скорость движения отжимаемого продукта и, как следствие, повысить производительность фильтр-пресса.

В-третьих, при огибании приводного вала концы пластин новой конструкции расходятся между собой. При этом увеличивается расстояние между ними от «а» до «к», что позволяет эффективно очищать поверхность цепи форсунками и щёткой во время движения цепи (рис. 2).

В существующей цепи при горизонтальном её движении расстояние между концами её двух соседних пластин (точки 1 и 2) равно шагу пластин, т. е. $n = t$ (рис. 4). При огибании цепью приводного вала концы пластин сближаются между собой (точки 3 и 4), при этом расстояние между ними уменьшается и становится равным $m < t$, что приводит к заземлению частиц торфа между пластинами и зубьями шестерён приводного вала (рис. 4). Это не позволяет эффективно очищать поверхность фильтрационного полотна во время его движения, что требует остановки фильтр-пресса для его очистки.

В-четвёртых, ширина B звена новой цепи по пластинам и валикам одинакова и равна $B = 77–122$ мм (рис. 3, табл. 1), что позволяет устанавливать звенья вплотную друг к другу, т. е. без зазоров.

В стандартной цепи ширина B звена цепи по пластинам равна 75–129 мм, а по валикам B_1 85–139 мм. Таким образом, при компоновке фильтровального полотна между звеньями образуется продольный зазор на всю длину полотна, равный $B_1 - B = 10$ мм, через который продавливаются торфяные частицы. Это также приводит к забиванию щелей и снижает производительность фильтр-пресса.

В-пятых, новая цепь позволяет существенно увеличить давление отжима без продавливания торфа через фильтрационные щели. При этом увеличение давления повышает скорость фильтрации. На рис. 6 схематично показан поперечный разрез участка фильтровального полотна. Из рисунка видно, что удельная нагрузка $p_{уд}$ от гидроцилиндра равномерно распределена на фильтровальные полотна 1 и 2, а через них на отжимаемый слой торфа 4. При этом фильтрационные щели 3 могут располагаться как напротив друг друга, так и со смещением. В точках 1–8 действуют реакции R_1 – R_8 , являющиеся срезающими силами на слой торфа 6 [6]:

$$R_i = \frac{p_{уд} \cdot l}{2},$$

где $p_{уд}$ – удельная нагрузка на фильтровальное полотно, l – ширина фильтрационных щелей. Из выражения видно, что чем меньше l , тем большую удельную нагрузку p можно приложить без увеличения значения реакции R_i . В новой цепи ширина фильтрационной щели равна $l = \delta = 1,22$ мм, а в стандартной цепи ширина щели равна $l = c = 3$ мм (рис. 3, 5). Следовательно, удельную нагрузку p для новой цепи можно увеличить в 2,46 раза, что, как было отмечено выше, ускоряет время фильтрации.

Выводы

1. При искусственном обезвоживании торфяного сырья из малоразложившегося торфа в фильтр-прессах непрерывного действия большая роль отводится конструкции фильтровальных полотен, которые должны хорошо пропускать воду, не пропускать торф, быть прочными, недорогими, хорошо очищающимися.
2. Недостатком фильтровальных полотен на тканевой основе является их малая прочность. В фильтровальных полотнах из зубчатых цепей при давлениях отжатия более 1,5 МПа частицы торфа продавливаются через фильтрационные щели, что приводит к потере сухого вещества до 20–40 %. Для очистки цепи требуется остановка фильтр-пресса.
3. Для устранения недостатков фильтровальных полотен разработана новая конструкция зубчатой цепи, геометрические параметры которой обеспечивают эффективную фильтрацию воды из отжимаемого материала и очистку поверхности фильтровального полотна без остановки фильтр-пресса.
4. Предложенная новая геометрия фильтровального полотна фильтр-пресса уменьшает время отжима и потери отжимаемого материала, что повышает производительность фильтр-пресса и качество получаемого продукта.

Библиографический список

1. Справочник по торфу / М., Недра, 1982. С. 434–435.
2. Горячев В.И. Искусственное обезвоживание торфа: монография / В.И. Горячев. Тверь: ТвГТУ, 2012. 184 с.
3. Тараторин Л.В. Механическое обезвоживание верхового слаборазложившегося торфа в ленточно-роликовом прессе непрерывного действия. Сборник тезисов докладов молодых специалистов ВНИИТП на научно-технической конференции «Изменения физико-механических свойств торфа для комплексного его использования», Л, 1973, С. 21–23.
4. Краткий справочник машиностроителя под редакцией Чернавского С.А., Машиностроение, М, 1966. 798 с.
5. Горячев В.И., Михеев И.И., Шербакова Д.М. Ленточный фильтр-пресс непрерывного действия для обезвоживания малоразложившегося торфа с очищающимися фильтрованными полотнами. Социально-экономические и экологические проблемы горной промышленности, строительства и энергетики: сборник научных трудов и материалов 14 Международной конференции по проблемам горной промышленности, строительства и энергетики. Тула: ТГУ. 2018. С. 124–130.
6. Биргер И.А. Соппротивление материалов / И.А. Биргер, Р.Р. Мавлютов, «Наука», М, 1986. 560 с.

УДК 635.5:579.62

Томсон А.Э.*

Соколова Т.В.*

Навоша Ю.Ю.*

Сосновская Н.Е.*

Пехтерева В.С.*

Зюзин Б.Ф.*

Tomson A.E.*

Sokolova T.V.*

Navoscha Yu.Yu.*

Sosnovskaya N.E.*

Pehtereva V.S.*

Zuzin B.F.*

СОРБЕНТЫ НА ОСНОВЕ ТОРФА КАК КОМПОНЕНТ ПОДСТИЛКИ ПРИ НАПОЛЬНОМ СОДЕРЖАНИИ ЦЫПЛЯТ- БРОЙЛЕРОВ

Аннотация. Изучены физико-химические (степень разложения, размер частиц, насыпная плотность) и сорбционные свойства торфа по отношению к воде, аммиаку и сероводороду и научно обоснованы основные требования к торфяному сырью для получения сорбентов с целью применения в качестве компонента для глубокой подстилки при напольном содержании цыплят-бройлеров. Исходное сырье – торф верхового типа низкой или средней степени разложения с размером частиц более 3 мм. Производственные испытания сорбционных материалов показали, что в опытном птичнике падеж птицы снизился в среднем на 75 %, средний вес птицы увеличился на 7,8 %, потери птицы на санитарном убое снизились на 30 %.

Ключевые слова: торф, степень разложения, сорбент, подстилка, цыплята-бройлеры.

PEAT BASED SORBENTS AS A COMPONENT OF THE LITTER FOR GROWING CHICKEN-BROILERS

Abstract. The physicochemical (degree of decomposition, particle size, bulk density) and sorption properties of peat in relation to water, ammonia and hydrogen sulphide were studied and the main requirements for peat raw materials for obtaining sorbents were scientifically substantiated for use as a component of deep litter for growing chicken-broilers. The feedstock – raised peat of low or medium degree of decomposition with particle size of more than 3 mm. Production tests of sorption materials showed that in an experimental poultry house the death rate of birds decreased by an average of 75 %, the average weight of a bird increased by 7,8 %, and the loss of poultry due to sanitary slaughter decreased by 30 %.

Keywords: peat, degree of decomposition, sorbent, litter, chicken-broilers.

* Сведения об авторах приведены в конце статьи

Основными требованиями к подстилочному материалу при напольном выращивании бройлеров являются способность поглощать дурнопахнущие газообразные вещества и его влагопоглощающая способность, рыхлость, низкая теплопроводность при использовании в птичниках с необогреваемыми полами, отсутствие бактерий и микроскопических грибов. В качестве подстилки в основном используют дефицитные и дорогие древесные опилки и стружку. В связи с этим поиск эффективных материалов для использования в качестве подстилки либо одного из ее компонентов становится актуальным.

Нами предлагается использование сорбентов на основе гранулированного торфа в качестве компонента подстилочного материала при напольном содержании птицы.

Способность поглощать и удерживать влагу является одним из важнейших свойств глубокой подстилки. Для различных материалов, в зависимости от природы, строения и физико-химических свойств, этот параметр может колебаться в довольно широких пределах. Так, влагоемкость традиционно используемых в качестве подстилочного материала древесных опилок составляет: для сосновых опилок – 370 %, еловых – 490 %, березовых – 520 %. Для ржаной и пшеничной соломы влагоемкость равна 450 %. Величина влагоемкости или водопоглощения для разных видов торфа может существенно отличаться друг от друга. Для торфа различного типового и видового состава этот показатель колеблется в широких пределах. Наивысшей влагоемкостью обладает верховой торф моховой группы с низкой степенью разложения. Водопоглощение его в расчете на абсолютно сухое вещество достигает 1000–1800 %, в низинном торфе она равна 300–500 %.

Установлено, что наибольшей сорбционной способностью по отношению к воде обладают малоразложившиеся представители моховой группы с губчатой структурой, содержащие большое количество не распавшихся растительных клеток. Величина водопоглощения для этих видов торфа изменяется от 1300 до 2400 %.

Изучение влияния дисперсности материала на водопоглощение проводилось на узких фракциях образцов торфа различного видо-

вого состава с размером частиц <0,5; 0,5–1,0; 1,0–2,0 и 2,0–3,0 мм, с увеличением размеров частиц растет величина поглощения воды.

Установлено, для получения высокоэффективной подстилки необходимо выбирать в качестве исходного материала торф верхового типа, низкой или средней степени разложения, с размерами частиц более 3 мм. Одним из основных способов добычи торфа промышленным методом в настоящее время является получение торфяной крошки путём фрезерования верхнего слоя торфяной залежи. Анализ дисперсного состава фрезерного торфа некоторых торфопредприятий Беларуси показал, что добытый таким способом торф содержит более 50 % пылевидной фракции ≤0,5 мм. С учетом повышенных требований к содержанию пыли в воздушной среде птичников, использование торфа, добытого фрезерным способом, в качестве компонента глубокой подстилки нецелесообразно, поэтому в качестве добавки в глубокую подстилку следует использовать гранулированный торф.

Важнейшим свойством торфа является его сорбционная способность по отношению к токсичным газообразным загрязнителям – аммиаку и сероводороду, присутствующим в посещениях для содержания птиц.

В таблице приведены полученные нами данные по поглотительной способности сорбционных материалов на основе торфа различного типового и видового состава по отношению к аммиаку и сероводороду.

Как следует из представленных данных, образцы верхового торфа поглощают газообразный аммиак несколько лучше образцов низинного. Отмечается также корреляционная зависимость динамической сорбционной емкости от степени разложения. С ростом степени разложения растет поглотительная способность образцов на основе как верхового, так и низинного торфа, что предполагает основное участие гуминового комплекса в сорбционных процессах. При поглощении из газовой смеси сероводорода адсорбционными материалами на основе торфа столь прямой корреляционной зависимости от степени гумификации исходного материала не наблюдается, что свидетельствует о более сложном механизме взаимодействия сероводорода с органоминеральным комплексом торфа.

Таблица. Поглощение аммиака и сероводорода сорбентами на основе торфа

Table. The absorption of ammonia and hydrogen sulphide peat based sorbents

Тип торфа	Вид торфа	Степень разложения, %	Поглощение аммиака, % на навеску	Поглощение сероводорода, % на навеску
Верховой	Фускум	15–20	14,2	7,4
	Магелланикум	20–25	15,6	–
	Пушицевый со сфагновыми мхами	30–35	16,9	4,6
	Пушицевый	35–40	18,7	6,8
	Сосново-пушицевый	40–45	20,1	–
Низинный	Осоковый	15–20	13,1	5,8
	Осоковый с тростником	25–30	14,5	6,2
	Тростниково-осоковый	40–45	16,1	2,0

Для изучения механизма взаимодействия аммиака и сероводорода с торфом использовались методы ИК- и ЭПР-спектроскопии, применение которых позволило сделать вывод о существовании трех основных механизмов поглощения газообразного аммиака торфом: 1 – ионообменный, 2 – растворение в капиллярной влаге и 3 – формирование молекулами аммиака водородных и донорно-акцепторных связей с фрагментами полимерной матрицы торфа, а поглощение сероводорода возможно связано как с окислительно-восстановительными процессами, протекающими в системе сорбент-сорбат, так и с внедрением сульфид-иона в алифатические структуры органического вещества торфа [1].

Существенным фактором, влияющим на степень поглощения аммиака торфяными сорбентами, является влажность исходного материала. Результаты исследования поглощения аммиака образцами пушицевого торфа ($R = 40\text{--}45\%$) демонстрируют закономерный рост сорбционной емкости с увеличением влагосодержания материала. У торфа, находящегося в глубокой подстилке птичника, т. е. в среде постоянного естественного увлажнения, по мере впитывания влаги наблюдается улучшение сорбционных свойств по отношению к дурнопахнущим веществам птичника. Необходимо отметить, что исследование поглощения аммиака целлюлозосодержащими материалами на модельных системах в области концентраций, соответствующих содержанию аммиака в воздушной среде птичников, показало, что эти материалы не способны поглощать и связывать аммиак за счет протекания хемосорбционных процессов в силу особенностей своего строения.

В результате исследований, проведенных в Институте природопользования, установлена высокая биоцидная активность торфа, обусловленная в значительной степени наличием в химическом составе фенольных соединений [2]. Проведенное тестирование биоцидной (антисептической) активности образцов пушицево-сфагнового торфа ($R = 20\text{--}25\%$) и некоторых препаратов на его основе по отношению *Streptococcus sp.* зафиксировало очень высокую биоцидную активность тестируемых образцов по подавлению деятельности бактерий рода *Streptococcus sp.* Скорость размножения бактерий *Streptococcus sp.* на исследуемых образцах торфа снизилась более чем в 150 раз.

Таким образом, проведенная оценка физико-химических свойств (степень разложения, размер частиц, насыпная плотность, водопоглощение, сорбционная способность, биоцидная активность) разных видов торфа с точки зрения возможности их применения в качестве активного компонента в подстилку при клеточном содержании цыплят-бройлеров, показала, что наиболее пригодными для создания сорбента являются торфы моховой группы верхового типа с невысокой и средней степенью разложения. На основе этих торфов и был создан сорбционный материал.

Производственные испытания торфяных сорбционных материалов проводились в двух птичниках при одинаковой системе содержания в контрольном и опытном птичниках. В опытном птичнике поверх древесных опилок равномерно рассыпался специально подготовленный торфяной сорбент, который потом заделывался в опилки. На 30 тыс. голов цыплят-бройлеров в традиционную опилочную подстилку вводили от 5 до 10 % торфяного сорбента. Сравнивая основные производственные показатели контрольного и опытного птичников, можно сделать вывод о высокой эффективности использования сорбента в качестве добавки в подстилку. В опытном птичнике на 75 % снизился падеж птицы, на 8,7 % увеличился средний вес птицы, на 30 % снизились потери птицы на санитарном убое, причем, в конце откорма, когда максимальны потери качественной продукции.

Таким образом, обобщая полученные материалы исследований и производственных испытаний, можно сделать вывод, что повышенная поглотительная способность торфа по отношению к влаге и аммиаку в сочетании с его выраженными антисептическими свойствами делает его весьма перспективным материалом для использования в качестве сорбента в глубокой подстилке на птицефабриках с напольным содержанием птицы.

Библиографический список

1. A.R. Tsyganov, A.E. Tomson, V.P. Strigutskiy [et al.] Mechanism of ammonia immobilization by peat and obtaining of peat-based sorbent. Chemistry and Technology of Plant Substances. Canada. 2017. P. 133–137.
2. A.A. Khrpovich, N.E. Sosnovskaya, S.V. Parmon Influence of peat chemical composition and structure of organic substances on its biocidal properties. Physical, Chemical and Biological Processes in Soils. Poznan. 2010. P. 297–304.

Сведения об авторах

Томсон Алексей Эммануилович, к. х. н., доцент, заместитель директора Института природопользования НАН Беларуси. Беларусь, 220114, г. Минск, ул. Ф. Скорины, д. 10. altom@ecology.basnet.by.

Соколова Тамара Владимировна, к. т. н., доцент, с. н. с. лаборатории экотехнологий Института природопользования НАН Беларуси. Беларусь, 220114, г. Минск, ул. Ф. Скорины, д. 10. tomsok49@tyt.by.

Навоша Юльян Юльянович, к. ф.-м. н., в. н. с. лаборатории экотехнологий Института природопользования НАН Беларуси. Беларусь, 220114, г. Минск, ул. Ф. Скорины, д. 10. navoscha@tut.by.

Сосновская Наталия Евгеньевна, к. т. н., с. н. с. лаборатории экотехнологий Института природопользования НАН Беларуси, Беларусь. 220114, г. Минск, ул. Ф. Скорины, д. 10. natalisosnov@mail.ru.

Пехтерева Виктория Станиславовна, н. с. лаборатории экотехнологий Института природопользования НАН Беларуси. Беларусь, 220114, г. Минск, ул. Ф. Скорины, д. 10. pehvik@yandex.ru.

Зюзин Борис Федорович, д-р техн. наук, профессор, проректор по международным связям Тверского государственного технического университета. Россия, 170026, г. Тверь, наб. Аф. Никитина, 22. zbfu@jandex.ru.

Tomson Alexey E., Ph.D. (Chemistry) Assistant Professor, Deputy Director Institute for Nature Management of National Academy of Sciences of Belarus.

Sokolova Tamara V., Ph.D. (Technical) Assistant Professor, Senior Researcher Institute for Nature Management of National Academy of Sciences of Belarus.

Navoscha Yulian Yu., Ph.D. (Phys.-Math.) Leading Researcher Institute for Nature Management of National Academy of Sciences of Belarus.

Sosnovskaya Nataliya E., Ph.D. (Technical) Senior Researcher, Institute for Nature Management of National Academy of Sciences of Belarus.

Pehtereva Victoriya S., Researcher, Institute for Nature Management of National Academy of Sciences of Belarus.

Zuzin Boris F., D.Sc. (Technical), Professor, Vice Rector for International Communications Tver State Technical University.

УДК 631.812

Макеенко А.А.

Макеенко Александр Александрович, аспирант, младший научный сотрудник лаборатории экотехнологий, Институт природопользования НАН Беларуси, Минск. makeenko1507@mail.ru.

БЕЗОТХОДНОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПРОДУКТОВ ХИМИЧЕСКОЙ ДЕСТРУКЦИИ ТОРФА ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ ГУМИНОВЫХ ПРЕПАРАТОВ

Аннотация. Как известно, современные технологии производства гуминовых препаратов базируются в основном на глубокой химической переработке торфа, подвергая его окислительной или гидролитической деструкции в присутствии щелочных реагентов. В ближайшие годы в Республике Беларусь будут расширяться объемы выпуска гуминовых препаратов, что требует решения проблемы утилизации побочных продуктов (твердых остатков), образующихся при их производстве. Изучению состава и свойств твердых остатков исследователи ранее не уделяли должного внимания, а в настоящее время безотходное использование самого торфа стало неотложной задачей, как в экологическом, так и в экономическом плане. В данной статье представлена возможность применения твердых остатков производства гуминовых препаратов в качестве упрочняющей добавки для формованного древесного топлива.

Ключевые слова: торф, химическая переработка, гуминовые препараты, твердые остатки, пеллеты.

Makeyenko A.A.

Makeyenko Alexander A., PhD student, Junior Researcher of Ecotechnology Laboratory, Institute for Nature Management of the National Academy of Sciences of Belarus.

WASTELESS USE OF PEAT CHEMICAL DESTRUCTION PRODUCTS OF HUMIC PREPARATIONS PRODUCTION

Annotation. As is known, modern technologies for the humic preparations production are based mainly on the deep peat chemical processing, exposing it to oxidative or hydrolytic degradation in the presence of alkaline reagents. In the coming years, the volume of production of humic preparations will increase in the Republic of Belarus, which requires solving the problem of utilization of by-products (solid residues) generated during their production. Researchers have not previously paid due attention to the study of the composition and properties of solid residues, and now wasteless use of peat itself has become an urgent task, both in ecological and economical terms. This article presents the possibility of using solid residues of the humic preparations production as a reinforcing additive for wood molded fuel.

Keywords: peat, chemical processing, humic preparations, solid residues, pellets.

Одним из важных природных ресурсов Беларуси является торф. По данным геологической разведки торфяных месторождений, общие его запасы составляют около 4 млрд тонн. Обращает на себя внимание видовое разнообразие торфа, который представлен более чем 40 ботаническими видами, различающимися большим разнообразием по химическому составу и свойствам [1].

Основным направлением использования торфа в Республике Беларусь как источника энергии остается его заготовка на топливо (фрезерная крошка, брикеты, мелкокусковой торф). Однако, учитывая его неконкурентоспособность по сравнению с природным газом, его роль как топлива снизилась. При этом сфера его применения в нетопливных целях заметно расширяется за счет приготовления на его основе новых видов грунтов, обогащенных минеральными макро- и микроэлементами, мелиорантов, гранулированных форм торфо-минеральных удобрений, кассет для рассады, сорбентов различного назначения и др. [2].

Стоит отметить тот факт, что торф в республике все чаще привлекает внимание как сырье для химической переработки, учитывая, что он является богатым источником органических веществ, не уступая растительному сырью. При этом органическое вещество торфа представлено пектинами, гемицеллюлозами, целлюлозой, лигнином, битумами. В этой связи эффективное использование его органических компонентов связано с деструкцией торфа, позволяющее выделить его основные компоненты, используя экстракцию органическими растворителями, его гидролиз минеральными кислотами, окисление в щелочной среде, термолит, а также методы механической деструкции. Кроме органических соединений растительного происхождения, он включает в свой химический состав соединения гуминовой природы, образующиеся в процессе формирования торфяных залежей. Гуминовые вещества могут быть представлены в торфе в количестве до 50 % от его органической массы [3].

Институтом природопользования НАН Беларуси (ранее Институт торфа АН БССР) разработаны эффективные способы и технологические основы получения из торфа гуминовых препаратов с использованием методов его окислительно-гидролитической деструкции. Они способствуют снижению молекулярной массы гуминовых кислот, повышению их биологической активности, а также пополняют целевые продукты широкой гаммой аминокислот, карбоновых кис-

лот, низкомолекулярных фенольных соединений, обладающих антиоксидантными свойствами.

Проведенная совместно с НИИ аграрного профиля широкая производственная проверка гуминовых препаратов как регуляторов роста растений выявила их положительное влияние на основные процессы роста и развития различных сельскохозяйственных культур. Учитывая эффективность таких препаратов при применении на практике и экологическую безвредность по санитарно-гигиеническим показателям, разработанные в Беларуси гуминовые препараты «Оксидат торфа», «Гидрогумат», «Оксигумат», «Гуморост» разрешены к применению в сельском хозяйстве на территории республики, включая зону земледелия с повышенным радиоактивным фоном [4].

В большинстве административных областей республики осуществляется выпуск указанных гуминовых препаратов на мобильных промышленных установках, позволяющих производить целевые продукты в объеме от 300 до 600 тонн в год.

Важно сообщить, что в последние годы ассортимент биологически активных препаратов существенно расширяется за счет разработки и организации выпуска новых гуматсодержащих кормовых добавок для животноводства («ИПАН», «Эколин»), птицеводства («Гумосил»), а также консервантов влажного зерна (препарат «Гумоплюс») и зеленых силосуемых кормов (препараты «Консил» и «Консил-Уни»), а ранее разработанные регуляторы роста растений «Гидрогумат» и «Оксигумат» рекомендованы к использованию в качестве добавок к новым формам азотных, фосфорных, калийных и комплексных минеральных удобрений, выпускаемых в Беларуси [3, 5–6].

Учитывая возможность появления новых малотоннажных производств гуминовых препаратов, в чем заинтересован малый бизнес, а также намечаемый к созданию крупный комбинат по комплексной глубокой переработке торфа на базе одного из торфяных месторождений (Туршовка-Чертово), с получением широкой гаммы другой востребованной торфяной продукции возникает неотложная задача утилизации твердых остатков, образующихся в производстве [7].

Для определения величины потерь исходного торфа на существующих опытно-промышленных установках по получению гуминовых препаратов были выполнены расчеты по определению выхода твердой фазы, образующейся после центрифугирования, с последующим определением содер-

жания в этом остатке органической массы.

Как и следовало ожидать, большие потери органических соединений, которые не перешли в жидкую фазу (целевой продукт), были установлены для производства «Оксидата торфа» и «Гумовета», что обусловлено использованием в процессе окисления торфа как реагента водного аммиака. Потери при этом составляют до 35 % в расчете на органическую массу исходного торфа. В то же время применение натриевой щелочи в производстве «Оксигумата» и «Гидрогумата» способствует более глубокой деструкции компонентов торфяного сырья и позволяет получать гуминовые препараты с меньшими потерями (22–25 %).

Таким образом, было установлено, что потери органического вещества торфа с твердым остатком являются значительными. К сожалению, изучению состава и

свойств твердых остатков исследователи ранее не уделяли должного внимания, а в настоящее время безотходное использование самого торфа стало неотложной задачей, как в экологическом, так и в экономическом плане.

Целью дальнейшей работы был отбор твердых остатков на четырех опытно-промышленных установках, осуществляющих производство гуминовых препаратов на основе торфа. Исходя из проведенной органолептической оценки, остатки представляют собой вязко-волоконистую массу темно-коричневого цвета с запахом щелочи или аммиака (в зависимости от используемого реагента в процессе переработки торфа).

Были определены физико-химические характеристики отобранных твердых остатков, результаты представлены в таблице 1.

Таблица 1. Физико-химическая характеристика побочных продуктов производства гуминовых препаратов

Table 1. Physico-chemical characteristics of the by-products of the production of humic preparations

Показатели	Побочные продукты			
	«Гидрогумат»	«Оксигумат»	«Оксидат торфа»	«Гумовет»
Влажность, %	78,3	80,7	85,1	68,0
Зольность, %	5,48	4,23	5,09	1,01
pH водной вытяжки	8,98	8,82	8,89	9,06
Плотность, г/см ³	1,12	1,11	1,08	1,16

Как видно из указанной таблицы, относительная влажность «Гидрогумата», «Оксигумата» и «Оксидата торфа» находилась в пределах 78–85 %, в то время как для «Гумовета» – 68 %. Невысокое содержание минеральных веществ, судя по зольности, находилось в пределах 4,23–5,48 % для первых трех препаратов. Содержание золы – 1 %, что обусловлено использованием малоразложившегося, менее минерализованного сфагнового торфа. Активная кислотность, выраженная в единицах pH, находилась в пределах 8,82–9,06, то есть практически на одном уровне. Плотность составляла от 1,08 до 1,16 г/см³.

Лабораторией экотехнологий Института природопользования НАН Беларуси научно обоснована и экспериментально подтверждена перспективность включения в формуемую древесную массу твердых остатков, образующихся при производстве гуминовых препаратов из торфа.

Исследование компонентного состава твердых остатков показало, что их органическая масса представлена преимуще-

ственно лигнином, высокомолекулярными соединениями гуминовой природы, а также битумами. Важно отметить, что такие компоненты, согласно литературным данным, обладают связующими свойствами и могут оказывать положительное воздействие на прочностные показатели различных композиционных материалов. Поэтому были проведены поисковые исследования по возможности использования данных побочных продуктов, образующихся при получении гуминовых препаратов, в качестве упрочняющих добавок к древесному формуемому топливу.

Для этого в лабораторных условиях кафедры химической переработки древесины БГТУ были изготовлены древесные топливные гранулы (пеллеты) с добавлением твердого остатка производства препарата «Оксидат торфа», а также определены физико-механические показатели пеллет (плотность, предел прочности при изгибе, стойкость к истиранию). Результаты проведенных испытаний представлены в таблице 2.

Таблица 2. Физико-механические показатели пеллет

Table 2. Physico-mechanical parameters of pellets

Показатели	Без добавки	С добавкой
Стойкость к истиранию (содержание неразрушенных пеллет), %	95,53	97,78
Плотность, г/см ³	1,056	1,053
Разрушающее усилие, Н	78,50	93,75
Предел прочности при изгибе, МПа	6,71	8,95

Можно сделать вывод, что использование побочных продуктов переработки торфа в топливных гранулах (пеллетах) является перспективным направлением утилизации, что обусловлено увеличением прочности при изгибе и стойкости к истиранию древесного формованного топлива.

Библиографический список

1. Полезные ископаемые Беларуси / Гудак С.П., Синичкина А.М., Хомич П.З. Минск: Адукацыя, выхаванне, 2002. 527 с.
2. Торф в решении проблем энергетики, сельского хозяйства и экологии / А.Э. Томсон, Т.В. Соколова, Н.Е. Сосновская, В.С. Пехтерева. Минск: Тонпик, 2006. С. 391.
3. Торф и продукты его переработки / А.Э. Томсон, Г.В. Наумова. Минск: Беларуская навука, 2009. С. 257–264.
4. Государственный реестр средств защиты растений (пестицидов) и удобрений, разрешенных к применению на территории Республики Беларусь / Министерство сельского хозяйства и продовольствия РБ, Минск, 2017. «Бизнесофсет». 543 с.
5. Наумова Г.В. Новая экологобезопасная биологически активная кормовая добавка для птицеводства и животноводства на основе торфа / Г.В. Наумова [и др.] // Материалы конференции «Проблемы природопользования: итоги и перспективы». Минск, 2012. С. 67–71.
6. Наумова Г.В. Эффективность использования нового консерванта плющеного зерна «Гумоплюс» / Г.В. Наумова [и др.] // Природопользование. Минск, 2013. №24. С. 123–128.
7. Лиштван И.И. Оценка торфа месторождения Туршовка-Чертово как сырья для глубокой комплексной переработки / И.И. Лиштван [и др.] // Природопользование: сборник научных трудов. Минск, 2016. №30. 158 с.

УДК 662.331(09)

Зюзин Б.Ф.

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

Копенкина Л.В.

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

**ПРОФЕССОР АМАРЯН Л.С.
(1929–2012)
И НАУЧНАЯ ШКОЛА
МЕХАНИКИ ТОРФА
И ТОРФЯНОЙ ЗАЛЕЖИ
(к 90-летию со дня рождения)**

Аннотация. Статья посвящена специалисту в области механики торфа и торфяной залежи Лено Самвеловичу Амаряну (1929–2012). Он разработал оригинальные методы и приборы для изучения структурно-механических свойств торфа и торфяных залежей, оценки несущей способности слабых грунтов при строительстве дорог и объектов для разведки и добычи нефти и газа в Сибири. Современные разработки позволяют развить результаты его экспериментальных исследований.

Ключевые слова: механика торфа, торфяная залежь, водно-механические свойства, теория дистортности, угол внутреннего трения, влаго-содержание.

Zyuzin B.F.

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

Kopenkina L.V.

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

**PROFESSOR AMARYAN L.S.
(1929–2012)
AND THE SCIENTIFIC
SCHOOL OF MECHANICS OF
PEAT AND PEAT DEPOSIT
(to the 90 anniversary since birth)**

Annotation. Article is devoted to the specialist in the field of mechanics of peat and peat deposit Leno Samvelovich Amaryan (1929-2012). He developed original methods and instruments for studying the structural and mechanical properties of peat and peat deposits, load-bearing capacity assessment of weak soils in the construction of roads and facilities for exploration and production of oil and gas in Siberia. Modern developments allow us to develop the results of his experimental studies.

Keywords: mechanics of peat, peat accumulation, water-mechanical properties, the theory of distort, angle of internal friction, moisture content.

Исполняется 90 лет со дня рождения профессора Л.С. Амаряна (1929–2012) – основателя тверской научной школы в области механики торфа и торфяной залежи, достойно занимающего почетное место в плеяде выдающихся преподавателей и сотрудников в истории Тверского государственного технического университета [1] и истории торфяного дела.

Амарян Лено Самвелович родился 6 марта в городе Горис Армянской ССР. Окончил механический факультет Московского торфяного института по специальности «Торфяные машины» (1947–1952), получив квалификацию «инженер-механик».

Амарян работал на Орехово-Зуевском машиностроительном заводе «Транс-торфмаш» (1952–1959), прошел путь от сменного мастера механического цеха, начальника литейного цеха до главного инженера и директора. В 1956 году он поступил в аспирантуру Московского торфяного института.

С 1960 года работал в Калининском (торфяном) политехническом институте на должности начальника научно-исследовательского сектора, где возглавил группу механиков и технологов, занимавшихся проблемой создания технологии и оборудования для производства торфяной подстилки. В кратчайшие сроки Амаряну и его группе удалось разработать оригинальные методы и приборы для изучения структурно-механических свойств малоразложившегося торфа, спроектировать и внедрить технологию и оборудование по производству прессованной торфяной подстилки: на Оршинском торфопредприятии был построен и введен в эксплуатацию опытный завод.

В 1961 году Амарян защитил кандидатскую диссертацию по теме «Изучение закономерностей уплотнения и непрерывного брикетирования торфяной подстилки». Эта работа позволила обосновать новое технологическое направление по брикетированию торфяной подстилки в плиты непрерывным способом на ротационном брикетном прессе [2]. В 1962 году он возглавил отдел научно-исследовательских работ, который благодаря его энергичной деятельности вскоре превратился в крупный научный центр.



Рис. 1. Профессор Амарян Л.С.

Fig. 1. Professor Amaryan L.S.

В 1967 году Амарян защитил докторскую диссертацию по теме «Структурно-механические свойства торфяных залежей». Признавая высокий уровень представленной на защиту работы, научные консультанты, доктора наук В.Г. Булычев и В.М. Наумович рекомендовали автору издать монографию с основными результатами, представленными в докторской диссертации. Монография «Прочность и деформируемость торфяных грунтов» [3] вышла в издательстве «Недра» в 1969 году. Профессор (1968), заведующий кафедрой «Конструкции и сооружения» (1968–1973). В 1973 году Амаряном была образована новая кафедра «Основания и фундаменты» (ныне кафедра «Автомобильные дороги, основания и фундаменты»). В 1981–1984 годах Амарян на общественных началах возглавлял кафедру «Торфяные машины и комплексы» (рис. 2).



Рис. 2. Кафедра «Торфяные машины и комплексы» (1981–1984), первый ряд слева направо: доцент Л.О. Горцакалян, доцент Л.Н. Самсонов, профессор Л.С. Амарян, доцент В.М. Шпынев; второй ряд: доцент В.С. Волков, доцент Л.Ф. Коровицын, доцент В.Ф. Синецын, доцент В.И. Цветков

Fig. 2. Department "Peat machines and complexes" (1981–1984), first row from left to right: Professor L.O. Gortsakalyan, associate Professor L.N. Samsonov, Professor L.S. Amaryan, associate Professor V.M. Shpynev; second row: associate Professor V.S. Volkov, associate Professor L.F. Korovitsyn, associate Professor V.F. Sinitsyn, associate Professor V.I. Tsvetkov

В 1977 году по приглашению Госстроя СССР (г. Москва) Амарян перешел на работу в ПНИИИС для разработки методов и оборудования для оценки несущей способности слабых грунтов при строительстве дорог и объектов для разведки и добычи нефти и газа в Сибири. Исследовательские комплексы, созданные Амаряном с участием ученых КПИ, применяются в практике инженерно-геологических изысканий. Итоги работ были обобщены в монографии «Свойства слабых грунтов и методы их изучения» (издательство «Недра», 1990) [4], которая получила международное признание (монография издана на английском языке в 1993 г. в Нидерландах). Важной проблемой было создание методов испытаний мерзлых грунтов применительно к условиям Крайнего Севера. Разработки в этой области были выполнены В.А. Мироновым, обобщены в докторской диссертации (научный консультант Л.С. Амарян).

Работая в Москве, Амарян активно сотрудничал с ТГТУ в совместных научных исследованиях, руководил подготовкой кандидатов и докторов наук, участвовал в работе ГАК и диссертационного совета.

За 45 лет научно-педагогической деятельности им подготовлено около 40 кандидатов и докторов наук, опубликовано более 200 статей, 5 монографий, получено более 40 авторских свидетельств и патентов. Почетный изобретатель города Москвы. Среди учеников и последователей Амаряна

профессора Л.Н. Самсонов, В.А. Миронов, И.И. Беркович.

Отметим широкий спектр изобретений юбиляра: стирочная машина барабанного типа; машина для уборки фрезерного торфа (на основе той же оригинальной идеи); машина глубокого фрезерования; пресс штемпельный для получения торфоподстильных плит; целая серия устройств и приборов для измерения осадок торфяной залежи, испытания слабых грунтов на сдвиг в полевых условиях; устройства для отбора проб, определения сопротивлений сдвигу и вдавлению, определения сжимаемости слабых грунтов, внешнего трения дисперсных материалов при высоком давлении на площади контакта.

Амарян награжден золотыми, серебряными и бронзовыми медалями ВДНХ СССР. Почетный профессор ТГТУ (1997). Информация о деятельности профессора Л.С. Амаряна внесена в «Золотую книгу Тверского государственного технического университета» [1].

Под руководством профессора Амаряна в 1984–1987 гг. была разработана новая технология и средства механизации для производства высококачественного бытового торфяного топлива [5], а также комплекс оборудования для добычи кускового коммунально-бытового топлива с применением наращиваемого расстила и сушки с отрывом от подстила [6].

В 1988 г. Л.С. Амарян заложил основы учебно-практического курса дисциплины «Механика торфа и торфяной залежи», которая преподается на кафедре ТМО вот уже более 30 лет [7, 8].

Современные разработки позволяют развить результаты экспериментальных исследований водно-механических свойств торфяных залежей на основании положений теории дистортности по определению инвариантов их предельных напряженно-деформированных состояний [9].

Основное влияние на прочность торфяной залежи по Л.С. Амаряну [10] оказывают влажность и степень разложения с учетом плотности и кислотности, с которыми хорошо коррелируют остальные параметры структуры и состава торфа.

Исходя из взаимосвязи между углом внутреннего трения и влажностью, характеризуемой точкой первой критической влажности $W_{кр}$ и точкой полного влагонасыщения – $W_{п}$, профессором Л.С. Амаряном была предложена взаимосвязь [10]:

$$tg\varphi = (W_{п} - W_t) / (W_t + W_{кр}),$$

где φ – угол внутреннего трения; W_t – текущее значение влагосодержания, при котором наблюдается наиболее вероятное значение прочности; $W_{п}$ – влагосодержание полного влагонасыщения торфа, $5 < W_{п} < 15$; $W_{кр}$ – критическое влагосодержание, $2 < W_{кр} < 3$, для верхового торфа $W_{кр} \rightarrow 3$, для низинного $W_{кр} \rightarrow 2$.

При этом имеет место соотношение определяющих влагосодержаний:

$$W_{кр} < W_t < W_{п}.$$

Если принять условие предельного состояния, при котором $W_t = W_{экр}$, где $3 < W_t < 5$, то получим выражения для основных инвариантов влагосодержания:

$$J_{W_{кр}} = \frac{W_{кр}}{W_{п} + W_{кр}};$$

$$J_{W_{п}} = \frac{W_{п}}{W_{п} + W_{кр}};$$

Примем условие $J_{W_{кр}} + J_{W_{п}} = 1$.

Тогда получим:

$$J_1 = \frac{W_{п} - W_{кр}}{W_{п} + W_{кр}};$$

$$J_2 = \frac{W_{п} + W_{кр}}{W_{п} + W_{кр}} = 1;$$

$$J_3 = W_{экр} = \frac{2W_{п}W_{кр}}{W_{п} + W_{кр}};$$

$$J_4 = \Pi_K = \frac{W_{кр}}{W_{п}};$$

$$J_5 = J_1 = \sin\varphi = \mu\sigma;$$

$$J_6 = C_0 = W_{кр} \operatorname{tg}\varphi \frac{W_{кр}(1 - 2W_{кр})}{2\sqrt{W_{кр}(1 - W_{кр})}} \rightarrow \max;$$

$$J_7 = K_p = \frac{W_{экр} - W_{кр}}{W_{п}} = \frac{W_{кр}(1 - 2W_{кр})}{1 - W_{кр}} \rightarrow \max.$$

Полученные значения и уравнения изменения механических свойств торфа с учетом определяющих факторов хорошо согласуются с результатами проведенных опытов.

Численные значения этих параметров и их изменчивость во взаимосвязи с влажностью и степенью разложения представлены в таблице [11].

Однако профессор Л.С. Амарян в рассматриваемой таблице не привел конкретных значений предельного угла внутреннего трения φ .

В этой графе таблицы были показаны только пробелы!

Хотя в тексте диссертации [10] отмечено, что угол внутреннего трения φ является одним из основных параметров, наряду со сцеплением C_0 , в методике оценки прочностных свойств торфяных залежей не приведены его конкретные значения.

Здесь представлены наиболее вероятные величины, определяемые статически. Поэтому применение этих величин в расчетах должно сопровождаться учетом коэффициента вариации, колеблющегося в пределах от 14 до 36 %.

Численные значения этих параметров позволяют вести сравнительный анализ поведения торфяной залежи с учетом видового состава торфа.

Влияние угла внутреннего трения φ значительно для низинного типа торфяной залежи при значениях $2 < W_{экр} < 4$, где $W_{экр}$ – величина эквивалентного значения влагосодержания.

Для верхового типа торфяной залежи определяющим является величина сцепления C_0 .

В настоящее время творческое наследие профессора Л.С. Амаряна является достоянием не только отечественной науки и практики в области торфяного дела, но и признано мировым научным сообществом [4]. Исследования

в области слабых грунтов являются актуальными в России и за рубежом [12]. Современные разработки позволяют развить результаты экспериментальных исследований водно-механических свойств торфяных залежей на основании положений теории дистортности.

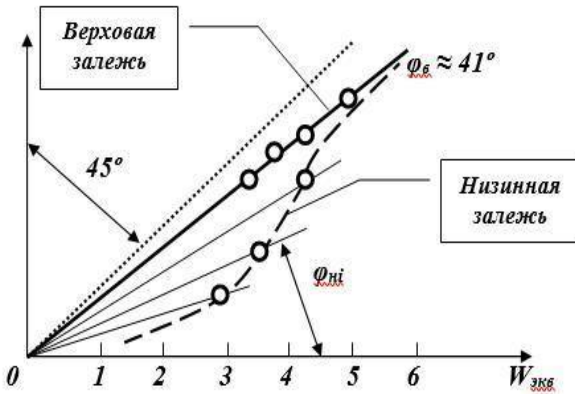


Рис. 3. Реконструкция результатов расчета значений предельного угла внутреннего трения φ для торфяных залежей.

Fig. 3. Reconstruction of the calculation results of the limiting angle of internal friction φ for peat deposits.

Новое поколение исследователей тверской школы механиков торфа и торфяной залежи достойно продолжает развивать и обобщать теоретические подходы и экспериментальные работы в области торфяного дела.

Таблица. Физико-механические свойства торфяных залежей (по данным Л.С. Амаряна [10], фрагмент)

Table. Physical and mechanical properties of peat deposits (according to L.S. Amaryan [10], fragment)

Часть I

Параметры	Верховая залежь						
	5 – 10	10 – 15	15 – 25	25 – 30	30 – 40	40 – 45	45 – 65
Степень разложения, R, %							
Влагосодержание при насыщении, W_n , кг/кг	15	14	13	12	11	10,3	10
Коэффициент бокового давления, ξ	0,11	0,11	0,17	0,20	0,26	0,30	0,35
Критическое влагосодержание, $W_{кр}$, кг/кг	3		2,6		2,2		2,1
Дополнения к данным Л.С. Амаряна [11]							
Эквивалентное влагосодержание, $W_{экв}$, кг/кг	5,0	4,9	4,3	4,3	3,7	3,6	3,5
Параметр состояния, ПК(н)	0,33	0,33	0,41	0,45	0,51	0,55	0,59
Параметр Лоде, $\mu\sigma = \sin\varphi$	0,67	0,65	0,67	0,64	0,67	0,65	0,65
Угол внутреннего трения, φ , град.	41,8	40,3	41,8	40,1	41,8	40,4	40,8

Параметры	Низинная залежь					
	5 – 15	15 – 25	25 – 35	35 – 40	40 – 45	45 – 60
Степень разложения, R, %						
Влагосодержание при насыщении, W_p , кг/кг	13	10	8	7	6,5	5,3
Коэффициент бокового давления, ξ	0,17	0,26	0,40	0,45	0,48	0,50
Критическое влагосодержание, $W_{кр}$, кг/кг	2,6		2,26		2	
Дополнения к данным Л.С. Амаряна [11]						
Эквивалентное влагосодержание, $W_{экв}$, кг/кг	4,3	4,1	3,5	3,4	3,1	2,9
Параметр состояния, ПК(н)	0,41	0,51	0,63	0,67	0,69	0,71
Параметр Лоде, $\mu\sigma = \sin\phi$	0,67	0,59	0,56	0,51	0,53	0,45
Угол внутреннего трения, ϕ , град.	41,8	36,0	34,0	30,8	32,0	26,9

Библиографический список

1. Твардовский А.В., Миронов В.А., Зюзин Б.Ф. Золотая книга Тверского государственного технического университета. Тверь: ТвГТУ, 2015. 251 с.
2. Амарян Л.С. Ротационный брикетный пресс (Брикетирование торфяной подстилки) // Известия вузов. Горный журнал. 1962. № 6. С. 13–15.
3. Амарян Л.С. Прочность и деформируемость торфяных грунтов. М.: Недра, 1969. 192 с.
4. Амарян Л.С. Свойства слабых грунтов и методы их изучения М.: Недра, 1990. 220 с.
5. Авторское свидетельство № 1574817. Способ получения кускового торфа / Амарян Л.С., Самсонов Л.Н., Зюзин Б.Ф., Корзин Н.В., Воронков Б.Б. // Заявл. 29.09.1988. Опубл. 30.06.1990. Бюл. № 24.
6. Авторское свидетельство № 1594274. Способ получения кускового торфа / Амарян Л.С., Самсонов Л.Н., Зюзин Б.Ф., Корзин Н.В. // Заявл. 25.01.1988. Опубл. 23.09.1990. Бюл. № 35.
7. Амарян Л.С., Зюзин Б.Ф., Миронов В.А. Механика торфа и торфяной залежи: учебное пособие. Калинин: КГУ, 1988. 95 с.
8. Лабораторный практикум по механике торфа и торфяной залежи / Амарян Л.С., Зюзин Б.Ф., Миронов В.А. и др. Калинин: КПИ, 1988. 96 с.
9. Зюзин Б.Ф., Миронов В.А., Юдин С.А. Опыты Буисмана и Амаряна. Социально-экономические и экологические проблемы горной промышленности, строительства и энергетики: 13-я Международной конференции по проблемам горной промышленности, строительства и энергетики: Материалы конференции. Тула: Изд-во ТулГУ, 2017. Т.1. С.130–136.
10. Миронов В.А., Зюзин Б.Ф. Инварианты дистортности. Тверь: ТвГТУ, 2015. 168 с.
11. Амарян Л.С. Структурно-механические свойства торфяных залежей. Дисс. докт. техн. наук. Калинин, 1967. 395 с.
12. Patel M.A., Patel H.S. A Review on Effects of Stabilizing Agents for Stabilization of Weak Soil // Civil and Environmental Research, 2012. Vol 2, №.6. p. 1–7.