

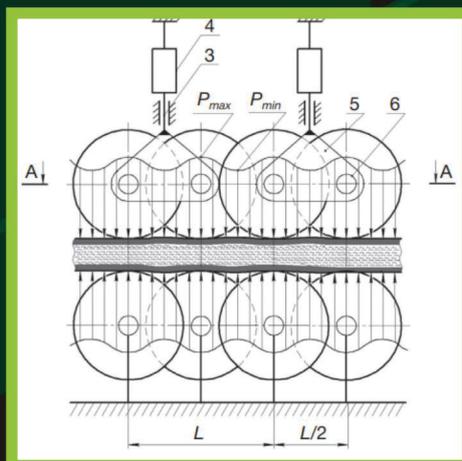
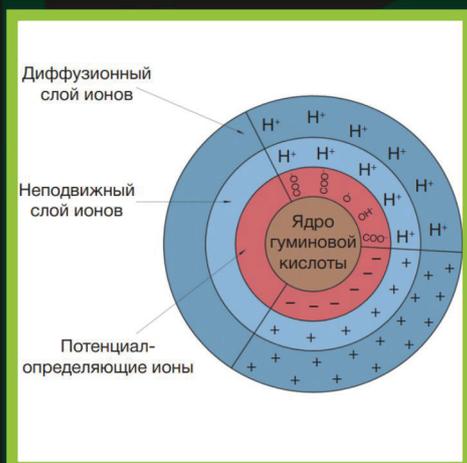
Научный журнал

Восточно-Европейского института торфяного дела
Тверского государственного технического университета



№21 (74) 2020

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

№ 21 (74)
январь–июнь 2020 г.

Тверь
2020

УДК 622.331(05)
ББК 26.343.4я5

Труды Инсторфа: научный журнал. № 21 (74)
(январь–июнь 2020 г.). Тверь: ТвГТУ, 2020. 52 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. Сиринов;

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 О.В. Чеховская

Корректор Т.С. Самборская

Технический редактор А.Ю. Соколова

E-mail: instorf@gmail.com

Тел. редакции: 8(422) 78-93-91

Подписано в печать 16.12.20 г.

Формат 60×84 1/8. Усл. печ. л. 7,625.

ООО «Издательство «Триада»

170034, г. Тверь, пр. Чайковского, д. 9, оф. 514

ISSN 2224-1523

© Тверской государственный
технический университет, 2020

Содержание

Шахматов К.Л., Гордеева И.М.

Разработка структуры электронной
базы данных для геоинформационной
системы торфяных болот и нарушенных
торфяников Тверской области (обзор
литературы)..... 3

Мисников О.С., Иванов В.А., Тимофеев А.Е., Щербакова Д.М.

Перспективы использования торфа
в устройствах для накопления
и хранения электрической энергии..... 10

Столбикова Г.Е., Купорова А.В.

Исследование механизма сушки
фрезерного торфа с помощью
радиоактивной метки 19

Петренко С.М., Березовский Н.И.

Влияние режимных параметров
вертикального пневмотранспорта
измельченного торфа на относительное
скольжение воздушной и твердой фаз..... 24

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

Интенсификация обезвоживания
малоразложившегося торфа
в ленточно-роликовом прессе типа ПЛР 30

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

Моделирование повреждающих
воздействий на режущих элементах
фрезы при взаимодействии
с древесными включениями 34

Панов В.В.

Заметки о Дмитрие Александровиче
Герасимове к 125-летию
со дня рождения 40

Копенкина Л.В.

Научные исследования
в области добычи, переработки
и применения торфа в годы Великой
Отечественной войны 48

УДК 004.6:528:553.97(440.331)

Шахматов К.Л.

Шахматов Кирилл Леонидович, к. т. н., доцент кафедры горного дела, природообустройства и инженерной экологии Тверского государственного технического университета (ТвГТУ), Тверь, наб. Аф. Никитина, 22. krl81@list.ru.

Гордеева И.М.

Гордеева Инна Михайловна, магистрант направления «Химическая технология: Технология переработки торфа и сапропелей» Тверского государственного технического университета (ТвГТУ), Тверь, наб. Аф. Никитина, 22. inna_001f@mail.ru.

РАЗРАБОТКА СТРУКТУРЫ ЭЛЕКТРОННОЙ БАЗЫ ДАННЫХ ДЛЯ ГЕОИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ ТОРФЯНЫХ БОЛОТ И НАРУШЕННЫХ ТОРФЯНИКОВ ТВЕРСКОЙ ОБЛАСТИ (ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ)

Аннотация. В данной статье рассматривается опыт создания электронных систем по учету, актуализации, визуализации и поиску информации о месторождениях полезных ископаемых Российской Федерации и возможность его применения для создания базы данных торфяных болот и торфяников. Проведен анализ информации о существующих разработках по данной тематике. Приводятся результаты исследований и примеры практического применения электронных баз данных. Это первая часть исследования по созданию тематической геоинформационной системы. В дальнейшем будут проработаны вопросы классификации и типологии болот, принципы картографирования и обработки изображений, а также вопросы синтеза всей разноплановой информации и создание на ее основе единой электронной системы.

Ключевые слова: торфяные болота, торфяники, база данных, полезные ископаемые, геоинформационные системы.

Shakhmatov K.

Shakhmatov Kirill, PhD (engineering), Associate of Professor of the Chair of Mining, Environmental Engineering, Industrial Ecology, Tver State Technical University.

Gordeeva I.

Gordeeva Inna, magistrate of direction "Chemical technology: Technology of peat and sapropel processing" of Tver State Technical University.

DEVELOPMENT OF THE ELECTRONIC DATABASE STRUCTURE FOR THE GEOINFORMATION SYSTEM OF MIRES AND PEATLANDS IN TVER REGION (REVIEW OF LITERATURE)

Annotation. This article discusses the experience of creating electronic systems for recording, updating, visualizing and searching for information on mineral deposits of the Russian Federation and the possibility of its application to create a database of mires and peatlands. The analysis of information on existing developments on this topic. The results of studies and examples of the practical application of electronic databases are presented. This is the first part of the study on creating a thematic geographic information system. In the future, the issues of classification and typology of swamps, the principles of mapping and image processing, as well as the synthesis of all diverse information and the creation of a unified electronic system on its basis will be worked out.

Key words: mire, peatland, database, minerals, geographic information systems.

Геоинформационная система торфяных болот и поврежденных торфяников¹ – это сложная система, затрагивающая широкий круг вопросов разной направленности. Для разработки научно обоснованной информационно-картографической системы необходимо отдельно рассмотреть вопросы классификации и типологии болот, вопросы картографирования и создания тематических карт, а также вопросы синтеза всей обозначенной информации и принципы создания единой информационной системы. В данной статье приводится справочная информация и существующий опыт и наработки по заявленной тематике.

Водно-болотные угодья занимают значительные площади на территории Российской Федерации, покрывая в некоторых регионах сотни тысяч и даже миллионов гектар [10]. Они играют важную роль как в естественных природных процессах, так и во многих сферах человеческой деятельности, а также в устойчивом развитии целых регионов. Учет и использование этих угодий занимает важное место в деятельности государственных и местных органов власти, научных и коммерческих организаций. Единого учета таких территорий не было, поскольку широкое разнообразие земель, входящих в их состав невозможно объединить без потери качественной информации. Тем не менее в данной статье обсуждается возможность создания тематической геоинформационной системы, объектом которой будет выступать часть водно-болотных угодий – это переувлажненные территории с наличием на них органических отложений (торфа), к которым в общепринятой терминологии относятся заболоченные земли и торфяные болота.

Из торфяных болот в отдельную группу выделяют торфяные месторождения, как территории, имеющие глубину торфа более 70–100 см и представляющие интерес с точки зрения добычи органического сырья. На протяжении XX века в Советском Союзе велась активная добыча торфа. В этой связи, начиная с 1930–1950 гг., были разработаны детальные справочники торфяных месторождений по всем областям страны, в которых указывались все разведанные месторождения, их располо-

жение и основные характеристики торфа. Изменения запасов торфа находили отражения в государственном балансе. Таким образом, существовала актуальная информация по всем разведанным месторождениям, их состоянию, а также карты торфяного фонда. В настоящее время проведение геологоразведочных работ лицензируется и выполняется за счет финансовых средств инвесторов. При этом торфодобывающие предприятия должны ежегодно отчитываться по объемам добытого и оставшегося торфяного сырья по форме № 5-гр. Данная форма позволяет учитывать динамику запасов только по месторождениям, где ведется добыча торфа. А это всего лишь единицы от общего количества торфяных месторождений. Поэтому нет возможности оценить актуальное состояние всего торфяного фонда.

Таким образом, на сегодняшний день существует необходимость проведения инвентаризации территории Российской Федерации, и Тверской области в частности, и создания единой электронной системы учета по всем торфяным болотам и нарушенным торфяникам.

Разработка структуры базы данных – это один из первых вопросов при создании геоинформационной системы (ГИС). Для ее разработки необходимо определиться с объектами учета, которые будут входить в эту базу данных.

Особенности понятийного аппарата и терминологии в рассматриваемой сфере были пояснены в книге «Торфяные болота России: к анализу отраслевой информации» [12]. Становление понятия болота как самостоятельного природного объекта происходило в течение длительного времени, начиная с первых упоминаний использования торфа при Петре I, и продолжается по сей день. Начало более глубоких исследований болот относится к 10–20 гг. XX века, и связаны они были с их широкомасштабным осушением. В течение первой половины XX века происходило становление научного понимания болота как целостного природного образования с рядом неотъемлемых признаков. И в настоящее время термином «болото» обозначается широкий класс природных образований, объединяющихся общностью генезиса, количественных и качественных

¹ Следуем сложившемуся подходу к использованию термина «торфяное болото» применительно к любым болотам, находящимся в естественном или близком к естественному состоянию, и «торфяник» – ко всем объектам, имеющим или сохранившим торфяную залежь, но в первую очередь к утратившим или сильно изменившимся (по антропогенным или иным причинам) болотный растительный покров и даже часть торфяной залежи. Такой подход соответствует международной практике использования терминов «mire» в первом случае и «peatland» – во втором [7].

характеристик энерго- и массообмена, находящих отражение в ряде специфических внешних черт и ландшафтных признаков [12]. В то же время «неоднократно подчеркивалась невозможность приложения понятия болота для организации учета или ведения кадастра. Объектом учета могут быть лишь территориальные единицы, такие как болотный участок, болотный массив, болотная система».

Создание первых систематизированных каталогов по болотным массивам, конечно же, необходимо связать с развитием торфяного дела в России. Первым этапом этого явления было развитие методов разведки торфяных месторождений в 1920–1930 гг., что определило подход к оценке местности, оценке запасов и качества торфяного сырья, определение границ торфяных месторождений и многие другие вопросы [8]. Для целей широкомасштабной разведки и в последующем добычи торфяного сырья были разработаны классификации видов торфяного сырья и торфяных залежей. Итогом этих работ и стало создание справочников торфяных месторождений, которые будут использованы нами в качестве основы для создания ГИС по торфяным болотам и торфяникам.

На сегодняшний день существует возможность расширить понятие базы данных и ориентироваться на составление и использование тематической ГИС, которой является географическая информационная система, способная объединить изображение участка местности на поверхности Земли с четкой привязкой к своему географическому расположению с текстовой (атрибутивной) информацией, характеризующей данный участок. При этом можно определить следующие основные цели ведения подобной ГИС:

- сбор, хранение и поддержание актуальности данных по торфяным болотам и торфяникам;
- отражение качественных и количественных характеристик торфяного месторождения;
- своевременное оперативное предоставление данных заинтересованным сторонам;
- предварительная оценка возможного количества запасов торфа по конкретному месторождению, муниципальному району, субъекту РФ или фонду в целом;
- составление отчетов по торфяным болотам и торфяникам с определенными свойствами или по определенным административно-территориальным единицам;

- оценка возможности использования территорий торфяных болот и торфяников для различных экономических целей, в том числе добычи торфа, сельского хозяйства, дачного строительства, повторного обводнения, болотного растениеводства, рекреации и туризма, охраны природы и т. д.;
- оценка природоохранной ценности торфяных болот и торфяников;
- выделение наиболее пожароопасных территорий для усиленного мониторинга, а также проведения работ по вторичному обводнению.

Исходя из обозначенных целей можно определить потенциальные заинтересованные стороны, которым может быть интересно использование подобной ГИС – это государственные органы власти федерального и регионального уровня, местные органы самоуправления, научные и общественные организации, бизнес-структуры, рассматривающие торф и торфяные месторождения как объект инвестиций.

В этой связи необходимо изучить существующую литературу по данной теме.

Имеющиеся базы данных по учету месторождений полезных ископаемых разработаны с учетом особенностей горючих, рудных и нерудных полезных ископаемых, которые представляют собой особый экономический интерес. В другом случае каталоги разработаны по общему принципу, не учитывающему какие-либо физические, химические и другие свойства полезных ископаемых. При этом необходимо подчеркнуть, что торфяные болота и нарушенные торфяники – это уникальные объекты, существенно отличающиеся от других полезных ископаемых, что необходимо учитывать при составлении базы данных и в последствии тематической ГИС.

Так, в статье [1], рассмотрена эволюция систем учета минерально-сырьевых ресурсов и проблемы, возникающие при их составлении и ведении. В российском недропользовании функционируют 4 тесно связанные информационные системы, входящие в мегасистему «Программный комплекс ИС «Недра», которыми являются: Государственный кадастр месторождений и проявлений полезных ископаемых (ГКМ); Государственный баланс запасов полезных ископаемых (ГБЗ); Реестр лицензий и массив лицензионных дел; Реестр горных отводов.

При этом в электронную базу данных не входят месторождения неметаллических общераспространенных полезных ископаемых,

в том числе и торфяные месторождения, которые находятся в ведении территориальных органов ФГУНПП «Росгеолфонд». Территориальный орган ведет учет торфяных месторождений, но данная база данных достаточно громоздка и неудобна для быстрого поиска, нет связи с интерактивной картой месторождений, а также данная система не имеет общедоступного статуса.

Более того, объектом учета всех перечисленных систем является полезное ископаемое, его качественные и количественные характеристики.

В завершении статьи коллектив авторов предлагает цели, которые должны быть достигнуты для дальнейшей эволюции систем учета запасов, а именно: перевод перечня полезных ископаемых в соответствие с ныне действующими законодательными и нормативными правовыми актами РФ; определение списка общераспространенных полезных ископаемых, запасы которых подлежат учету; разработка и обеспечение реализации взаимодействия филиалов ФБУ «ТФГИ» Роснедра и уполномоченных структур администраций субъектов РФ в части обмена геологической информацией; разработка новых табличных форм и усовершенствование структуры и содержания Государственного баланса запасов; и другие предложения, которые выведут систему учета запасов на новый уровень [1, 2].

Но среди данного списка есть пункт, с которым сложно согласиться. Авторы статьи предлагают списывать с учета многочисленные мелкие месторождения с запасами, не имеющими промышленного значения и не востребованные на протяжении нескольких десятков лет. В настоящее время небольшие месторождения полезных ископаемых наоборот могут быть более востребованы, чем крупные с промышленными запасами сырья. Логичнее предположить, что местный малый бизнес будет в большей степени заинтересован выбрать небольшой участок с общераспространенными полезными ископаемыми для их разработки. Поэтому крайне важно учитывать все месторождения полезных ископаемых независимо от их качественных и количественных характеристик. Мы понимаем, что учет и изображение таких месторождений – это кропотливый и длительный процесс, требующий значительных усилий от заинтересованных сторон. Тем не менее это возможно осуществить. При этом данная информация будет аккумулирована в

электронном виде, а создание карт расположения подобных объектов возможна в масштабе 1 : 10 000 в границах административно-территориальных образований либо их определенных частей.

В статье [3] рассмотрен пример создания базы данных на основе конкретного месторождения полезных ископаемых. В данной работе определена цель – разработка оптимальной методики для повышения эффективности управленческих, научно-исследовательских и экономических процессов в горнопромышленной сфере на основе применения компьютерных технологий. В качестве объекта исследования выступают месторождения Старооскольско-Губкинского горнопромышленного узла Белгородской области, а информационными элементами являются месторасположение объекта, тип руд, содержание железа, прогнозные ресурсы и забалансовые руды.

Подобная структура информации слабо соответствует целям создания базы данных торфяных болот и торфяников, так как не описывает ни качественных, ни количественных характеристик, ни характера использования этих территории.

В работе [4] достаточно точно и актуально сформулированы цели ведения единой базы данных месторождений полезных ископаемых и общие принципы разработки подобной системы. Так, автор предлагает создание банка геопространственных данных, который может аккумулировать разнородную информацию – картографические данные, пространственные модели, нормативно-справочную и техническую информацию, различные шаблоны для формирования отчетности и др. Подобные банки геоданных позволят повысить точность и надежность подсчета запасов и ресурсов полезных ископаемых, выполнять всевозможные аналитические исследования для оптимизации многих процессов горного производства.

Банк геопространственных данных должен обеспечить унифицированное хранение пространственных и описательных данных в СУБД, без использования дополнительных программных средств. При создании банка геопространственных данных, помимо высокого быстродействия при работе с данными, масштабируемости, необходимо предусмотреть, чтобы пространственно-временной анализ мог выполняться как инструментальной ГИС, так и самой СУБД, что оптимально с точки зрения распределения ресурсов.

При создании единого банка данных должны учитываться следующие принципы:

- использование единой системы идентификации информационных объектов;
- использование единого стандарта на формат записи признаков типа;
- формирование единого адресного пространства территориальной информационной системы и его внедрение во всех автоматизированных информационных системах;
- использование единого формата записи признаков при информационном обмене данными;
- использование общесистемных справочников и словарей по отдельным системам баз данных;
- предложение унифицированного протокола обмена между единым информационным банком данных и отраслевыми системами;
- учет предложений органов исполнительной власти.

Поэтому основой успешной работы проекта будут являться рациональное построение структуры формируемой базы данных и оптимизация механизмов работы с ней.

Организация пространственных данных в электронном виде обладает рядом характерных особенностей, не позволяющих создавать электронные модели с применением достаточно простых математических алгоритмов. Среди этих особенностей в первую очередь выделяется разнородность существующей информации, которая выражается:

- в различных способах получения первичной информации;
- различных методах получения первичной информации;
- наличии дискретных данных, описывающих непрерывные процессы и их свойства;
- различных способах электронного хранения информации (растровые, векторные изображения, табличные данные разных типов);
- отсутствии методических рекомендаций по построению моделей и анализа на их основе.

Помимо упомянутых факторов исключительно технического характера при моделировании необходимо учитывать и наличие изначальной, «природной» неоднородности объектов.

В соответствии с вышесказанным при проведении подсчета запасов полезных ископаемых, в первую очередь встает вопрос опреде-

ления изначальных (входящих) и получаемых (выходящих) параметров. Кроме того, данные параметры будут определяться целями и задачами, для решения которых будет использоваться модель [4, 5].

Данные принципы хорошо соответствуют целям создания базы данных торфяных болот и нарушенных торфяников и поэтому будут учтены в наших дальнейших работах.

В Тверском государственном техническом университете ведутся разработки по созданию электронной базы данных торфяных месторождений в Центральном федеральном округе, которые описаны в статье [6]. Эта тема очень актуальна для Тверской области, так как это одна из самых заторфованных территорий в Центральном федеральном округе Российской Федерации. На территории области расположено 2828 торфяных месторождений, из которых 1454 месторождения с балансовыми запасами, то есть их целесообразно разрабатывать при современном уровне развития торфяной промышленности. Общие запасы торфа оцениваются в 2031,3 млн т. Тверская область является самой изученной областью по выявлению, разведке и учету торфяных запасов. Именно поэтому Тверская область может стать своеобразным эталоном создания электронной базы данных торфяных болот и торфяников, и далее данную концепцию можно будет применить к другим регионам.

В работе [6] описаны трудности, с которыми столкнулись составители базы данных. Основная из них заключается в поиске конкретных торфяных месторождений по материалам геологических разведок. Это обосновывается тремя факторами: прекращение существования населенных пунктов, которые использовались для привязки болот; перемещение границ административных районов или даже областей; ошибки в названиях населенных пунктов. В статье в качестве решения этих проблем предлагают записывать только те населенные пункты, которые существуют в данный момент и которые имеют свой код Общероссийского классификатора территориальных муниципальных образований (ОКТМО).

Картографической основой в рассматриваемой базе данных являются снимки из общедоступных картографических сервисов, таких как Google Earth Pro, Яндекс-карты и Bing. Связь информации о торфяном месторождении и картографическом изображении происходит посредством создания гиперссылок.

К сожалению, в статье не описывается сама структура базы данных и программный продукт, в котором она может быть реализована.

В статье [7] коллективом авторов была проведена и описана работа по применению подхода к картографированию торфяных болот и торфяников по различным источникам информации, а также космическим снимкам на примере Рязанской области. В работе поставлены три конкретные задачи, которые необходимо решить в результате ГИС-картографирования: 1) определение местоположения торфяных болот и торфяников; 2) определение их границ и создание информационной базы данных по характеристикам объектов; 3) актуализация, статистическая обработка и анализ полученной информации.

С точки зрения создания тематической базы данных для Тверской области большой интерес представляет первая и вторая задачи. В частности, в статье приведена примерная структура атрибутивной таблицы (она же база данных, с возможностью выгрузки в специализированные программные продукты для обработки статистической информации), характеризующая торфяные болота и торфяники, которая содержит следующие типы информации: порядковый номер; название; категория запасов; площадь торфяной залежи в нулевой и промышленной границах; максимальная и средняя мощность пласта; общие запасы торфа; запасы по типам торфа – верхового, смешанного, переходного и низинного торфа; водоприемник.

Из всех рассмотренных ранее атрибутивных таблиц данная является наиболее оптимальной для использования ее в качестве основы в своей работе.

Как было обозначено выше, база данных торфяных болот и нарушенных торфяников может быть использована для нескольких сфер деятельности, которые могут иметь разные требования и степень заинтересованности, предъявляемые к этим природным объектам. В целом всех заинтересованных можно объединить в три крупные группы – это органы государственной и муниципальной власти, промышленные компании и бизнес-сообщество, а также научные организации. При сохранении разумности предоставления информации и в то же время пригодности базы данных для обозначенных сторон, предлагаем дополнить структуру атрибутивной таблицы, указанной в [7], следующими столбцами:

– *расположение объекта* (муниципальный район, общие ориентиры, географические

координаты) – это позволит определить распределение объектов по муниципальным образованиям и следовательно, установить органы местного самоуправления, в ведении которых находится определенный объект; также данная информация будет интересна с точки зрения управления земельными ресурсами в границах муниципальных образований. Подобная таблица была предложена авторами Л.В. Муравьевой и Е.В. Сидоровой в статье «Создание базы данных...» [9], в которой рассматривается создание группы взаимосвязанных таблиц для характеристики нарушенных болот Тверской области. Также в работе [10] указывается, что структура базы данных «Торфяные ресурсы» территориально увязывается с административным делением региона, что позволяет учесть интересы районов и землепользователей [10];

- *состояние на текущий момент* – в этой графе можно в целом охарактеризовать состояние торфяных болот и, таким образом, выделить как минимум четыре группы объектов. Подобная классификация была предложена группой авторов В.И. Косовым, А.С. Беляковым и др. в книге «Торф. Ресурсы, технологии, геоэкология» [10]. Так, выделяется: 1) охраняемый фонд, включающий в себя объекты, использование которых будет осуществляться в неизменном состоянии; 2) земельный фонд, включающий в себя объекты, которые будут осушены и использованы в качестве земельных угодий, в том числе и площади под сооружениями; 3) разрабатываемый фонд, включающий в себя объекты, которые будут использоваться после извлечения сосредоточенных на них запасов торфа; 4) запасной фонд, включающий в себя объекты, информация о которых недостаточна для определения направления их использования в настоящее время [10];
- *наличие уникальных представителей флоры/фауны* – этот показатель позволит учесть природоохранную значимость торфяных болот. Впоследствии данную информацию можно расширить в дополнительных таблицах и указать конкретные уникальные виды, их количество, защитный статус территории и другие характеристики;
- *общетехнические свойства торфа* (зольность (A^c , %), влажность (ω , %), степень разложения (R , %) – это позволит получить общую информацию о качестве торфяного

сырья с ресурсной точки зрения и определить наиболее подходящие торфяные месторождения под те или иные инвестиционные запросы;

- *степень пожарной опасности* (от 1 до 5, согласно [11]) – это позволит построить картосхемы степени опасности возникновения пожаров; определить очередность и актуальность проведения работ по снижению пожароопасности на конкретных объектах; анализировать динамику состояния торфяников во времени после проведения данных мероприятий и без таковых.

Таким образом, обзор литературы по вопросу создания базы данных торфяных болот и торфяников показал, что на сегодняшний день есть определенные наработки, которые имеют ряд особенностей и удовлетворяют конкретным целям и задачам. В то же время нами была определена более обширная цель создаваемой базы данных, для чего требуется добавить ряд существенных характеристик торфяных болот. Следует отметить, что структура атрибутивной таблицы, которая была рассмотрена в статье, на данный момент несет информационную нагрузку. Важными вопросами для дальнейших исследований будут являться визуализация объектов на карте, какой именно принцип будет положен в основу этой визуализации и другие картографические вопросы. Также в следующих работах предстоит оценить возможности программных продуктов, которые позволят создать удобную геоинформационную систему с возможностью менять визуальные образы объектов в зависимости от различных целей – управление земельными ресурсами, инвестиционной, научной, природоохранной и т. д.

Библиографический список

1. *Ларичкин В.А., Константинов Б.А., Макаров Д.В., Петунина О.Н.* Эволюция систем учета минерально-сырьевых ресурсов и их проблемы. Минеральные ресурсы России. Экономика и управление. – 2012. – №4. – С. 36–42.
2. *Ларичкин В.А.* Основные системы учета минерально-сырьевых ресурсов в России. Минеральные ресурсы России. Экономика и управление. – 2007.
3. *Уколова Е.В.* Методы обработки информации о месторождениях полезных ископаемых и повышение эффективности управленческих процессов. Проблемы геологии и освоения недр. – 2012. – Т. 2. – С. 225–227.
4. *Басаргин А.А.* Проектирование структуры базы данных для подсчета запасов и ресурсов твердых полезных ископаемых. – 2014.
5. *Ивашко С.В.* Создание базы данных графической информации по региональным исследованиям на нефть и газ. Геология, геофизика и разработка нефтяных месторождений. – 2001. – С. 26–31.
6. *Женихов Ю.Н., Иванов В.Н.* Создание электронного кадастра торфяных месторождений Центрального федерального округа. Болота и биосфера: материалы Всероссийской с международным участием X школы молодых ученых. – 2018. – С. 38–42.
7. *Ильясов Д.В., Сирин А.А., Макарова Л.Ю. и др.* ГИС-картографирование торфяных болот и антропогенно измененных торфяников Рязанской области // Вестник РГАТУ. – 2019. – № 1 (41). – С. 30–38.
8. *Панов В.В., Токарев С.В., Женихов Ю.Н.* Методические особенности разведки месторождений торфа в соответствии с целями их использования // Труды Инсторфа: научный журнал. – Тверь: ТвГТУ, 2018. – № 18 (71). – С. 8–27.
9. *Муравьева Л.В., Сидорова Е.В.* Создание базы данных нарушенных болот Тверской области. Вестник ТвГУ. Серия «География и геоэкология». – 2016. – № 1. – С. 27–33.
10. *ТОРФ.* Ресурсы, технологии, геоэкология / В.И. Косов, А.С. Беляков, О.В. Белозеров, Д.Ю. Гогин; Под ред. В.И. Косова. – СПб.: Наука, 2007. – 452 с.
11. *Женихов Ю.Н.* Пожароопасные торфяные месторождения Тверской области [Текст: монография / Ю.Н. Женихов, В.В. Панов, В.И. Суворов. – Тверь: ТГТУ, 2011. – 80 с.
12. *Торфяные болота России: к анализу отраслевой информации /* Под ред. А.А. Сирина и Т.Ю. Минаевой. – М.: Геос, 2001. – 190 с.

УДК 662.641.004.14

Мисников О.С.

Мисников Олег Степанович, д. т. н., зав. кафедрой горного дела, природообустройства и промышленной экологии ФГБОУ ВО «Тверской государственный технический университет», 170023, Тверь, Академическая, 12. oleg.misnikov@gmail.com.

Иванов В.А.

Иванов Валерий Андреевич – аспирант направления 21.06.01 «Геология, разведка и разработка полезных ископаемых», профиль Геотехнология (подземная, открытая, строительная), выпускающая кафедра горного дела, природообустройства и промышленной экологии ТвГТУ.

Тимофеев А.Е.

Тимофеев Александр Евгеньевич, к. т. н., доцент кафедры горного дела, природообустройства и промышленной экологии ТвГТУ.

Щербакова Д.М.

Щербакова Дарья Михайловна, ассистент кафедры гидравлики, теплотехники и гидропривода ТвГТУ.

ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ТОРФА В УСТРОЙСТВАХ ДЛЯ НАКОПЛЕНИЯ И ХРАНЕНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ

Аннотация. В статье приведена информация о преимуществах и недостатках современных устройств для накопления и хранения электрической энергии – ионисторов (суперконденсаторов). Особое внимание уделено пористым углеродным материалам, традиционно используемым в этих приборах в качестве наполнителей. Проанализированы основные физико-химические свойства торфа, позволяющие выдвинуть рабочую гипотезу о возможнос-

Misnikov O.S.

Misnikov Oleg S., Prof., Head of Chair of Mining, Environmental Engineering and Industrial Ecology of the Tver State Technical University, 170023, Tver, Academic, 12.

Ivanov V.A.

Ivanov Valeryi A., Post-graduate student of the Chair of Mining, Environmental Engineering and Industrial Ecology of the Tver State Technical University.

Timofeev A.E.

Timofeev Aleksandr E., PhD, Associate Professor of the Chair of Mining, Environmental Engineering and Industrial Ecology of TSTU.

Scherbakova D.M.

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

PROSPECTS FOR USING PEAT IN DEVICES FOR ACCUMULATING AND STORING ELECTRICAL ENERGY

Annotation. The article discusses pros and cons of modern devices for power accumulating and its storage – supercapacitors (ultracapacitors). The authors pay particular attention to the porous carbon materials traditionally used as fillers in such devices. The main physical and chemical properties of peat are analyzed, which make it possible to propose a working hypothesis about the possibility of using peat sorbents in supercapacitors. This is facilitated both by the high specific

ти применения торфяных сорбентов в ионисторах. Этому способствует высокая удельная поверхность торфа и наличие в нем частиц с двойным электрическим слоем (мицелл). Впервые экспериментально установлено, что использование в качестве пористого материала сорбента из верхового торфа вместо активированного угля позволяет многократно увеличить напряжение при саморазрядке экспериментальной модели суперконденсатора. Размер фракций торфяного сорбента не оказывает ощутимого влияния на процесс саморазрядки. Наблюдаются незначительные улучшения в работе устройства при использовании фракций менее 1,25 мм.

Ключевые слова: Ионистор, пористый сорбент, углеродный материал, активированный уголь, торфяной сорбент, мицелла.

surface area of peat and by the presence of particles with a double electric layer (micelles) in it. For the first time, it was experimentally established that the use of a bog peat sorbent instead of the activated carbon as a porous material makes it possible to multiply the voltage during self-discharge of an experimental model of a supercapacitor. The size of the peat sorbent fractions does not significantly affect the self-discharge process. However, there is a slight improvement in the performance of the device when using the fractions under 1.25 mm. The use of peat raw materials with a high degree of decomposition significantly improves the characteristics of the experimental model at a charging voltage of 10 V.

Key words: Ultracapacitors, porous sorbent, carbon material, activated carbon, peat sorbent, micelle.

Введение

Перспективность использования органических биогенных материалов в устройствах для накопления и хранения электрической энергии, а также химических энергосодержащих соединений обусловлена физико-химическими свойствами их отдельных структурных единиц и, соответственно, всей системы в целом. В первую очередь это обеспечивает высокая пористость, позволяющая сорбировать и удерживать (связывать) различные виды твердых, жидких и газообразных энергоносителей. Отдельным направлением может служить использование электрокинетических свойств торфяных систем [1, 2].

В настоящее время имеется достаточно большое количество публикаций [3–6] о применении пористых дисперсных материалов с высокой удельной поверхностью в устройствах для накопления и хранения электрической энергии – ионисторах (суперконденсаторах). Они представляют собой электрические устройства, позволяющие отдавать огромное количество энергии за короткий промежуток времени и получили применение в разнообразных областях электроники и электротехники. Главными преимуществами ионисторов перед обычными конденсаторами являются способность совмещения большой мощности и значительного заряда, чрезвычайно быстрое накопление заряда, выдерживание практически неограниченного количества циклов заряда–разряда без потери рабочих свойств, изменение полярности и другие не менее значимые характеристики [3, 4].

Аккумуляция и хранение заряда в таких конденсаторах происходит в двойном электрическом слое [7], возникающем на границе раздела фаз «электрод – электролит». Таким образом, материалы для этих устройств должны обладать высокой электропроводностью, развитой удельной поверхностью, доступностью пористой структуры для ионов электролита, низкой плотностью, простотой формования и другими свойствами, позволяющими обосновать экономическую эффективность их использования. В настоящее время в качестве таких материалов используют углеродные материалы (активированный уголь, графит, углеродные аэрогели, мезо- и макропористый углерод, одностенные и многостенные нанотрубки), оксиды переходных металлов и проводящие полимеры [3]. Многие из них являются достаточно эффективными, но имеют высокую стоимость.

В последние годы начали публиковаться работы, связанные с обоснованием возможности использования в суперконденсаторах в качестве функционального материала пористого углерода из биомассы. При этом он может использоваться как в качестве абсорбента, так и электродного материала. Например, в работе [8] исследуется возможность применения в качестве биомассы опавшей листвы. Однако и в этом случае используется метод гидротермальной активации с преобразованием их в углеродные микросферы с последующим изготовлением пористого углеродного материала. Таким образом, мы имеем дело все с тем же углеродом, причем полученным более затратным по сравнению с используемыми в настоящее время методом.

В качестве электролитов в ионисторах используются водные растворы солей, а также органические электролиты. Для симметричных конденсаторов в водных электролитах максимальный предел рабочего напряжения ограничен 0,7...0,8 В (при расчетном значении 1,23 В). При повышении напряжения происходит разложение электролита. В органических электролитах предел напряжения может быть увеличен до 2,7 В [3–5]. С этой точки зрения органические электролиты обладают большей перспективой промышленного применения, несмотря на меньшую емкость электродов по сравнению с водными электролитами.

Сорбционные и электрокинетические свойства торфа

Поскольку торф состоит из растительных остатков целлюлозных полимеров и продуктов их природного биохимического разложения, он отличается чрезвычайно переменным дисперсным составом и наличием различных групп химических соединений. По И.И. Лиштвану [9], основные кинетические единицы торфяной системы – агрегаты и ассоциаты макромолекул этих соединений – проницаемы для молекул воды и ионов. Они составляют гидрофильную часть органического вещества торфа. Вместе с тем в торфе имеется часть упорядоченных участков продуктов распада, которые в комплексе с агрегатами битумных веществ труднопроницаемы для воды. При термомодификации торфа содержание (количество) битумных компонентов в его органическом веществе может увеличиваться в зависимости от параметров процесса [10].

Макро- и микроструктурные элементы торфа формируются из агрегатов и ассоциатов, а также элементов более высокого порядка за счет действия сил различной природы (в основном ван-дер-ваальсовы взаимодействия и водородные связи). Вследствие этих сложных процессов образуются внутри- и межагрегатные структуры с различной степенью локализации, свойства которых зависят от многих факторов [11]. Основные из них – состав растений-торфообразователей, степень их биохимического распада (степень разложения R_T), условия торфообразования и химический состав воды. Таким образом, в естественном влагонасыщенном состоянии торфяная система представляет собой сложную многокомпонентную полидисперсную (полифракционную) полукolloидно-высокомолекулярную систему [1, 2,

9]. Причем наличие в нем гидрофильных полукolloидов, стабилизированных гидрофобных соединений [10], дисперсий высокомолекулярных соединений формирует его специфические свойства, значительно отличающие торф от типичных коллоидных гетерогенных систем.

Частицы торфа обладают электрическим зарядом и находятся в среде с высокой диэлектрической проницаемостью. Заряд возникает вследствие диссоциации функциональных групп макромолекул, образующих частицы, а также избирательной адсорбции катионов и анионов дисперсионной среды [12]. Известно [7, 13], что частицы дисперсной фазы с размерами от 10 нм до 1 мкм, несущие заряд и ионы противоположного знака, диффузно распределенные в дисперсионной среде, называются мицеллами. Они состоят из агрегата, ядра и частицы (рис. 1, 2). В связи с этим частицы торфа, соответствующие размерам коллоидной фракции, также относятся к категории мицелл [1, 2], что связано с наличием у них двойного электрического слоя.

Основная сложность в прогнозировании протекания в торфяных системах электрокинетических процессов [12] заключается в том, что коллоиды в торфе могут быть органическими, минеральными и органоминеральными. Основная часть коллоидов в торфяных системах с низкой и средней зольностью относится к органическим. Они представлены группами гуминовых веществ и характеризуются высокой дисперсностью. При высокой зольности появляются предпосылки для образования в системе минеральных коллоидов, состоящих из тонкодисперсных обломочных материалов

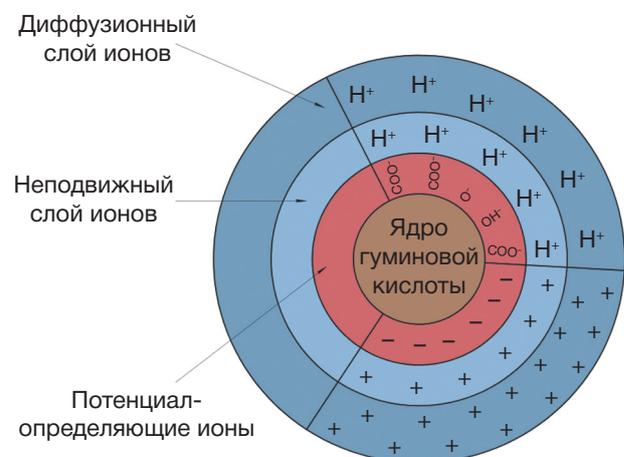


Рис. 1. Схема строения мицеллы – ацидоида (Н.И. Горбунов)

Fig. 1. Scheme of micelle structure – acidoid (N.I. Gorbunov)

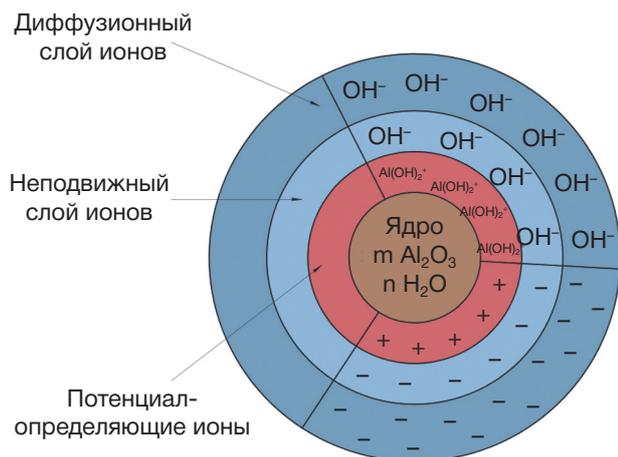


Рис. 2. Схема строения мицеллы – базоида (Н.П. Ремезов)

Fig. 2. Scheme of micelle structure – basoid (N.P. Remezov)

(кварц, слюда, вторичные минералы и т. п.). Органоминеральные коллоидные комплексы являются соединениями в основном гуминовых веществ с глинистыми минералами.

Знак электрического заряда коллоидных частиц разделяет их на ацидоиды (рис. 1), базоиды (рис. 2) и амфолитоиды. Ацидоидами называются коллоиды, несущие отрицательный заряд (в потенциалоопределяющем слое – анионы, в диффузном – катионы). Базоиды – положительно заряженные коллоиды, несущие в потенциалоопределяющем слое катионы, а в диффузном – анионы. Амфолитоиды способны менять заряд в зависимости от реакции среды. Большинство коллоидов торфяных систем являются ацидоидами [1, 2, 13], поскольку в них преимущественно содержатся гумусовые вещества, количество которых определяется степенью разложения.

Таким образом, наличие двойного электрического слоя в торфяных системах определяет их электрокинетические свойства, а пористая структура обеспечивает высокие сорбционные характеристики [11], что является основанием их исследования для оценки перспектив использования в устройствах для накопления и хранения электрической энергии.

Целью работы являлось проведение сравнительного анализа воздействия различных видов модифицированных торфяных наполнителей и наполнителей на основе активированного угля на изменение напряжения при саморазрядке модели устройства для накопления электрической энергии (ионистора).

Используемые материалы и методики проведения исследований

В качестве стандартного углеродного наполнителя использовался активированный древесный уголь для бытовых водопроводных фильтров с размером частиц от 2,5 до 5 мм.

В качестве торфяных наполнителей применялись сорбенты из модифицированных¹ верховых магелланикум-торфа со степенью разложения $R_T = 5\%$ и пушицево-сфагнового торфа с $R_T = 30\%$. Эксперименты проводились с полифракционными и фракционированными ситовым методом торфяными наполнителями с размерами частиц: $d < 0,63$; $0,63 < d < 1,25$; $1,25 < d < 2,5$; $2,5 < d < 5$ мм.

В экспериментах соблюдалось условие равных масс по сухому веществу угольного и торфяных наполнителей.

Электролитом являлся насыщенный водный раствор хлорида натрия.

В экспериментах применялись графитовые электроды (производство SIMENS) плотностью 1252 кг/м^3 , длиной 100 мм и диаметром – 9 мм.

Экспериментальная установка (рис. 3) состояла из полиэтиленовой банки 1, в которую

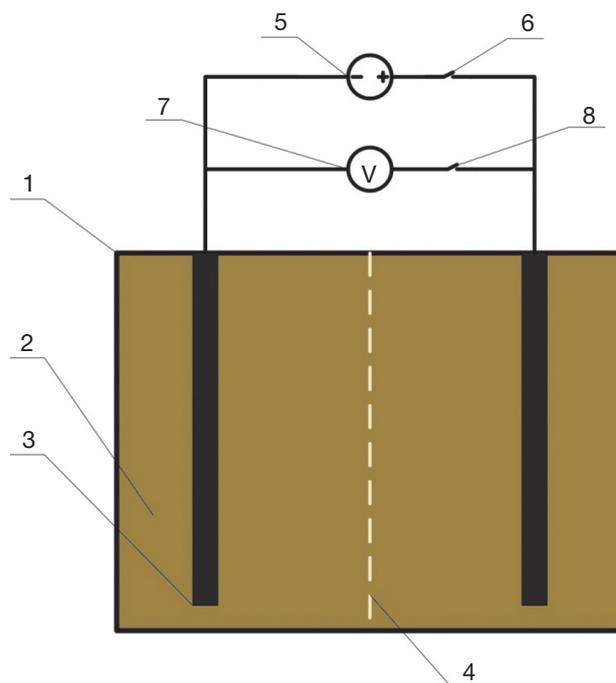


Рис. 3. Схема экспериментальной установки – рабочей модели суперконденсатора (здесь и далее на рисунках – пояснения в тексте)

Fig. 3. Diagram of the experimental setup – working model supercapacitor (here and in the other figures – explanations in the text)

¹ Торфяное месторождение и способ модификации, являющийся предметом «ноу-хау», в статье не раскрываются.

закладывался угольный (контрольный образец) или торфяной (экспериментальный образец) наполнитель 2 и устанавливались электроды 3. Банка разделялась на две равные части сепаратором из фильтровальной бумаги 4. Затем в банку заливался электролит. Насыщение электролитом торфяного наполнителя экспериментальной установки, отличалось от угольного тем, что он предварительно доводился до состояния полной влагоемкости (по водному солевому раствору) в воронке Бюхнера и только потом помещался в банку.

Зарядка модели суперконденсатора осуществлялась от лабораторного источника постоянного тока 5 при замыкании ключа 6. Замер напряжения разрядки производился после отключения источника тока при помощи вольтметра 7 (мультиметра DT830B) после замыкания ключа 8. Процесс саморазрядки контролировался в течение 1 часа.

Первая серия экспериментов была направлена на исследование работы устройств с активированным углем и торфяным сорбентом с использованием в качестве электролита водного раствора NaCl при следующих режимах: время зарядки ($t_{зар}$) – 1 минута, напряжение (U) – 1 вольт, сила тока (I) – 0,2 ампера; $t_{зар} = 5$ мин, $U = 1$ В, $I = 0,2$ А; $t_{зар} = 1$ мин, $U = 1$ В, $I = 1$ А; $t_{зар} = 5$ мин, $U = 1$ В, $I = 1$ А. Такой подход позволял проанализировать зависимость напряжения саморазрядки от времени зарядки и силы тока при фиксированном напряжении в соответствии с ограничениями по его величине, представленными в работе [3].

Вторая серия экспериментов была направлена на изучение работы устройств с различными фракциями торфяного наполнителя при изменении некоторых геометрических размеров модели ионистора (расстояние между электродами).

В третьей серии экспериментов проводился анализ использования в качестве основы для торфяного наполнителя торфа с высокой степенью разложения. Кроме того, напряжение заряда модели суперконденсатора составило 10 В. Такие значения напряжения были приняты с целью изучения возможности его увеличения в экспериментальной установке, а также для проверки вероятности разложения электролита в торфяной матрице.

Результаты экспериментов и их анализ

Сравнительный анализ влияния наполнителя¹ на саморазрядку экспериментальной установки показывает, что использование в качестве пористого материала сорбента из верхового торфа ($R_r = 5\%$) позволяет радикально увеличить напряжение на протяжении всего периода измерения. Так, например (рис. 4), в зависимости от тока зарядки напряжение выше в устройстве с торфяным наполнителем от 3,6...5 раз ($I_{зар} = 0,2$ А, кривые 1, 2) до 1,65...5,75 раз ($I_{зар} = 1,0$ А, кривые 1', 2'). Причем увеличение тока зарядки в 5 раз также повышает в нем напряжение на 15...50%, что заметно отличает торфяной наполнитель от стандартного (угольного) только по абсолютным показателям (по относительным – они примерно равны).

Увеличение времени зарядки до 10 минут (рис. 5) улучшает показатели экспериментальных исследований в обоих случаях (активированный уголь и торфяной сорбент).

Однако это улучшение особенно заметно только в модели ионистора с торфяным сорбентом. Во-первых, снижается до минимума влияние тока зарядки устройства. Во-вторых, превышение между максимальным (начало

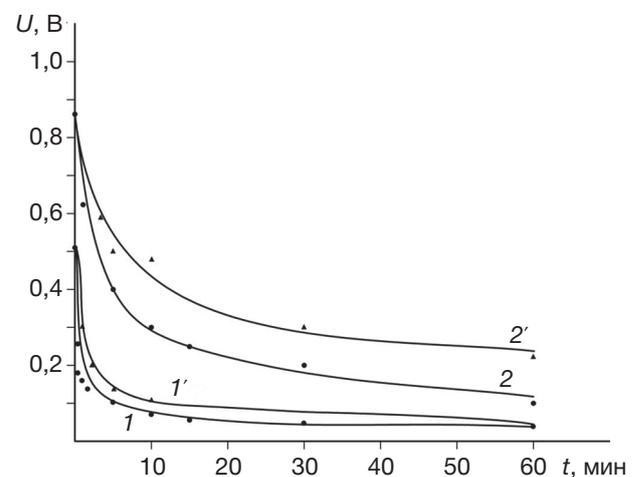


Рис. 4. График саморазрядки модели устройства для накопления электрической энергии (время зарядки – 1 минута) с наполнителем в виде: 1, 1' – активированного угля; 2, 2' – сорбента из верхового торфа ($R_r = 5\%$)

Fig. 4. Schedule of self-discharge of the device model for accumulating electrical energy (charge time is 1 minute) with a filler in the form of: 1, 1' – activated carbon; 2, 2' – sorbent from bog peat ($R_p = 5\%$)

¹ В этой серии экспериментов размер частиц торфяного наполнителя составлял менее 5 мм (как и для активированного угля).

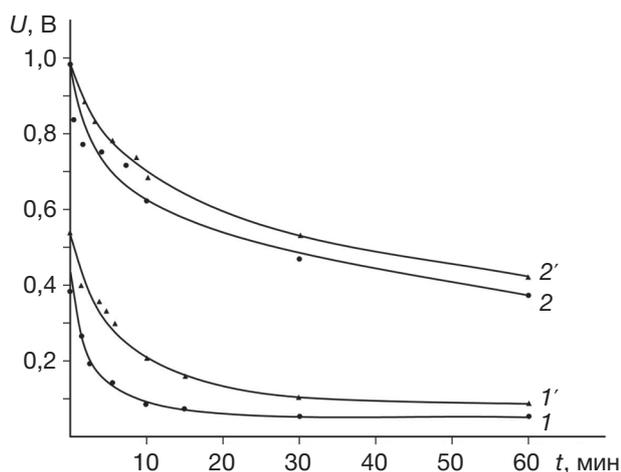


Рис. 5. График саморазрядки модели устройства для накопления электрической энергии (время зарядки – 10 минут) с наполнителем в виде: 1, 1' – активированного угля; 2, 2' – сорбента из верхового торфа ($R_T = 5\%$)

Fig. 5. Schedule of self-discharge of the device model for accumulating electrical energy (charge time is 10 minutes) with a filler in the form of: 1, 1' – activated carbon; 2, 2' – sorbent from bog peat ($R_p = 5\%$)

эксперимента, 0-я минута) и минимальным показателями напряжения (конец эксперимента, 60-я минута) составляет 2,54...3,35 раз для торфяного сорбента и 7,7...8,6 раз для активированного угля. В предыдущем случае (рис. 4) оно отличалось в 3,8...5,6 и 7,6...13 раз соответственно. И в-третьих, достигаются более высокие напряжения на протяжении всего времени разрядки при отключении внешнего зарядного устройства (сравнить рис. 4 и рис. 5).

Для оценки влияния размеров частиц на напряжение в установке была проведена серия экспериментов с торфяным наполнителем различных фракций (таблица 1). Анализ показывает, что размер фракций не оказывает большого влияния на процесс саморазрядки. Можно наблюдать незначительные улучшения в работе устройства при использовании фракций меньших размеров. Это заметно при применении наполнителя с диаметром частиц ниже 1,25 мм: на протяжении всего периода саморазрядки для этих фракций сохраняются более высокие (от 20% и выше) показатели напряжения. По всей вероятности, это связано с повышенным содержанием в нем гуминовых веществ, создающих условия для образования большего количества мицелл (ацидоид). Но для обоснования этого предположения необходимы дополнительные детальные ис-

следования с использованием торфа средней и высокой степени разложения. На настоящий момент использование мелкодисперсных фракций торфа больших перспектив не имеет по причине достаточно энергозатратных методов их извлечения из общего объема торфяного сырья (например, фрезерный торф), несопоставимых с улучшаемыми качественными характеристиками устройства.

Важной задачей при обосновании моделей устройств для накопления и хранения электрической энергии является изучение зависимости основных параметров от геометрических размеров элементов их конструкции. В этой связи при одинаковом объеме устройства необходимо было оценить влияние расстояния между электродами на исследуемые процессы. Для ее решения были изготовлены две идентичные экспериментальные модели, которые отличались только расстояниями между электродами – 40 и 100 мм. Для повышения объективности оценки эксперименты проводились с торфяными наполнителями двух отличающихся по размерам фракций: $d < 0,63$ мм и $d = 2,5...5,0$ мм (таблицы 2 и 3).

Анализ результатов экспериментов показывает разнонаправленную динамику изменения напряжений в зависимости от размера частиц,

Таблица 1. Изучение процесса саморазрядки модели устройства для накопления электрической энергии в зависимости от размера частиц торфяного наполнителя ($t_{зар} = 1$ мин; $I_{зар} = 1,0$ А; расстояние между электродами – 40 мм)

Table 1. Study of the self-discharge process of the device model for accumulating electrical energy, depending on the size of peat filler particles ($t_{ch} = 1$ мин; $I_{ch} = 1,0$ А; distance between electrodes – 40 мм)

Время саморазрядки (t), мин	Напряжение (U), В, при использовании фракций торфяного наполнителя (d), мм			
	менее 0,63	0,63...1,25	1,25...2,5	2,5...5,0
0	0,83	0,82	0,75	0,8
1	0,56	0,56	0,45	0,45
2	0,48	0,47	0,34	0,35
3	0,44	0,41	0,29	0,29
5	0,39	0,35	0,23	0,23
10	0,33	0,27	0,17	0,17
15	0,29	0,24	0,15	0,15
30	0,23	0,18	0,13	0,13
60	0,16	0,13	0,11	0,12

Таблица 2. Изучение процесса саморазрядки модели устройства для накопления электрической энергии (расстояние между электродами – 100 мм)

Table 2. Study of the self-discharge process of the device model for accumulating electrical energy (distance between electrodes – 100 mm)

t, мин	Размер частиц торфяного заполнителя (d), мм							
	менее 0,63				от 2,5 до 5,0			
	время зарядки, мин (ток зарядки $I_{зар} = 0,2$ А)		время зарядки, мин (ток зарядки $I_{зар} = 1,0$ А)		время зарядки, мин (ток зарядки $I_{зар} = 0,2$ А)		время зарядки, мин (ток зарядки $I_{зар} = 1,0$ А)	
	1	5	1	5	1	5	1	5
0	0,84	0,84	0,86	0,9	0,79	0,82	0,75	0,88
1	0,53	0,64	0,58	0,72	0,48	0,64	0,47	0,66
2	0,44	0,55	0,5	0,61	0,39	0,57	0,38	0,57
3	0,39	0,5	0,45	0,56	0,34	0,53	0,33	0,52
5	0,33	0,44	0,4	0,49	0,29	0,48	0,29	0,46
10	0,28	0,36	0,35	0,41	0,24	0,41	0,24	0,39
15	0,25	0,33	0,33	0,38	0,22	0,38	0,22	0,35
30	0,23	0,29	0,29	0,33	0,2	0,34	0,19	0,31
60	0,21	0,25	0,27	0,29	0,19	0,3	0,18	0,28

Таблица 3. Изучение процесса саморазрядки модели устройства для накопления электрической энергии (расстояние между электродами – 40 мм)

Table 3. Study of the self-discharge process of the device model for accumulating electrical energy (distance between electrodes – 40 mm)

t, мин	Размер частиц торфяного заполнителя (d), мм							
	менее 0,63				от 2,5 до 5,0			
	время зарядки, мин (ток зарядки $I_{зар} = 0,2$ А)		время зарядки, мин (ток зарядки $I_{зар} = 1,0$ А)		время зарядки, мин (ток зарядки $I_{зар} = 0,2$ А)		время зарядки, мин (ток зарядки $I_{зар} = 1,0$ А)	
	1	5	1	5	1	5	1	5
0	0,8	0,92	0,83	0,89	0,83	0,77	0,8	0,76
1	0,52	0,66	0,56	0,63	0,44	0,56	0,45	0,57
2	0,4	0,55	0,48	0,52	0,34	0,51	0,35	0,49
3	0,34	0,5	0,44	0,45	0,31	0,47	0,29	0,45
5	0,28	0,43	0,39	0,38	0,25	0,41	0,23	0,39
10	0,21	0,35	0,33	0,3	0,2	0,34	0,17	0,33
15	0,18	0,31	0,29	0,27	0,19	0,31	0,15	0,3
30	0,16	0,27	0,23	0,23	0,17	0,28	0,13	0,26
60	0,14	0,24	0,16	0,2	0,16	0,25	0,12	0,23

времени и величины тока зарядки в устройствах. Незначительное повышение напряжения наблюдается в некоторых экспериментах с моделями ионисторов с расстоянием между электродами 100 мм и в основном при их зарядке в течение 5 минут токами 0,2 А и 1,0 А.

Но численные значения этих изменений незначительны и не позволяют отдать предпоч-

тение тому или другому экспериментальному образцу. Подключение потребителя¹ к модели суперконденсатора также не дало положительных результатов по причине относительно невысоких значений напряжения и силы тока.

Для оценки вероятности увеличения этих значений, а также анализа влияния степени разложения торфа на показатели работы су-

¹ Потребителем являлся электродвигатель от привода CD персонального компьютера с сопротивлением 12,8 Ом.

Таблица 4. Изучение процесса саморазрядки модели устройства для накопления электрической энергии с торфяными наполнителями

Table 4. Study of the self-discharge process of the device model for accumulating electrical energy

t, сек	0	5	10	20	30	60	120	300	600	1800	3600
Время зарядки, сек	Напряжение саморазрядки, В										
Наполнитель на основе верхового магелланикум-торфа с $R_r = 5\%$											
5	2,22	1,79	1,57	1,41	1,30	1,08	0,89	0,74	0,61	0,46	0,38
15	2,91	1,71	1,46	1,28	1,2	0,92	0,73	0,57	0,55	0,48	0,37
60	2,68	2,09	1,89	1,56	1,36	1,36	1,1	0,91	0,76	0,68	0,63
Наполнитель на основе верхового пушицево-сфагнового торфа с $R_r = 30\%$											
5	2,77	1,98	1,94	1,78	1,68	1,46	1,33	1,28	1,22	1,02	0,77
15	2,64	1,7	1,62	1,5	1,39	1,19	1,02	0,85	0,84	0,78	0,76
60	2,69	2,29	2,14	2,01	1,92	1,74	1,57	1,16	0,99	0,99	1,0

перконденсатора была проведена серия экспериментов с двумя видами верхового торфа со слабой и высокой степенью биохимического распада (таблица 4). Отличием от предыдущих экспериментов является увеличение напряжения зарядки в 10 раз – до 10 В. Сила тока зарядки осталась прежней – 1 А.

Анализ экспериментальных данных позволил установить следующее. При отключении внешнего зарядного устройства напряжение резко падает до диапазона 2...3 В. Причем это характерно как для слаборазложившегося торфа, так и для торфа с высоким значениям R_r . Необходимо отметить, что в некоторых случаях этот диапазон составил 4...5 В. Поскольку это были лишь фрагментарные случаи, отмечен факт их появления, но в работе они не анализировались.

Далее, начиная примерно с временного диапазона 5...10 секунд, показатели установки на высокоразложившимся торфе начинают увеличиваться на протяжении всего наблюдаемого отрезка времени (1 час).

Увеличение времени зарядки установки несколько улучшает ее характеристики, однако эта зависимость не носит линейного характера. По-видимому, времени зарядки 30...60 секунд вполне достаточно для обеспечения работоспособности установки. Тем более что по мере приближения зарядки к одной минуте начинает ощущаться запах хлора, что свидетельствует о начале разложения электролита (хлорида натрия).

По сравнению с данными, представленными в таблицах 1–3, необходимо отметить увеличение напряжения на протяжении всего

периода саморазрядки. Показательными являются точки 1, 10, 30 и 60 минут разрядки. В точке 1 минута диапазон изменения напряжения в устройстве с верховым торфом низкой степени разложения (при прочих равных условиях) составлял 0,45...0,56 В (см. таблицу 3); 10 минут – 0,17...0,33 В; 30 минут – 0,13...0,23 В; 60 минут – 0,12...0,16 В.

Увеличение напряжения зарядки в 10 раз приводит к тому, что в вышеуказанных диапазонах напряжение стабильно растет в 2,7...4,5 раз во всех точках (см. таблицу 4): 1 минута – 1,36 В; 10 минут – 0,76 В; 30 минут – 0,68 В; 60 минут – 0,63 В. Причем характерно, что напряжение хотя и уменьшается за один час в 2,15 раз, все равно сохраняет достаточно высокие значения, достаточные для устойчивого (в течение 30...60 секунд) функционирования используемого в работе потребителя.

Замена наполнителя на сорбент из торфа высокой степени разложения приводит к дальнейшему росту показателей напряжения: во-первых, падение во временном промежутке «1 минута – 1 час» составляет 1,74 раза; во-вторых его показатель приближается к 1 В, что соответствует данным литературных источников [3, 5] и характерно для используемого в устройстве электролита.

Полученные экспериментальные данные подтверждают озвученную выше гипотезу о положительном влиянии высокоразложившейся коллоидной фракции (потенциальный источник мицелл) на электрохимические процессы в исследуемой системе. Для объяснения сущности физико-химического механизма этих процессов в настоящее время проводятся до-

полнительные исследования с использованием большего количества типичных представителей торфяного сырья.

Таким образом, в работе впервые представлены результаты исследований по использованию торфяных коллоидных капиллярно-пористых систем в качестве наполнителей электрохимических устройств для накопления и хранения электрической энергии. Предварительный анализ данных позволяет прогнозировать высокую востребованность полученных результатов экспертным сообществом для продолжения исследований в этом новом нетрадиционном направлении использования продуктов переработки торфа.

Библиографический список

1. *Физико-химические основы технологии торфяного производства* / И.И. Лиштван, А.А. Терентьев, Е.Т. Базин, А.А. Головач. – Мн.: Наука и техника, 1983. – 232 с.
2. *Физика и химия торфа* / И.И. Лиштван, Е.Т. Базин, Н.И. Гамаюнов, А.А. Терентьев. – М.: Недра, 1989. – 304 с.
3. *Шорникова О.Н., Максимова Н.В., Авдеев В.В.* Связующие для полимерных композиционных материалов. – М.: МГУ, 2010. – 52 с.
4. *Панкрашкин А.* Ионисторы Panasonic: физика, принцип работы, параметры // Компоненты и технологии. – 2006. – № 9. – С. 12–17.
5. *Кузнецов В.П., Панькина О.С., Мачковская Н.И.* Конденсаторы с двойным электрическим слоем (ионисторы): разработка и производство // Компоненты и технологии. – 2006. – № 6. – С. 12–16.
6. *Беляков А.И.* Электрохимические суперконденсаторы: текущее состояние и проблемы развития // Электрохимическая энергетика. – 2006. – Т. 6. – № 3. – С. 146–149.
7. *Фридрихсберг Д.А.* Курс коллоидной химии. – СПб.: Лань, 2010. – 416 с.
8. *Hongfang M., Zhibao L., Xiaodan W. et al.* Supercapacitive performance of porous carbon materials derived from tree leaves // Journal of Renewable and Sustainable Energy. – 2017. – Vol. 9. – P. 044105.
9. *Лиштван И.И.* Исследование физико-химической природы торфа и процессов структурообразования в торфяных системах с целью регулирования их свойств: Автореф. дис. ... д-ра. техн. наук. – Калинин, 1969. – 62 с.
10. *Misnikov O.* Scientific basis of a new method for hydrophobic modification of mineral binders using peat products // Mires and Peat. – 2016. – Vol. 18. – Article 22. – P. 1–15.
11. *Misnikov O.* Perspectives for application of moulded sorption materials based on peat and mineral compositions // E3S Web of Conferences «II nd International Innovative Mining Symposium». – 2017. – Vol. 21. – P. 01020.
12. *Гамаюнов Н.И., Гамаюнов С.Н.* Осмотические и электрокинетические явления в открытых системах. – Тверь: ТвГТУ, 2013. – 187 с.
13. *Крупнов Р.А., Базин Е.Т., Попов М.В.* Использование торфа и торфяных месторождений в народном хозяйстве. – М.: Недра, 1992. – 232 с.

УДК 622.33

Столбикова Г.Е.

Столбикова Галина Евгеньевна, к. т. н., доцент кафедры горного дела, природообустройства и промышленной экологии ТвГТУ. gtp1938@mail.ru.

Купорова А.В.

Купорова Александра Владимировна – старший преподаватель кафедры горного дела, природообустройства и промышленной экологии ТвГТУ. borale@inbox.ru.

ИССЛЕДОВАНИЕ МЕХАНИЗМА СУШКИ ФРЕЗЕРНОГО ТОРФА С ПОМОЩЬЮ РАДИОАКТИВНОЙ МЕТКИ

Аннотация. Представлены исследования перемещения радиоактивности вместе с влагой торфа при его сушке, расположенном как влагоизолированно, так и на влажной залежи. Определены интенсивности испарения влаги в зависимости от времени сушки, влагосодержания, толщины расстила при трех режимах сушки, а также интенсивность влагообмена крошки с подстилающей залежью. Установлено, что причиной положительного влагообмена (движение влаги из залежи к сушиму торфу) является увеличение относительной влажности воздуха в порах и над контактирующим слоем сушеного торфа за счет транзитного переноса прослоек пара из влажной залежи.

Ключевые слова: торф, залежь, расстил, сушка, испарение, интенсивность, влагообмен.

Stolbikova G.E.

Stolbikova Galina E., Ph.D (Technical Sciences), Ass. Prof. of the Chair of Mining Engineering and Industrial Ecology, the Tver State Technical University. gtp1938@mail.ru.

Kuporova A.V.

Kuporova Aleksandra V., Senior Lecturer of the Chair of Mining Engineering and Industrial Ecology, the Tver State Technical University. borale@inbox.ru.

RESEARCH OF THE MECHANISM OF DRYING MILLING PEAT WITH THE RADIOACTIVE MARKER

Annotation. Studies of the movement of radioactivity along with peat moisture during drying, located both in a moisture-insulated and wet deposit, are presented. The intensity of moisture evaporation was determined depending on the drying time, moisture content, thickness of the spread under three drying modes, as well as the intensity of moisture exchange of crumbs with the underlying deposit. It is established that the cause of positive moisture exchange (movement of moisture from the deposit to the dried peat) is an increase in relative humidity in the pores and above the contacting layer of dried peat due to the transit transfer of vapor layers from the wet deposit.

Key words: peat, deposit, spread of peat, drying, evaporation, intensity, moisture exchange.

Одной из основных технологических операций производства фрезерного торфа является сушка торфа в естественных изменяющихся как в течение сезона, так и в течение суток, полевых условиях. Сушка торфа зависит от метеорологических, гидрогеологических и технологических факторов, а также от физико-химических особенностей самого торфа. Основным процессом сушки крошкообразного влажного торфа является испарение влаги при различных режимах. Кроме испарения влаги на сушку крошки оказывает большое влияние влагообмен между сушимым торфом и подстилающей залежью. При сушке фрезерного торфа на влажной торфяной залежи (монолите) различают отрицательный и положительный влагообмен. Под отрицательным влагообменом понимают перемещение влаги из сушимой крошки в грунт залежи под действием термовлагопроводности. Положительным влагообменом считают движение влаги из подстилающей залежи в сушимый расстил крошки [1].

Объектом исследования был принят низинный торф степенью разложения около 35% с размерами частиц 2 и 4 мм при трех режимах радиационно-конвективной сушки интенсивностью радиации 0,26; 0,50 и 0,86 кВт/м².

Для выяснения механизма положительного влагообмена эксперименты проводились с использованием радиоактивной метки. Опыты проводились при трех режимах радиации (малом – 0,26, среднем – 0,50 и высоком – 0,86 кВт/м²), что соответствовало трем режи-

мам сушки в естественных условиях. Между сушимым расстилом крошки и монолитом залежи вносилась радиоактивная метка. Через каждые 2,5 ч сушки расстил крошки и подстил разбирался по слоям с целью выяснения области проникновения метки в крошку и в подстил и определялась интенсивность радиации каждой прослойки и средняя для всего слоя, а также влагосодержание каждой прослойки. По полученным данным построены зависимости (рис. 1 а, б) изменения радиоактивности в различные периоды сушки.

Из анализа экспериментальных данных следует, что влага из залежи в сохнувший расстил перемещается в основном в виде пара. Этот пар создает в прослойках, контактирующих с залежью, высокую относительную влажность, близкую к единице, что влечет торможение сушки нижних прослоек. В процессе опыта относительная влажность воздуха, температура сухого и смоченного термометров замерялась по толщине слоя 10 мм через каждые 2 мм с помощью термопар. При сушке крошки с размером частиц как 2 так и 4 мм в течение первых 2,5 ч (и 15 ч в ночное время) радиоактивная метка проходит в крошку и в подстилающую залежь на глубину до 1 см. В этот период сушки имеет место только диффузионный перенос влаги.

В последующие 2,5 ч зона сушки зона испарения (кривая 2) перемещается в 4 мм слой как для крошки, так и в подстиле. Радиоактивная метка при этом проникает в грунт как за счет диффузии, так и за счет термовлагопроводнос-

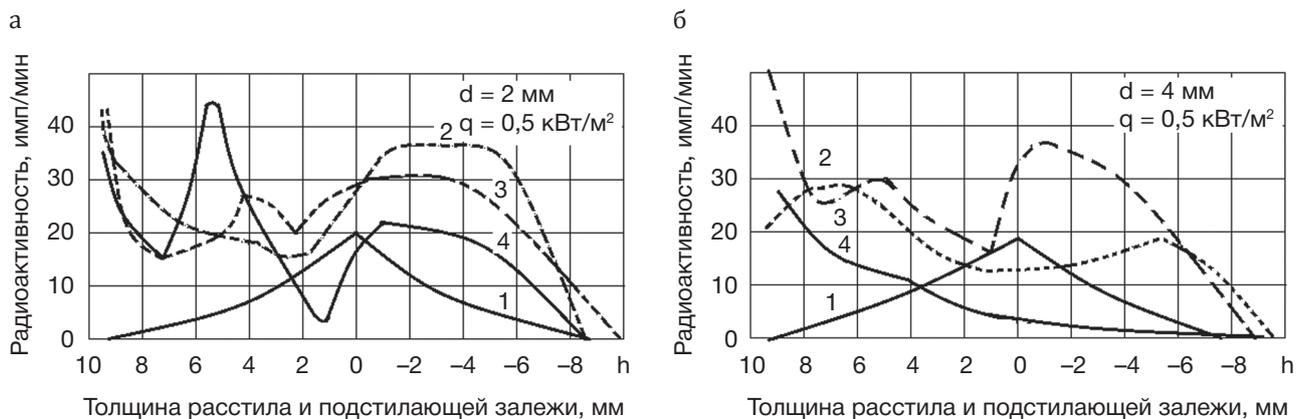


Рис. 1. Изменение средней радиоактивности в слое и в подстиле в результате влагообмена за разные промежутки времени: 1 – 2,5 ч; 2 – 5,0 ч; 3 – 7,5 ч; 4 – 10 ч. а) $d = 2$ мм; $h = 10$ мм; $q = 0,5$ кВт/м²; б) $d = 4$ мм; $h = 10$ мм; $q = 0,5$ кВт/м²

Fig. 1. The change of average radioactivity in the layer and in the subbed as a result of moisture exchange in different time intervals: 1 – 2.5 h; 2 – 5.0 h; 3 – 7.5 h; 4 – 10 h. а) $d = 2$ mm; $h = 10$ mm; $q = 0.5$ kW/m²; б) $d = 4$ mm; $h = 10$ mm; $q = 0.5$ kW/m²

ти. Через 7,5 ч радиоактивность поверхностного слоя (кривая 3) снижается вследствие обратного диффузионного потока от мест с большей активностью в области с меньшей активностью. Радиоактивная метка еще глубже переходит в грунт и в слой за счет диффузии, а также переносится пленками жидкости внутри слоя. В последние 2,5 ч (после 10 ч сушки) зона испарения перемещается в более глубокие прослойки (более 6 мм) (кривая 4), радиоактивность периферийных прослоек крошки максимальная за счет пленочного подтягивания влаги из нижних прослоек. Когда пленочный перенос прекращается, метка за счет диффузии от поверхности проникает в глубь расстила. Радиоактивность же поверхностного горизонта залежи заметно уменьшается, так как активность залежи снижается.

Таким образом, в последующие часы сушки метка просто перераспределяется, но заметно ее выноса в залежь или расстил не наблюдается. Следовательно, в течение большого отрезка времени сушки влага в жидкой фазе не поступает в подстил (залежь).

Из характерных кривых сушки нижних 2 мм прослоек, контактирующих с залежью (рис. 2) в различных по толщине расстилах (2, 4, 8 и 16 мм) при средней интенсивности радиации $0,5 \text{ кВт/м}^2$ следует, что в тонких слоях с увели-

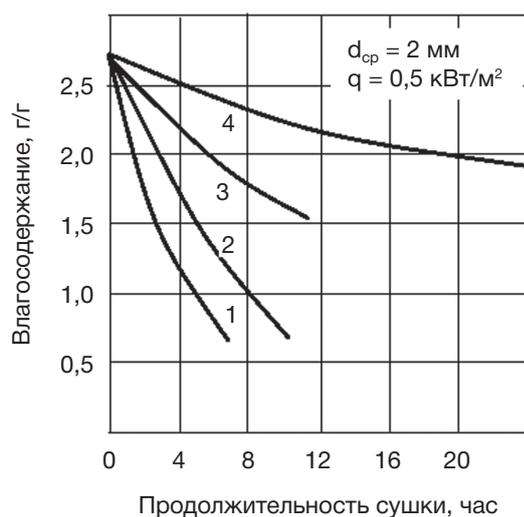


Рис. 2. Графики изменения влагосодержания нижнего 2 мм слоя фрезерной крошки, контактирующего с влажной залежью. Толщина расстила, мм: 1 – 2; 2 – 4; 3 – 8; 4 – 16

Fig. 2. Graphs of change of moisture content of lower 2 mm layer of milling crumb contacting with wet deposit. Thickness of spread, mm: 1 – 2; 2 – 4; 3 – 8; 4 – 16

чением глубины до 8 мм включительно время сушки возрастает пропорционально толщине расстила, а затем эта зависимость уже не линейная.

Как отмечалось в работе [1], с уменьшением толщины расстила влияние влагообмена на ход сушки становится значительным. При толщине расстила 10–16 мм положительный влагообмен незначителен и составляет 1–2%, в то время как при сушке крошки толщиной 4–6 мм эта величина достигает уже 7–12%. Отрицательный же влагообмен, особенно в первые часы сушки тонких расстилов, создает торможение процесса сушки фрезерной крошки за счет высокой относительной влажности воздуха в порах слоя торфа и над слоем, который создается парами испаряющейся из залежи влаги.

Испарение влаги из слоя и подстилающего грунта происходит преимущественно за счет поглощенной радиации. Полученное от радиационного нагревателя тепло расходуется не только на испарение влаги, но и на нагрев слоя и грунта. Передача тепла от слоя в грунт зависит в первую очередь от их теплофизических свойств.

Из анализов кривых суммарных интенсивностей испарения влаги из слоя крошки и грунта $i_{об}$ средних интенсивностей испарения из слоя $i_{сл}$ и только из грунта $i_{зал}$ при различных толщинах расстила и режимах сушки следует, что с увеличением времени сушки суммарная интенсивность испаряемости $i_{об}$ уменьшается. Значение $i_{об}$ снижается и с уменьшением влагосодержания всего расстила. Также уменьшаются и интенсивности испарения из слоя $i_{сл}$ и из подстилающей залежи грунта $i_{зал}$ по мере снижения влагосодержания в расстиле и с увеличением времени сушки (рис. 3, а и б). Связано это с тем, что с течением времени верхний слой крошки высыхает и становится теплоизолирующим, так как фрезерный торф имеет большую пористость (до 95%), плохо проводит тепло. Поэтому все эти показатели с течением времени и с уменьшением влагосодержания имеют тенденцию к снижению. По мере увеличения толщины сушеного слоя $i_{об}$ снижается, а $i_{сл}$ возрастает. Объясняется это тем, что в больших по толщине слоях аккумулируется больше тепла и, соответственно, меньше его переносится в грунт. В тонких же пористых слоях (до 8 мм) часть инфракрасного излучения непосредственно поглощается грунтом [2], вызывая интенсивное испарение

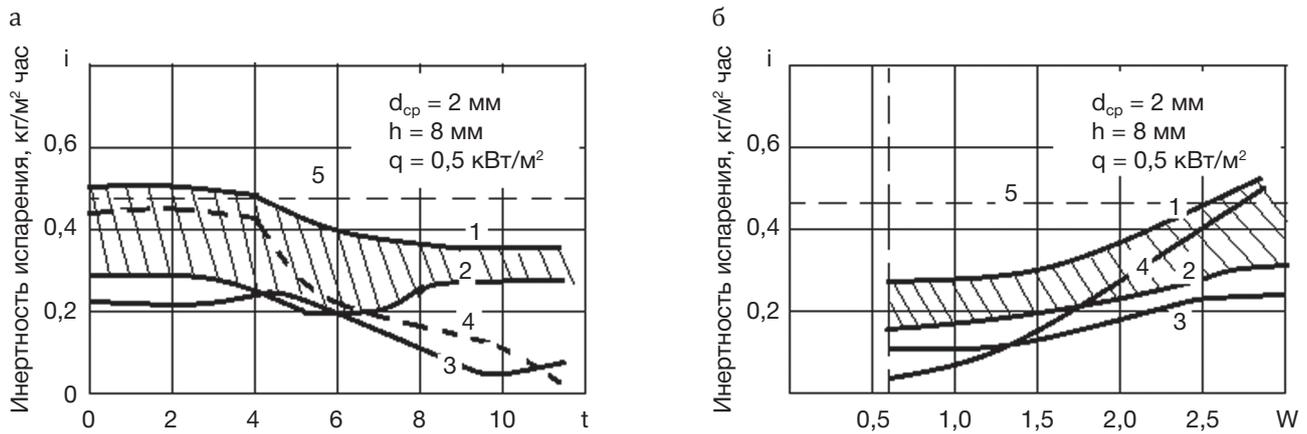


Рис. 3. Зависимость интенсивности испарения от времени сушки (а) и от влагосодержания (б) при толщине расстила 8 мм; интенсивность испарения i , $\text{кг/м}^2 \cdot \text{ч}$: 1 – суммарная $i_{\text{об}}$; 2 – из залежи $i_{\text{зал}}$; 3 – из расстила $i_{\text{исл}}$; 4 – из слоя, влагоизолированного от подстила $i_{\text{слиз}}$; 5 – с открытой водной поверхности $i_{\text{овп}}$

Fig. 3. The dependence of evaporation intensity on drying time (a) and moisture content (b) at thickness is 8 mm; Evaporation intensity i , $\text{kg/m}^2/\text{h}$: 1 – total i_{tot} ; 2 – from a deposit i_{dep} ; 3 – from a spread i_{spr} ; 4 – from the layer moisture-insulated from the bedding i_{ins} ; 5 – from open water surface i_{wat}

с его поверхности. Кроме того, в нижних прослойках толстого сохнущего слоя вследствие прогрева и испарения влаги из слоя (в очень малых количествах не более 1–2%) в грунте и в нижних слоях расстила, который контактирует с подстилом, создается высокая относительная влажность воздуха (90–100%), так как диффузия паров воды через толстые слои затруднена. Это также приводит к снижению интенсивности сушки слоя и к испарению с поверхности грунта. Необходимо также отметить, что влагосодержание подстиляющего грунта (торфяной залежи) в течение опытов изменялось незначительно вследствие миграции влаги из нижележащих более увлажненных горизонтов залежи. Для слоев толщиной менее 8 мм интенсивность сушки из расстила мало изменяется, что связано с механизмом сушки в тонких слоях, но существенно зависит от интенсивности радиации, так как чем больше интенсивность радиации, тем больше интенсивность испарения [3]. Влияние же фракционного состава (размеров частиц) на интенсивность испарения влаги из расстилов торфа незначительно. Такие же кривые получены для фрезерной крошки размерами 2 и 4 мм для толщины расстила 2, 4, 8 и 16 мм при режимах сушки 0,26; 0,50 и 0,86 кВт/м^2 .

На основании полученных данных и их обработки были построены зависимости средней испаряемости сушки и интенсивности влагообмена при различной толщине расстила фрезер-

ной крошки (2–16 мм) и с частицами размером 4 мм при средней интенсивности радиации 0,50 кВт/м^2 (рис. 4) без влагообмена (испаряемость из расстила, изолированного от подстиляющей залежи) (кривая 1) и с влагообменом (на влажной торфяной залежи) (кривая 2). Разность между этими кривыми показывает влияние, которое оказывает подстиляющий грунт на интенсивность сушки, т. е. среднюю интенсивность положительного влагообмена (кривая 3). Кроме того имеет место и отрицательный влагообмен (кривая 4) из слоя в залежь (особенно в начальный период сушки

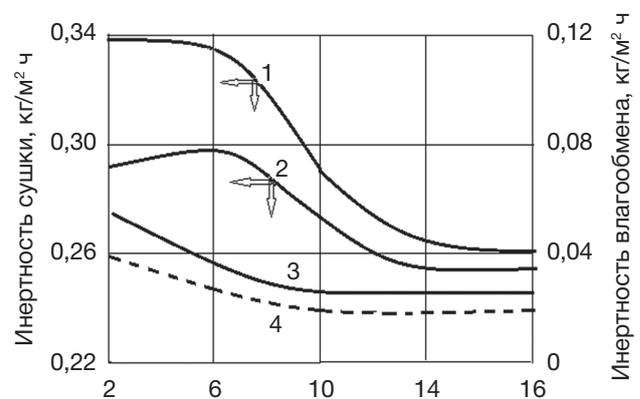


Рис. 4. Зависимость средней интенсивности сушки и влагообмена от толщины расстила фрезерного торфа

Fig. 4. Dependence of average intensity of drying and moisture exchange on thickness of milling peat spread

и прогрева крошки). Как показали эксперименты, проведенные с радиоактивной меткой, средняя интенсивность термовлагопроводности снижается с увеличением толщины расстила в связи со снижением температурных градиентов и составляет 5–10% средней интенсивности испарения из расстила [4]. Следовательно, для слоев более 16 мм при инженерных расчетах интенсивности влагообмена при сушке фрезерного торфа можно пренебречь, так как он составляет всего менее 0,015 кг/м²ч.

В полевых производственных условиях установлено, что влагосодержание торфа в верхних слоях залежи, несмотря на ее сработку, мало изменяется в течение сезона. При среднем значении влагосодержания 3,6 кг/кг коэффициент вариации составил 0,15. Вероятное отклонение от среднего составило всего 0,08 кг/кг, что находится в пределах точности определения влагосодержания. Поэтому отрицательное влияние испарения влаги из верхних слоев залежи на процесс сушки торфяной крошки в расстиле в значительной мере компенсируется незначительным снижением начального влагосодержания в последующем цикле, а это в свою очередь не повлияет на снижение величины цикловых и сезонных сборов торфа, которые являются основными технологическими показателями производства фрезерного торфа [5].

Библиографический список

1. *Столбикова Г.Е.* Исследование термовлагопроводности при сушке фрезерного торфа / Г.Е. Столбикова, А.В. Купорова // Труды Инсторфа. – 2017. – № 15 (68). – С. 10–14.
2. *Лебедев П.Д.* Сушка инфракрасными лучами / П.Д. Лебедев // Госэнергоиздат. – 1960. – 232 с.
3. *Малков Л.М.* Исследование процесса радиационно-конвективной сушки гранулированного и кускового торфа / Л.М. Малков, Н.С. Панкратов // Труды филиала ВНИИТП, вып. 1. – Госэнергоиздат, 1961. – 216 с.
4. *Смирнов В.И.* Исследование механизма радиационно-конвективной сушки коллоидных капиллярно-пористых тел с помощью радиоактивных индикаторов / В.И. Смирнов, Н.И. Гамаюнов // Инженерно-физический журнал. – 1966. – № 11. – Вып. 2. – С. 12–14.
5. *Столбикова Г.Е.* Исследование различных технологических схем сушки фрезерного торфа / Г.Е. Столбикова, А.В. Купорова // В сборнике: Саморазвивающаяся среда технического университета Материалы Всероссийской научно-практической конференции: в 2-х частях / Под ред. Е.А. Евстифеевой, С.В. Рассадина. – 2017. – С. 120–127.

УДК 621.867.8:622.331

Петренко С.М.

Петренко Станислав Михайлович, старший преподаватель кафедры «Горные машины» Белорусского национального технического университета, г. Минск, Беларусь. petrenrko.s@bntu.by.

Березовский Н.И.

Березовский Николай Иванович, д. т. н., профессор, зав. кафедрой «Горные машины» Белорусский национальный технический университет, г. Минск, Беларусь. berezovsky@bntu.by.

Petrenko S.M.

Petrenko Stanislav M., Senior Lecturer of the Department of Mining Machines, Belarusian National Technical University, Minsk, Belarus.

Berezovsky N.I.

Berezovsky Nikolay I., Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Chair of Mining Machines, Belarusian National Technical University, Minsk, Belarus.

ВЛИЯНИЕ РЕЖИМНЫХ ПАРАМЕТРОВ ВЕРТИКАЛЬНОГО ПНЕВОТРАНСПОРТА ИЗМЕЛЬЧЕННОГО ТОРФА НА ОТНОСИТЕЛЬНОЕ СКОЛЬЖЕНИЕ ВОЗДУШНОЙ И ТВЕРДОЙ ФАЗ

Аннотация. В данной работе определены численными методами действительные режимные параметры вертикального пневмотранспорта фрезерного торфа по известным из опыта перепаду давлений на участке пневмотранспортного трубопровода и расходным параметрам. Выполнена оценка влияния основных режимных параметров на коэффициент относительного скольжения воздушной и твердой фаз.

Ключевые слова: торф, вертикальный пневмотранспорт, измельченный торф, действительные режимные параметры, воздушная и твердая фаза, относительное скольжение.

EFFECT OF VERTICAL MODE PARAMETERS OF PNEUMATIC TRANSPORT OF CRUSHED PEAT RELATIVE SLIDING OF AIR AND SOLID PHASES

Annotation. In this work, the actual operating parameters of the vertical pneumatic conveying of milled peat are determined by numerical methods according to the pressure differential in the pneumatic conveying pipeline section and flow rates known from experience. The assessment of the influence of the main operating parameters on the coefficient of relative slip of the air and solid phases is carried out.

Key words: vertical pneumatic conveying, ground peat, actual operating parameters, air and solid phase, relative slip.

Под режимными параметрами процесса пневмотранспорта сыпучих материалов понимаются факторы, изменение которых приводит к соответствующему изменению потерь давления на единице длины пневмотранспортного трубопровода. Анализ результатов теоретических и экспериментальных исследований показывает, что к ним относятся: физические свойства, состояние и расход несущей воздушной фазы, массовая расходная концентрация или производительность по транспортируемому материалу, размерно-плотностные и аэродинамические характеристики транспортируемых частиц, а также геометрические размеры трубопровода и его расположение в пространстве.

В соответствии с физической моделью регулирования силового взаимодействия в потоке аэросмеси [1] изменение любого режимного параметра или их совокупности вызывает изменение условий взаимодействия поверхностных, массовых и инерционных сил в объеме движущейся аэросмеси, что приводит к переходу к режиму течения с другим значением истинной объемной концентрацией материала и другими удельными затратами энергии (потерями давления на единице длины пневмотранспортного трубопровода). Изменение истинной объемной концентрации частиц материала в потоке аэросмеси реализуется путем перехода к режиму течения с другим относительным скольжением воздушной и твердой фаз.

Скольжение воздушной и твердой фаз принято определять по величине коэффициента

относительного скольжения $\varepsilon = \vartheta_m / \vartheta_v$, где ϑ_m и ϑ_v – действительные (с учетом стеснения поперечного сечения пневмотранспортного трубопровода торфяными частицами). Экспериментальное определение истинной объемной концентрации или непосредственное измерение действительных скоростей торфяных частиц и воздуха достаточно сложно в отличие от регистрации так называемых расходных режимных параметров – расходной массовой концентрации $\mu = Q_m / Q_v$ и приведенных (отнесенных ко всему поперечному сечению трубопровода) скоростей воздуха $V_v = 4Q_v / \pi D^2$ и частиц материала $V_m = 4Q_m / \pi D^2$, где Q_v и Q_m – массовые производительности по воздуху и торфяным частицам, кг/с.

Известны [2] экспериментальные зависимости перепада давления Δp на участке пневмотранспортного трубопровода длиной L от приведенной (отнесенной ко всему поперечному сечению трубопровода) скорости воздуха V_v при различных расходных массовых производительностях Q_m по измельченному торфу. Зависимости $\Delta p / L = f(V_v)$ получены при вертикальном пневмотранспорте образцов измельченного торфа с разными размерно-плотностными (средний диаметр d и плотность торфяных частиц ρ_m) и аэродинамическими (приведенная скорость витания V_{sn}) характеристиками в трубопроводах различных диаметров D . Типичный вид таких зависимостей $\Delta p / L = f(V_v)$ представлен на рис. 1.

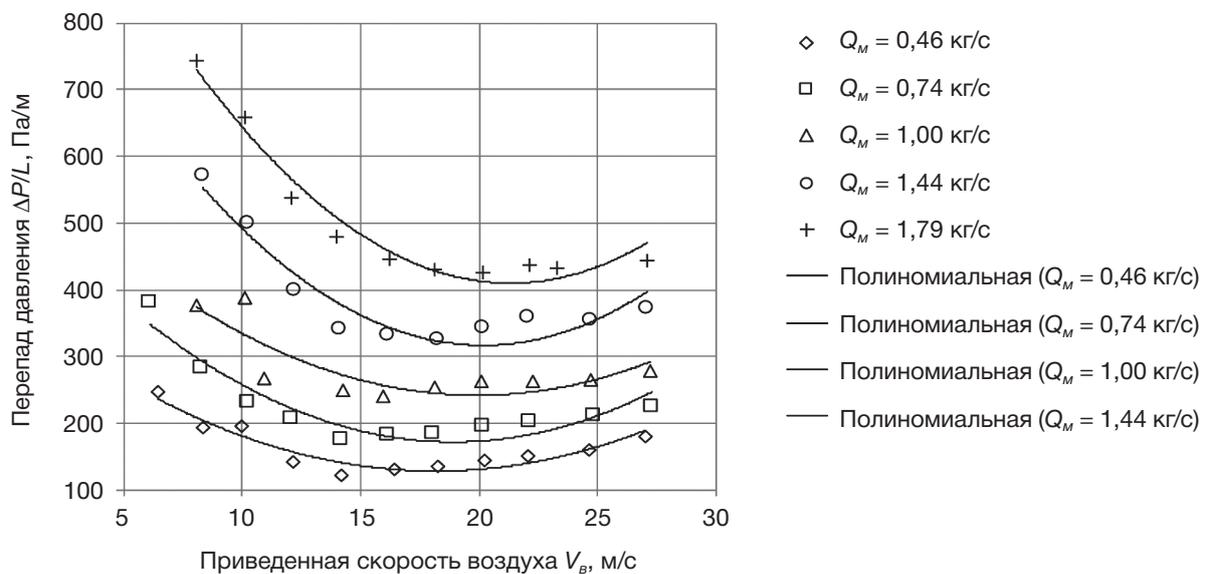


Рис. 1

Fig. 1

Для определения действительных скоростей частиц материала и воздуха из экспериментальных зависимостей $\Delta p / L = f(V_g)$ реализован следующий алгоритм [4].

При полной стабилизации течения аэросмеси за разгонным участком вертикального пневмотранспортного трубопровода уравнение движения торфовоздушной смеси имеет вид:

$$\frac{\Delta p}{L} = (1 - \varphi)\rho_g g + \varphi\rho_m g + (1 - \varphi)\lambda_g \rho_g \frac{\vartheta_g^2}{2D} + \varphi\lambda_m \rho_m \frac{\vartheta_m^2}{2D}, \quad (1)$$

где φ – истинная объемная концентрация торфяных частиц в аэросмеси; ρ_g и ρ_m – плотности соответственно воздушной и твердой фаз; g – ускорение свободного падения; λ_g – коэффициент сопротивления перемещению воздушной фазы; λ_m – коэффициент сопротивления перемещению частиц твердой фазы.

Коэффициент λ_g сопротивления перемещению воздушной фазы определяется по действительной скорости воздуха эмпирическими зависимостями вида $\lambda_g = f(Re, \Delta/D)$, где $Re = \vartheta_g D \rho_g / \eta$ – критерий Рейнольдса; η – динамическая вязкость воздуха, Δ – шероховатость стенок трубопровода.

Коэффициент сопротивления перемещению частиц твердой фазы в уравнении (1) определяется [3] из выражения:

$$\lambda_m = 2 \frac{gD}{\vartheta_m^2} \frac{(\vartheta_g - \vartheta_m) Abs(\vartheta_g - \vartheta_m)}{\vartheta_s^2 (1 - \varphi)} - 2 \frac{gD}{\vartheta_m^2} \left(1 - \frac{\rho_g}{\rho_m}\right) + \lambda_g \frac{\rho_g}{\rho_m} \frac{\vartheta_g^2}{\vartheta_m^2}, \quad (2)$$

где $\vartheta_s = \vartheta_{sn} (1 - \varphi)^3 (1 - (d_s/D)^2)^{3/2}$ – действительная (с учетом стеснения потока частицами транспортируемого материала) скорость витания; ϑ_{sn} – приведенная (без учета стеснения потока) скорость витания; d_s – эквивалентный диаметр полидисперсной смеси торфяных частиц.

Значения d_s , ρ_m и ϑ_{sn} определяются по известным степени разложения, степени механической переработки, влажности и гранулометрическому составу образца измельченного торфа [5].

Принято допущение об изотермическом процессе расширения воздуха при течении аэросмеси в вертикальном пневмотранспортном трубопроводе. Тогда среднее по длине участка

L , на котором измеряется перепад давления Δp , давление воздуха

$$p_{cp} = \frac{2,3 p_n \lg \frac{p_n}{p_k}}{p_n / p_k - 1}, \quad (3)$$

где p_n и p_k – соответственно давление в начале и конце участка, на котором измеряется перепад давления.

Расчетная плотность воздуха на участке трубопровода

$$\rho_g = \rho_{gk} \frac{p_{cp}}{p_k}, \quad (4)$$

где ρ_{gk} – плотность воздуха при давлении p_k .

Действительная скорость воздуха определяется по известной из опыта приведенной скорости V_g :

$$\vartheta_g = \frac{V_g}{(1 - \varphi)}. \quad (5)$$

Действительная скорость материала определяется по известной из опыта приведенной скорости материала V_m :

$$\vartheta_m = \frac{V_m}{\varphi} = \frac{4Q_m}{\pi D^2 \rho_m \varphi}. \quad (6)$$

Для каждой пары значений $(\Delta p / L)_{on}$ и V_g при известном Q_m циклическими итерациями вычисляются значения действительных скоростей витания, воздуха и материала для каждого текущего значения истинной объемной концентрации при изменении последней от φ_{max} до φ_{min} с заданным шагом $d\varphi$. Затем вычисляются значения Re и коэффициента λ_g сопротивления воздушной фазы при текущем значении истинной концентрации.

Полученные значения используются для вычисления по (2) коэффициента λ_m сопротивления перемещению частиц твердой фазы при расчетной плотности воздуха по (4). Далее вычисленные значения подставляются в (1) для определения расчетного значения $(\Delta p / L)_p$ при текущем значении истинной концентрации.

Расчетное значение $(\Delta p / L)_p$ сравнивается с опытным $(\Delta p / L)_{on}$. Если абсолютное значение разности расчетного и опытного значений $(\Delta p / L)_p - (\Delta p / L)_{on}$ превышает заданную погрешность вычислений δ , итерации повторяются с новым значением истинной объемной концентрации. Если текущее значение истинной объемной концентрации достигло φ_{min} и условие $|\Delta p / L)_p - (\Delta p / L)_{on}| < \delta$ не

выполняется, шаг изменения истинной объемной концентрации уменьшается и вычисления повторяются заново при изменении концентрации от Φ_{\max} до Φ_{\min} .

Значение истинной объемной концентрации, при котором выполняется условие $|(\Delta p / L)_p - (\Delta p / L)_{on}| < \delta$, удовлетворяет уравнениям (1) и (2) и соответствует реализуемой в данном конкретном случае пневмотранспорта совокупности действительных режимных параметров. По известному значению Φ и расходным параметрам можно определить действительные скорости воздуха и материала, коэффициент относительного скольжения воздушной и твердой фаз и другие важные для понимания закономерностей процесса пневмотранспорта действительные параметры.

Типичный вид зависимостей $\varepsilon = f(v_a)$ при вертикальном пневмотранспорте одного из образцов (фрезерный верховой торф, средний диаметр $d = 1,8$ мм, средняя плотность частиц $\rho_m = 845$ кг/м³) в трубопроводах разных диаметров с различными массовыми производительностями Q_m , полученный обработкой экспериментальных зависимостей $\Delta p / L = f(V_a)$ по изложенной методике, представлен на рис. 2.

С увеличением действительной скорости воздуха коэффициент относительно скольжения возрастает при всех реализованных совокупностях режимных параметров пневмотранспорта.

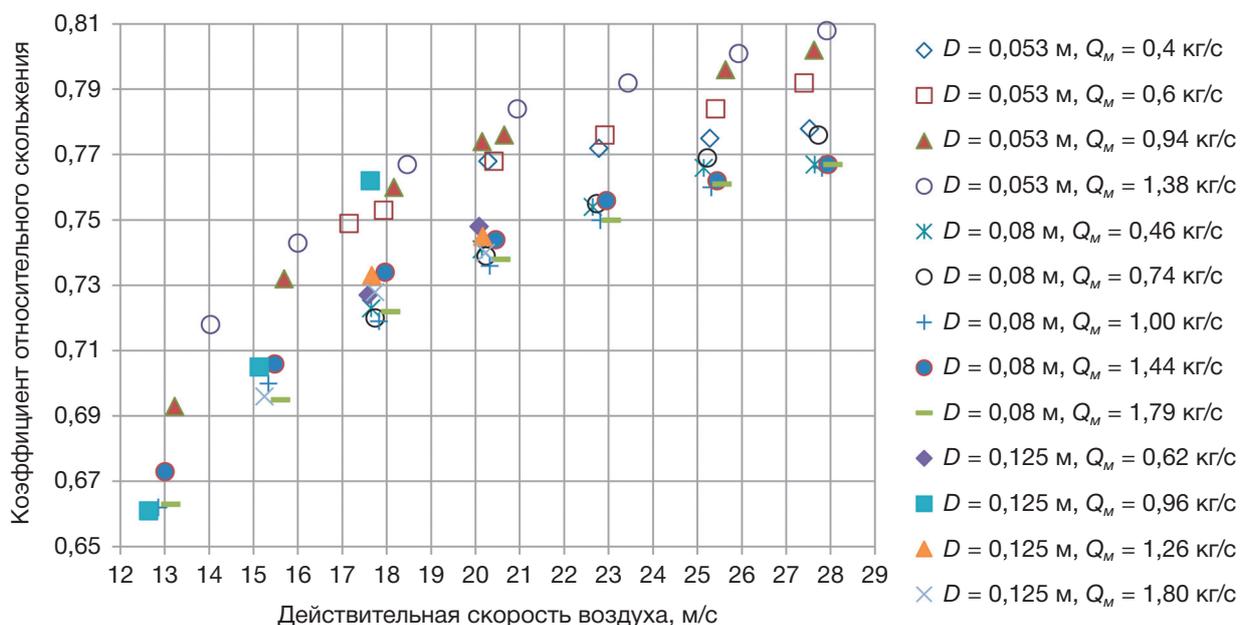


Рис. 2

Fig. 2

Влияние на относительное скольжение фаз размеров и плотности торфяных частиц при вертикальном пневмотранспорте в трубопроводе одного диаметра $D = 0,053$ м при близких значениях массовой производительности по транспортируемому материалу характеризует рис. 3. Более мелкие, но менее плотные частицы фрезерного торфа со средним диаметром $d = 1,8$ мм и плотностью $\rho_m = 845$ кг/м³ достигают более высокой скорости и имеют при прочих равных условиях большее значение коэффициента относительного скольжения. Более крупные частицы дробленого верхового торфа при $d = 5,5$ мм имеют вследствие механической переработки большую плотность $\rho_m = 935$ кг/м³ и, соответственно, меньшее значение коэффициента относительного скольжения (на рисунке обозначение плотности – ρ).

Приведенная скорость витания торфяных частиц v_{sn} определяется соотношением их размеров и плотности [5]. Торфяные частицы с меньшими значениями скорости витания при вертикальном пневмотранспорте в трубопроводах одинакового диаметра с близкими значениями массовых производительностей разгоняются до больших скоростей при одной и той же скорости несущей воздушной фазы (рис. 4).

Влияние диаметра трубопровода на относительное скольжение фаз при вертикальном пневмотранспорте несущественно.

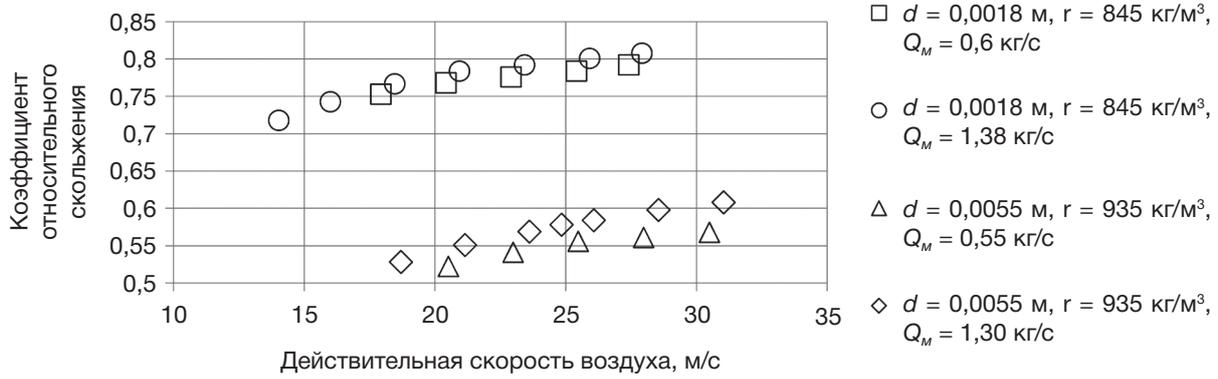


Рис. 3

Fig. 3

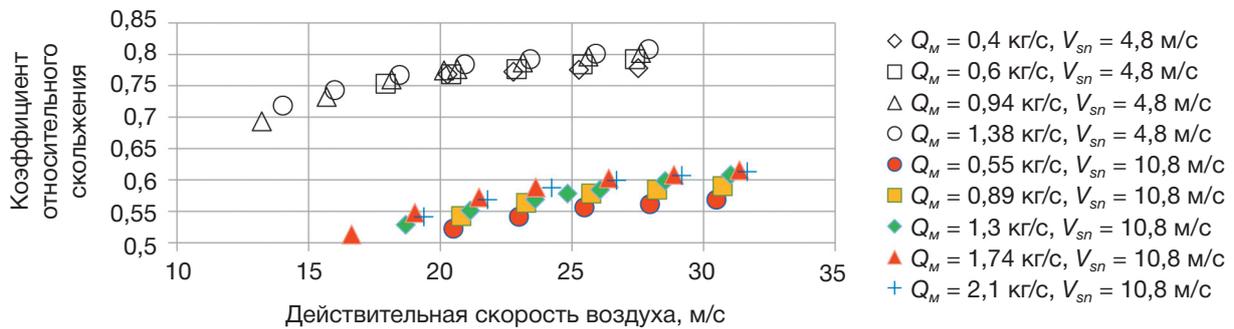


Рис. 4

Fig. 4



Рис. 5

Fig. 5

На рис. 5 представлена зависимость $\varepsilon = f(\vartheta_\theta)$ для одного и того же образца измельченного торфа при пневмотранспорте его в трубопроводах диаметрами $D = 0,053$ м и $D = 0,125$ м при схожих производительностях по материалу Q_M .

Опытные точки на рис. 1 для реализованных значений получены при разных значениях приведенной скорости воздуха. Поэтому для оценки влияния на относительное скольжение производительности экспериментальные зависимости аппроксимировались полиномами (величина достоверности аппроксимации =

0,895..0,964). По полученным аппроксимирующим зависимостям вычислялись значения при различных для одинаковых фиксированных значений приведенной скорости. Для вычисленных по полиномам значений при заданных значениях и определялись соответствующие им значения коэффициентов относительного скольжения.

Коэффициенты относительного скольжения $\varepsilon = \vartheta_M / \vartheta_\theta$ при одинаковых фиксированных значениях скорости несущей воздушной фазы возрастают с увеличением массовой производительности (рис. 6).

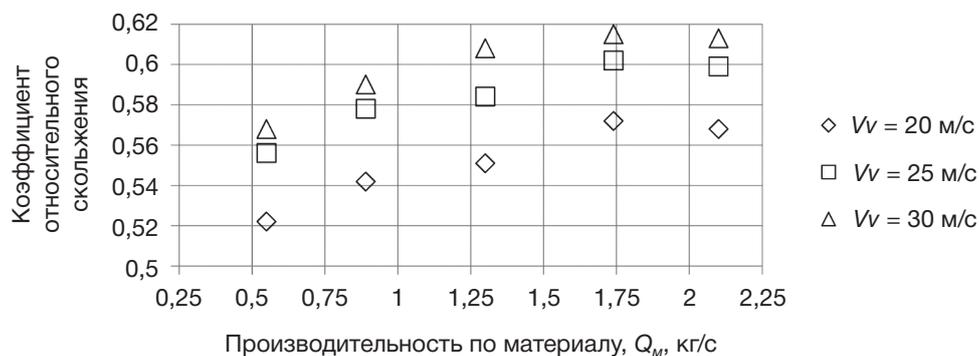


Рис. 6

Fig. 6

Библиографический список

1. Петренко С.М. Формирование режимов движения аэросмеси при пневмотранспорте сыпучих материалов / С.М. Петренко // Машины и технология торфяного производства, вып. 16. – Мн.: Вышэйшая школа, 1987. – С. 73–77.
2. Бакианский В.И. Исследование пневматического транспортирования измельченного торфа при повышенных концентрациях аэросмеси / Кандидат. дисс. – Минск, 1978. – 259 с.
3. Петренко С.М. Уравнения движения двухфазной среды в пневмотранспортном трубопроводе / С.М. Петренко // Проблемы технологии и механизации разработки месторождений полезных ископаемых: сб. науч. тр. Междунар. научно-техн. конф., Минск, 20–23 февраля 2009 г. / Часть 1. – Минск, 2009. – С. 106–109.
4. Петренко С.М. Методика определения действительных режимных параметров пневмотранспорта измельченного торфа / С.М. Петренко // Социально-экономические и экологические проблемы горной промышленности, строительства и энергетики: сб. науч. тр. 9-й междунар. научно-техн. конф., Минск–Тула–Донецк, 29–31 октября 2013 г. / В 2 томах. Том 1. – Минск, БНТУ, 2013. – С. 478–482.
5. Кислов Н.В. Аэродинамика измельченного торфа / Н.В. Кислов / Под. ред. И.И. Лиштвана. – Минск: Наука и техника, 1987. – 175 с.

УДК 622.331+622.641

Горячев В.И.

Горячев Валентин Иванович, д. т. н., профессор кафедры инженерной графики Тверского государственного технического университета.

Михеев И.И.

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

Щербакова Д.М.

Щербакова Дарья Михайловна, ассистент кафедры ГТиГП Тверского государственного технического университета.

ИНТЕНСИФИКАЦИЯ ОБЕЗВОЖИВАНИЯ МАЛОРАЗЛОЖИВШЕГОСЯ ТОРФА В ЛЕНТОЧНО- РОЛИКОВОМ ПРЕССЕ ТИПА ПЛР

Аннотация. В статье показано, что существенное увеличение интенсивности обезвоживания торфа в ленточных фильтр-прессах может быть достигнуто, в том числе, за счет дополнительного приложения давления гидроцилиндров между роликами, где имеет место снижение фильтрующего напора. Расположение роликов, имеющих цилиндрическую форму, вплотную друг к другу не позволяет разместить между ними дополнительный ролик. Предложено решение о выполнении роликов в виде валов с закрепленными на них дисками. При этом диски одного вала входят в зазоры между дисками соседнего вала. Выполнение роликов в виде валов с дисками позволяет в два раза увеличить число нажимных роликов, что повышает давление отжима между роликами и увеличивает объем отжимаемой воды в единицу времени. Предложенные решения сокращают время отжима, что увеличивает производительность фильтр-пресса. На конструкцию фильтр-пресса получен патент РФ.

Ключевые слова: фильтр-пресс, механическое отжатие, давление, скорость фильтрации, гидроцилиндры, ролики, валы, диски, производительность, патент.

Goryachyov V.I.

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

Mikheyev I.I.

Mikheyev Igor I. PhD, Associate 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 of the Tver State Technical University.

INTENSIFICATION OF DEHYDRATION OF THE LOW-DECAYED PEAT IN THE TAPE AND ROLLER PRESS PLR

Annotation. In article it is shown that significant increase in intensity of dehydration of peat in tape filter presses can be reached at the expense of additional application of pressure of hydraulic cylinders between rollers where decrease in the filtering pressure takes place. The arrangement of cylindrical rollers close to each other does not allow placing an additional roller between them. The solution on performance of rollers in the form of shaft with the disks fixed on them is proposed. At the same time disks of one shaft enter gaps between disks of the next shaft. Performance of rollers in the form of shaft with disks allows to increase twice number of press rollers that increases extraction pressure between rollers and increases the volume of the wrung-out water in unit of time. The proposed solutions reduce extraction time that increases filter press productivity. A Russian patent has been obtained for the filter press design.

Key words: filter press, mechanical pushing-up, pressure, filtration speed, hydraulic cylinders, rollers, shaft, disks, productivity, patent.

В технологии фракционирования торфяного сырья гидроразрывом для механического обезвоживания волокнистой массы рекомендуется ленточно-роликовый пресс типа ПЛР непрерывного действия [1]. Давление на отжимаемый материал в подобных прессах производится через фильтровальные ленты нажимными роликами, которые установлены на штоках гидроцилиндров [2–5]. При движении отжимаемый материал испытывает пульсирующее давление, максимумы которого P_{max} находятся под нажимными роликами, а минимумы P_{min} посередине между двумя

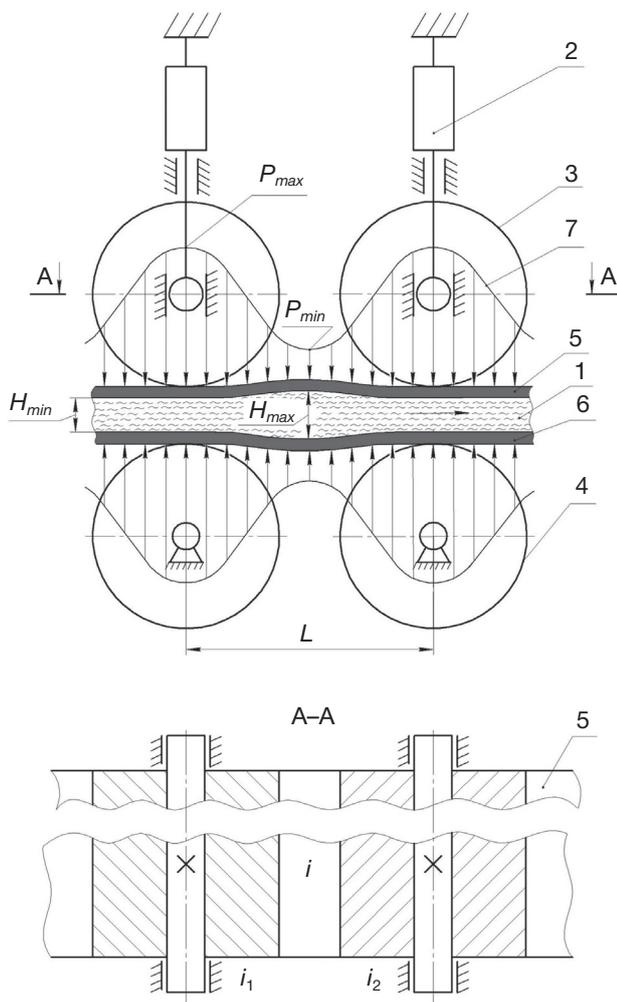


Рис. 1. Существующее прессовое i -е пространство между нажимными роликами i_1 и i_2 : 1 – торф; 2 – гидроцилиндр; 3 и 4 – нажимной и опорный ролики; 5 и 6 – фильтрующие ленты; 7 – кривая распределения давления в слое торфа; L – расстояние между роликами

Fig. 1. Existing press i -th space between pressure rollers i_1 and i_2 : 1 – peat; 2 – hydraulic cylinder; 3 and 4 – pressure and support rollers; 5 and 6 – filter tapes; 7 – pressure distribution curve in the peat layer; L – distance between rollers

соседними роликами. Такое снижение давления $\Delta P = (P_{max} - P_{min})$ уменьшает количество отжимаемой воды. Кроме того, при минимальном давлении высота слоя отжимаемого материала возрастает за счет остаточных упругих деформаций на величину $\Delta H = (H_{max} - H_{min})$, что увеличивает пористость отжимаемого материала, способствуя подосу части отжатой воды (рис. 1). Все это удлиняет время отжима, что снижает производительность фильтр-пресса.

На рис. 1 приведена схема отжатия торфа по длине i -го прессового пространства между двумя роликами от i_1 до i_2 . На слой торфа 1 от гидроцилиндров 2 через ролики 3, 4 и гибкие фильтрующие ленты 5 и 6 передается пульсирующее давление (кривая 7). Величина пульсаций давления изменяется от P_{max} под роликами 3 и 4 до минимального значения P_{min} между ними. При движении от ролика i_1 до ролика i_2 слой торфа испытывает сложное напряженно-деформационное состояние. Внешняя нагрузка, изменяясь по кривой 7, создает в слое фильтрационный напор воды, а также деформации от напряжений сжатия и сдвига в твердой фазе торфа.

Для расчета конструкторско-технологических параметров рабочего пространства пресса типа ПЛР важно знать величину обезвоживания материала ΔW_i между двумя нажимными роликами:

$$\Delta W_i = W_{i1} - W_{i2}, \quad (1)$$

где W_{i1} и W_{i2} – начальное и конечное влагосодержание торфа в i -м прессовом пространстве.

Многие исследователи рекомендуют при расчете процесса механического обезвоживания торфа от естественной влажности до влажности 60–65% применять известную в механике грунтов формулу, полученную профессором К. Терцаги на основании фильтрационного закона Дарси [6]:

$$t_i = \frac{a_i H_{i1}^2 \rho_B}{4(K_i)(1 + \varepsilon_i)}, \quad (2)$$

Это выражение объединяет все основные факторы процесса отжатия воды из капиллярно-пористого материала, а именно: t_i – продолжительность отжатия в i -м прессовом пространстве; H_{i1} – начальная высота слоя материала:

$$H_{i1} = G \left(\frac{W_{i1}}{\rho_B} + \frac{1}{\rho_T} \right), \quad (3)$$

где G – удельная загрузка прессового пространства по сухому веществу; ρ_B и ρ_T – плотность

воды и твердой фазы, соответственно; α_i – коэффициент уплотнения (сжатия) материала;

$$a_i = \frac{\varepsilon_{i1} - \varepsilon_{i2}}{P_{i2} - P_{i1}}, \quad (4)$$

где ε_{i1} и ε_{i2} – коэффициенты пористости материала, соответствующие давлениям P_{i1} и P_{i2} в начале и конце i -го прессового пространства; $\bar{\varepsilon}$ – средний коэффициент пористости материала за время отжатия в i -м прессовом пространстве:

$$\bar{\varepsilon}_i = \frac{\varepsilon_{i1} - \varepsilon_{i2}}{2}, \quad \bar{\varepsilon}_{i1} = \frac{\rho_T}{\rho_B} W_{i1}, \quad \bar{\varepsilon}_{i2} = \frac{\rho_T}{\rho_B} W_{i2},$$

K_i – средний коэффициент фильтрации материала, определяемый опытным путем.

Преобразовывая выражение (2) и принимая во внимание (3) и (4), получаем:

$$t_i = \frac{\rho_T \Delta W_i G^2 \left(\frac{W_{i1}}{\rho_B} + \frac{1}{\rho_T} \right)}{4 \bar{K} (1 + \bar{\varepsilon}_i) (P_{i2} - P_{i1})}, \quad (5)$$

Учитывая малое изменение коэффициента пористости в элементарном прессовом пространстве, целесообразно полагать $\varepsilon_i = \varepsilon_{i1}$. В результате получим выражение для определения величины обезвоживания торфа в элементарном прессовом пространстве в зависимости от основных факторов отжатия

$$\Delta W_i = \frac{4 \bar{K} (1 + \varepsilon_{i1}) \Delta P_i t_i}{\rho_T G^2 \left(\frac{W_{i1}}{\rho_B} + \frac{1}{\rho_T} \right)}, \quad (6)$$

где $(\Delta P_i = P_i - P_{i0})$ – фильтрационный напор в сжатом слое торфа: разность между действующим давлением P_i и давлением начала фильтрации воды P_{i0} , зависимо от влагосодержания торфа (определяется опытным путем).

Или в другом виде с учетом (3) и $\varepsilon_i = \frac{\rho_T}{G} H_i - 1$

$$\Delta W_i = \frac{4 \bar{K}_i \Delta P_i t_i}{G H_{i1}}, \quad (7)$$

Из выражения (7) видно, что за одно и то же время обезвоживания t количество воды, отжатой из торфа, может быть увеличено либо повышением коэффициента фильтрации K_i , либо за счет повышения фильтрационного напора ΔP_i , либо за счет уменьшения высоты слоя H_i .

Для ленточно-роликового пресса благодаря пульсирующему давлению и гибким фильтрам создаются условия перестройки структуры сжимаемого слоя, что способствует некоторо-

му повышению коэффициента фильтрации. Однако значимое, по нашему мнению, увеличение интенсивности обезвоживания торфа может быть достигнуто за счет дополнительного приложения давления между роликами, где имеет место снижение фильтрующего напора до P_{min} (кривая 7 рис. 1). Но расстояние между роликами не позволяет разместить дополнительный ролик (рис. 1).

Однако это возможно при выполнении роликов в виде валов 1 с закрепленными на них дисками 2 (рис. 2). При этом диски одного

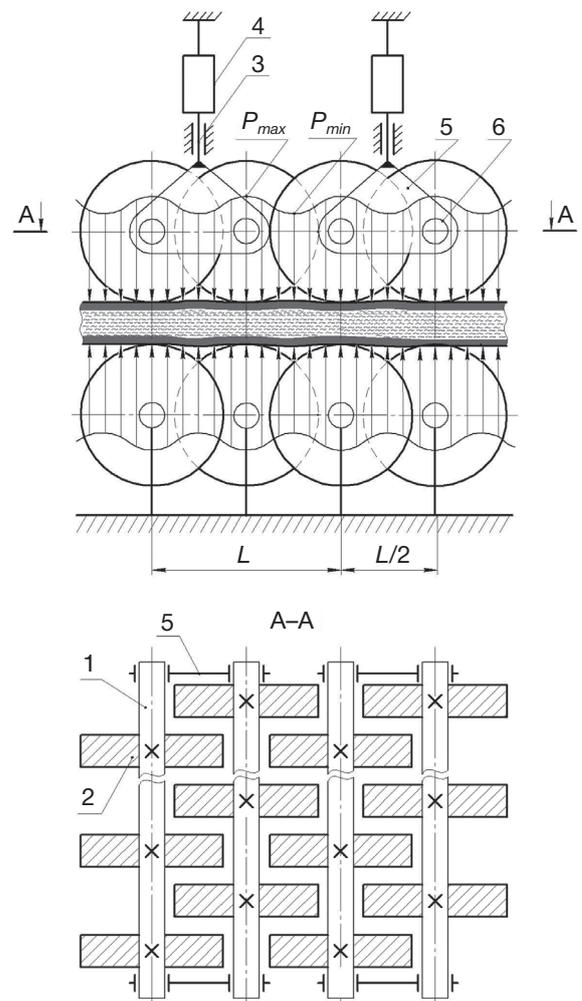


Рис. 2. Прессовое пространство с дополнительными роликами: 1 – валы; 2 – диски; 3 – штоки; 4 – гидроцилиндры; 5 – треугольные пластины; 6 – кривая распределения давления слоя торфа; L и $L/2$ – расстояния между роликами до и после модернизации

Fig. 2. Press space with additional rollers: 1 – shafts; 2 – disks; 3 – rods; 4 – hydraulic cylinders; 5 – triangular plates; 6 – pressure distribution curve of the peat layer; L and $L/2$ – distances between the rollers before and after the upgrade

вала входят в зазоры между дисками соседнего вала, а расстояние между роликами сокращается в два раза и равно $\frac{L}{2}$. Выполнение роликов в виде валов с дисками позволяет в два раза увеличить число нажимных роликов, что повышает давление отжима между роликами и увеличивает объем отжимаемой воды в единицу времени. Это сокращает время отжима, что увеличивает производительность фильтр-пресса.

Дополнительно на концах штоков 3 установлены треугольные пластины 5 с двумя отверстиями, в которых установлены концы валов 1 двух соседних роликов (рис. 2).

Треугольные пластины позволяют одним гидроцилиндром оказывать давление отжима сразу на два ролика. Это в два раза сокращает число гидроцилиндров, что снижает расходы на их изготовление, монтаж и эксплуатацию.

На предложенную конструкцию фильтр-пресса получен патент РФ [7].

Выводы

1. Анализ рабочего пространства существующей конструкции ленточно-роликового пресса типа ПЛР показывает, что интенсифицировать процесс удаления воды из слоя торфа отжатием возможно повышением фильтрационного напора между нажимными роликами.

2. Предложен фильтр-пресс, у которого ролики выполнены в виде валов с закрепленными на них дисками. При этом диски одного вала входят в зазоры между дисками соседнего вала, что позволяет в два раза увеличить число нажимных роликов. Это повышает давление отжима между роликами и увеличивает объем отжимаемой воды в единицу времени, что сокращает время отжима, увеличивая тем самым производительность фильтр-пресса.

3. Предложено также техническое решение, которое позволяет одним гидроцилиндром оказывать давление отжима сразу на два ролика. Это в два раза сокращает число гидроцилиндров, что снижает расходы на их изготовление, монтаж и эксплуатацию.

4. На конструкцию фильтр-пресса получен патент РФ [7].

Библиографический список

1. *Горячев В.И.* Машины и процессы фракционирования торфяного сырья гидроразмывом / В.И. Горячев, И.И. Михеев, А.Л. Яблонев, К.В. Фомин // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал) . – № 7. – Спец. вып. 38. – С. 3–10.
2. А.с. 578198, МПК В30В 9/24, Пресс для непрерывного обезвоживания материала. Оpubл. 30.10.1977, Бюл. № 40.
3. ПМ 187400, МПК В01D 33/04, Ленточный фильтр-пресс для непрерывного обезвоживания материала. Оpubл. 04.03.2019, Бюл. № 7.
4. ПМ 187828, МПК В01D 33/04, Ленточный фильтр-пресс непрерывного действия. Оpubл. 19.03.2019, Бюл. № 8.
5. *Справочник по торфу* / Под ред. А.В. Лазарева и С.С. Корчунова. – М.: Недра, 1982. – 760 с.
6. *Булычев В.Г.* Некоторые исследования по механическому обезвоживанию торфа / В.Г. Булычев, М.Г. Булышко // Вопросы технологии и механизации добычи торфа: сб. трудов Института торфа АН БССР. Т. 4. – Минск, 1955. – С. 205–216.
7. ПМ 194404, МПК В01D 33/04, Ленточный фильтр-пресс для непрерывного обезвоживания материала. Оpubл. 09.12.2019, Бюл. № 34.

УДК 622.23.05:622.7

Фомин К.В.

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

Крылов К.С.

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

Харламов В.Е.

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

Морозихин Н.Н.

Морозихин Николай Николаевич, аспирант, ТвГТУ.

Fomin K.V.

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

Krylov K.S.

Krylov Konstantin S., Ph.D, Associate Professor, Chair of Mechanization of Nature Management and Repair of Machines of the TSTU.

Harlamov V.E.

Harlamov Vyacheslav E., Ph.D, Associate Professor, Chair of Mechanization of Nature Management and Repair of Machines of the TSTU.

Morozikhin N.N.

Morozikhin Nikolay N., graduate student, TSTU.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПОВРЕЖДАЮЩИХ ВОЗДЕЙСТВИЙ НА РЕЖУЩИХ ЭЛЕМЕНТАХ ФРЕЗЫ ПРИ ВЗАИМОДЕЙСТВИИ С ДРЕВЕСНЫМИ ВКЛЮЧЕНИЯМИ

Аннотация. При выполнении технологической операции наличие древесных включений в залежи оказывает существенное влияние на надежность торфяных фрезерующих агрегатов, в том числе режущих элементов. Это связано с тем, что энергоемкость фрезерования древесины, как правило, на два порядка выше, чем торфа. Поэтому проблема прогнозирования показателей надежности и износостойкости ножей при взаимодействии с древесными включениями приобретает особую актуальность. Для ее решения необходимо знание на стадии проектирования вероятностных харак-

MODELLING OF DAMAGING EFFECTS ON CUTTING MILL ELEMENTS IN INTERACTION WITH WOOD INCLUSIONS

Annotation. When performing a technological operation, the presence of wood inclusions in the deposits has a significant impact on the reliability of peat milling units. This is due to the fact that the energy intensity of wood milling is usually two orders of magnitude higher than peat. Therefore, the problem of predicting the reliability and wear resistance of knives in interaction with wood inclusions is of particular relevance. To solve it, it is necessary to know at the design stage the probabilistic characteristics of the force factors that lead to damage to the knives. In the article models of damaging force influences on cutters of working body

теристик силовых факторов, приводящих к повреждению ножей. В статье разработаны модели повреждающих силовых воздействий на резцах рабочего органа при фрезеровании древесных включений с учетом конструкции рабочего органа, его кинематических параметров, режимов и условий работы. Получены выражения для их спектральных плотностей. Знание вероятностных характеристик силовых повреждающих факторов на режущих элементах дает возможность провести их расчеты на прочность и долговечность.

Ключевые слова: торфяной фрезерующий агрегат, фреза, режущий элемент, повреждающие воздействия, модели, спектральная плотность.

Введение

Состояние режущих элементов на рабочих органах в значительной степени влияет на эффективность процесса фрезерования [1, 2]. При эксплуатации возможны их отказы, связанные с износом, накоплением повреждений усталостного характера, внезапным разрушением или совместным действием этих факторов [2, 3].

В статье [4] были предложены модели формирования повреждающих воздействий и рассмотрены методы аналитического определения их вероятностных характеристик при взаимодействии рабочего органа с торфом.

При выполнении технологической операции наличие древесных включений в залежи оказывает существенное влияние на надежность торфяных фрезерующих агрегатов [3]. Это связано с тем, что энергоемкость фрезерования древесины, как правило, на два порядка выше, чем торфа [1]. Само взаимодействие имеет малую длительность и носит случайный, ударный характер. Увеличение динамических нагрузок в этом случае значительно повышает интенсивность отказов режущих элементов [3].

Поэтому проблема прогнозирования показателей надежности и износостойкости ножей при взаимодействии с древесными включениями приобретает особую актуальность. Для ее решения необходимо знание на стадии проектирования вероятностных характеристик силовых факторов, приводящих к повреждению ножей [5–8].

В статье рассматриваются вопросы моделирования повреждающих воздействий и разработки методики расчета их спектральных плотностей при фрезеровании древесных включений.

at milling of wood inclusions taking into account a design of working body, its kinematic parameters, modes and working conditions are developed. Expressions for their spectral densities are obtained. Knowledge of probabilistic characteristics of force damaging factors on cutting elements makes it possible to carry out their calculations for strength and durability and analysis of their stress.

Key words: peat milling unit, milling cutter, cutting element, damaging impacts, models, spectral density.

Моделирование повреждающих воздействий на режущем элементе

При фрезеровании древесных включений (рис. 1) возникают следующие повреждающие факторы: окружная P_{td} , осевая P_{zd} и радиальная P_{rd} силы, создающие изгибающий момент. В то же время P_{rd} является и сжимающей силой.

Эти нагрузки формируются в виде последовательности импульсов со случайными параметрами [9–11]. Возникновение каждого импульса соответствует началу фрезерования древесного включения [9]. Значения силовых факторов определяются прочностными свойствами древесины, формой, размерами и глубиной залегания [1, 11].

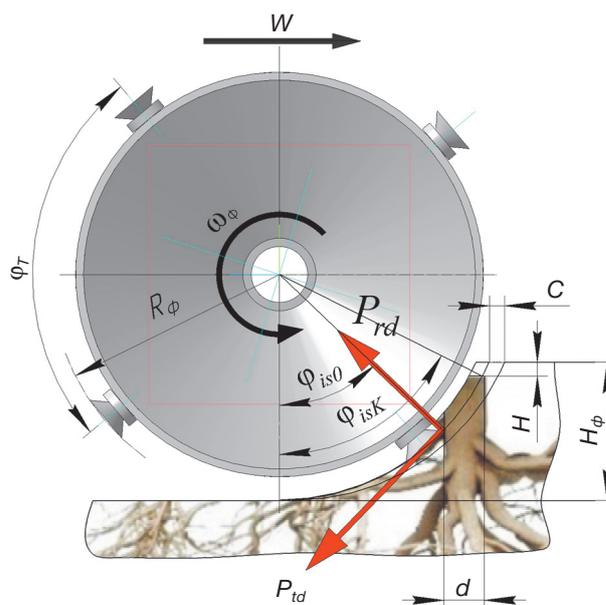


Рис.1. Взаимодействие фрезы с древесным включением

Fig.1. Cutting interaction element with wood inclusion

В этом случае для сил, действующих на нож, имеем (рис. 2):

$$P_{td}(t) = \frac{1}{R_\phi} \sum_{i=1}^I \sum_{n=-\infty}^{\infty} \sum_{s=1}^S M_{is}(t-t_{ins}; P_{ins}); \quad (1)$$

$$P_{zd}(t) = \frac{k_{Hd}}{R_\phi} \sum_{i=1}^I \sum_{n=-\infty}^{\infty} \sum_{s=1}^S M_{is}(t-t_{ins}; P_{ins}); \quad (2)$$

$$P_{rd}(t) = \frac{\chi_d}{R_\phi} \sum_{i=1}^I \sum_{n=-\infty}^{\infty} \sum_{s=1}^S M_{is}(t-t_{ins}; P_{ins}), \quad (3)$$

где R_ϕ – радиус фрезы; k_{Hd} – соотношения между тангенциальной и осевой силами; χ_d – соотношения между тангенциальной и радиальной силами [1]; I – число форм древесных включений [8]; S – число актов взаимодействия режущего элемента с одиночным включением; $M_{is}(t)$, t_{ins} , P_{ins} – соответственно момент сопротивления, сдвиг по времени между началом отсчета и s -м импульсом, случайные параметры импульсов при взаимодействии с n -м включением i -й формы.

Число актов взаимодействия S является случайной величиной. Оно определяется размерами d , формой и глубиной залегания древесного включения H .

Параметры импульсов нагружения P_{ins} зависят от прочностных свойств древесины, ее породы и направления резания.

Функция $M_{is}(t)$ зависит от угла поворота фрезы $\varphi = \omega_{is}(d; H)t$ и равна (рис. 1):

$$M_{is}(\varphi) = 0 \text{ при } 0 \leq \varphi \leq \varphi_{is0}(d; H)$$

$$M_{is}(\varphi) = R_\phi b_{is}(d; H) c \left(k_d + \frac{\gamma_d V_p^2}{2 \cdot 10^3} \right) \sin \varphi$$

$$M_{is}(\varphi) = 0 \text{ при } \varphi_{isK}(d; H) \leq \varphi \leq \varphi_{isr}$$

где $b_{is}(d; H)$ – ширина среза при s -м акте взаимодействия с древесным включением i -й фор-

мы, размерами d и глубиной залегания H ; c – подача на нож [1]; k_d – коэффициент резания древесины [1]; γ_d – плотность древесины [1]; V_p – скорость резания [1]; $\varphi_{is0}(d; H)$ – угол, который пройдет нож в залежи до момента встречи с древесным включением при s -м акте взаимодействия; $\varphi_{isK}(d; H)$ – угол выхода из контакта с пнем при s -м взаимодействии; $\omega_{is}(d; H)$ – угловая скорость фрезы в пределах длительности s -го акта взаимодействия; φ_k – угол контакта ножа с залежью.

Значения $\varphi_{is0}(d; H)$, $\varphi_{isK}(d; H)$ определяются с помощью выражений:

если фреза прошла расстояние меньше R_ϕ

$$\varphi_{is0}(d; H) = \arcsin \left[\frac{Y}{R_\phi} - \frac{c_T(s+1)}{R_\phi} \right],$$

где $c_T = 2\pi W/\omega_\phi$;

если больше R_ϕ , то

$$\varphi_{is0}(d; H) = 0;$$

если фреза прошла расстояние менее d

$$\varphi_{isK}(d; H) = \varphi_k - \arcsin \left(\frac{H}{R_\phi} \right);$$

если фреза прошла расстояние более d , но до выхода фрезы из контакта с древесным включением,

$$\varphi_{isK}(d; H) = \varphi_k - \arccos \left[\frac{Y}{R_\phi} - \frac{c_T(s+1)}{R_\phi} + \frac{d}{R_\phi} \right],$$

где $Y = \sqrt{R_\phi^2 - H^2}$.

При фрезеровании древесного включения происходит в начале уменьшение угловой скорости вращения фрезы $\omega_{is}(d; H)$, а затем ее восстановление до первоначального значения после выхода из контакта с пнем. При этом необходимо учитывать динамические свойства привода и двигателя а также его скоростную характеристику [9].

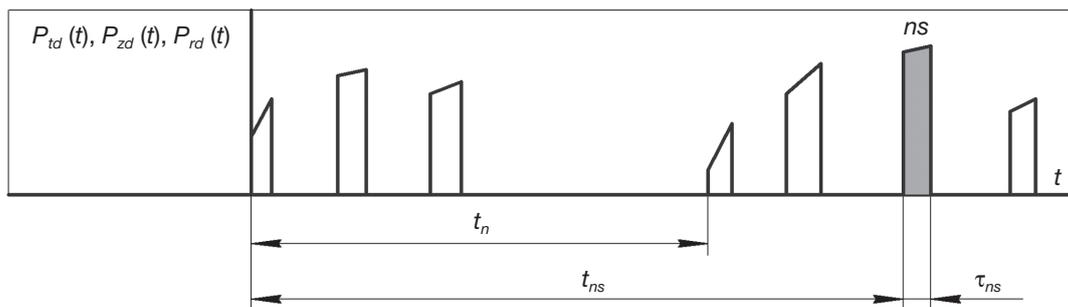


Рис. 2. Модель формирования повреждающих воздействий на режущем элементе при взаимодействии с древесными включениями

Fig. 2. Model of formation of damaging action on the cutting element when interacting with wood inclusion

Определение спектральной плотности повреждающих воздействий на режущем элементе

Силовые факторы, определяющие повреждающие воздействия на режущем элементе являются случайными функциями, поэтому для их анализа необходимо применение аппарата теории вероятности [12–14].

На основании модели формирования сил на ноже при взаимодействии с древесным включением (1–3) для их спектральных плотностей можно записать:

$$S_{td}(\omega) = \frac{1}{R_{\phi}^2} S_{Md}(\omega); \quad (4)$$

$$S_{zd}(\omega) = \frac{k_{Hd}^2}{R_{\phi}^2} S_{Md}(\omega); \quad (5)$$

$$S_{rd}(\omega) = \frac{\chi_d^2}{R_{\phi}^2} S_{Md}(\omega), \quad (6)$$

Для функции $S_{Md}(\omega)$, используя подходы, предложенные в [9–12], учитывая экспоненциальный закон распределения расстояний между древесными включениями [9], получим:

$$S_{Md}(\omega) = 2\lambda \sum_{i=1}^I P_i \int_0^{\infty} \int_0^{\infty} W(d_i) W(H_i) \sum_{\delta=0}^{\infty} P(\chi_{idH} = \delta) \sum_{s_{idH}=1}^{\delta} \sum_{z_{idH}=1}^{\delta} S_{Md}(\omega; \tau_{is0dH}; \tau_{isKdH}) \times \\ \times S^*(\omega; \tau_{iz0dH}; \tau_{izKdH}) \exp[-j\omega(t_{isdH} - t_{izdH})] dd_i dH_i, \text{ при } \omega \neq 0, \quad (7)$$

где λ – среднее число древесных включений, взаимодействующих с фрезой в единицу времени [9]; P_i – вероятность попадания пня i -й формы; $W(d_i)$, $W(H_i)$ – плотности распределения размеров включений i -й формы и их глубин залегания; $P(\chi_{idH} = \delta)$ – вероятность появления δ -импульсов при фрезеровании древесного включения размером d , глубиной залегания H при i -х условиях взаимодействия, $\delta = 0, 1, 2, \dots$; звездочкой обозначена комплексно сопряженная величина; $S_{Md}(\omega; \tau_{is0dH}; \tau_{isKdH})$ – спектр импульса $M_{in}(t)$

$$S_{Md}(\omega; \tau_{is0dH}; \tau_{isKdH}) = \int_{\tau_{is0dH}}^{\tau_{isKdH}} M_{is}(t) \exp(-j\omega t) dt;$$

t_{isdH} – сдвиг по времени между началом фрезерования включения i -й формы размером d , глубиной залегания H и s -м актом взаимодействия ножа;

$$\tau_{is0dH} = \varphi_{is0}(d;H)/\omega_{is}(d;H); \tau_{isKdH} = \varphi_{isK}(d;H)/\omega_{is}(d;H).$$

При $\omega = 0$ значение $S_{Md}(\omega)$ равно:

$$S_{Md}(\omega) = 2\pi m_1^2 \{M_d(t)\} \delta(\omega).$$

При использовании выражений (4–7) необходима информация о формах древесных включений, их количестве и распределении в залежи [1, 9, 15]. Информация о размерах пней, их глубинах залегания, прочностных свойствах представлена в [1, 16].

Процесс фрезерования древесных включений отличается большим разнообразием и зависит от характера взаимодействия, расположения их по отношению к рабочему органу и многих других факторов. Общие подходы к определению параметров нагрузок на рабочих органах фрезерующих агрегатов и их вероятностных характеристик представлены в работах [9].

Учитывая суммарные значения повреждающих воздействий на режущем элементе:

$$P_t(t) = P_{tT}(t) + P_{td}(t); P_z(t) = P_{zT}(t) + P_{zd}(t); P_r(t) = P_{rT}(t) + P_{rd}(t),$$

где $P_{tT}(t)$, $P_{zT}(t)$, $P_{rT}(t)$ – повреждающие воздействия при фрезеровании торфа [4], получим их спектральные плотности

$$S_t(\omega) = S_{tT}(\omega) + S_{td}(\omega);$$

$$S_z(\omega) = S_{zT}(\omega) + S_{zd}(\omega);$$

$$S_r(\omega) = S_{rT}(\omega) + S_{rd}(\omega),$$

где $S_{tT}(\omega)$, $S_{zT}(\omega)$, $S_{rT}(\omega)$ – соответственно, спектральные плотности окружной P_{tT} , осевой P_{zT} и радиальной P_{rT} сил на режущем элементе при взаимодействии с торфом [4].

Знание вероятностных характеристик силовых повреждающих факторов на режущих элементах дает возможность провести их расчеты на прочность и долговечность с помощью подходов рассмотренных [7, 17, 18] и анализ напряженного состояния с использованием метода конечных элементов с применением вычислительной техники [8, 19].

Заключение

Режущие элементы фрезы при взаимодействии с древесными включениями испытывают значительные нагрузки, которые зачастую являются критически опасными. Они носят резко переменный, периодический, случайный характер. Их действие совместно с абразивным изнашиванием приводит к деформации или разрушению ножей, что снижает эффективность процесса фрезерования.

Разработаны модели повреждающих силовых воздействий на резцах рабочего органа при фрезеровании древесных включений с учетом его конструкции, кинематических параметров, режимов и условий работы. Получены выражения для оценки спектральных плотностей на стадии проектирования.

Библиографический список

1. Солопов С.Г. Торфяные машины и комплексы [Текст] / С.Г. Солопов, Л.О. Горцаколян, Л.Н. Самсонов, В.В. Цветков. Учебное пособие для вузов. – М.: Недра, 1981. – 416 с.
2. Копенкин В.Д., Копенкина Л.В., Самсонов Л.Н. Развитие фрезерующих машин в торфяном производстве (анализ, перспективы) [Текст] / В.Д. Копенкин, Л.В. Копенкина, Л.Н. Самсонов // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2003. – № 10. – С. 204–207.
3. Горлов И.В. Влияние пнистости залежи на безотказность торфяных машин [Текст] / И.В. Горлов, М.Г. Рахутин // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2017. – № 12. – С. 139–145.
4. Фомин К.В. Моделирование повреждающих воздействий на режущих элементах рабочего органа фрезерующего агрегата при взаимодействии с торфом [Текст] / К.В. Фомин, М.Г. Рахутин // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2019. – № S39. – С. 36–46.
5. Позин Е.З. Разрушение углей выемочными машинами [Текст] / Е.З. Позин, В.З. Меламед, В.В. Тон. – М.: Недра, 1984. – 288 с.
6. Yong Sun, Xingsheng Li Experimental Investigation of Pick Body Bending Failure [Текст] // International Journal of Mechanical Engineering and Robotics Research. – 2018. – Vol. 7. – No. 2. – P.184–188.
7. Yong Sun, X.S. Li A probabilistic approach for assessing failure risk of cutting tools in underground excavation [Текст] // Tunnelling and Underground Space Technology. – 2017. – Vol. 70. – P. 299–308.
8. Xueyi Li, Yonggang Lv, Qingliang Zeng, Jintao Wang Research on the Strength of Roadheader Conical Picks Based on Finite Element Analysis [Текст] // The Open Mechanical Engineering Journal. – 2015. – № 9. – P. 521–526.
9. Самсонов Л.Н. Элементы статистической динамики торфяных фрезерующих агрегатов [Текст] / Л.Н. Самсонов, К.В. Фомин. – Тверь: Тверской государственный технический университет, 2005. – 168 с.
10. Фомин К.В. Моделирование и анализ момента нагружения на рабочем органе торфяного фрезерующего агрегата [Текст] // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2000. – Т. 2. – С. 222–226.
11. Самсонов Л.Н. Определение вероятностных характеристик момента нагружения на рабочем органе торфяного фрезерующего агрегата [Текст] / Л.Н. Самсонов, К.В. Фомин // Известия высших учебных заведений. Горный журнал. – 2003. – № 3. – С. 106–112.
12. Левин Б.Р. Теоретические основы статистической радиотехники [Текст]. – М.: Радио и связь, 1989. – 656 с.
13. Тихонов В.И. Статистическая радиотехника [Текст]. – М.: Радио и связь, 1982. – 625 с.
14. Вентцель Е.С. Теория случайных процессов и ее инженерные приложения [Текст] / Е.С. Вентцель, Л.А. Овчаров. – М.: Высшая школа, 2000. – 383 с.

15. *Ефимов В.И.* Размеры и распределение сосновых пней в залежи как основание для расчета параметров корчевателя [Текст] // Торфяная промышленность. – 1976. – № 1. – С. 12–14.
16. *Зиновьев Д.А.* Исследование пнистости верховой залежи на участке производства фрезерного торфа [Текст] // Торф и его переработка. – Л., 1978. – С. 26–29.
17. *Позин Е.З.* Методика расчета резцов на прочность и долговечность [Текст]. – М.: М-во угол. пром. СССР, АН СССР, Ин-т горного дела им. А.А. Скочинского. – М.: ИГД, 1986. – 61 с.
18. *Позин Е.З.* Математическая модель надежности режущего инструмента угледобывающих комбайнов [Текст] / Е.З. Позин, В.В. Тон, А.С. Водяной // Научные сообщения. Акад. наук СССР. Ин-т горного дела им. А.А. Скочинского. – М.: ИГД, 1982. – Вып. 212: Совершенствование средств механизации проведения подготовительных выработок. – С. 20–28.
19. *Zhenguo Lu, Lirong Wan, Qingliang Zeng, Xin Zhang, Kuidong Gao* The structural optimization of roadheader conical picks based on fatigue life [Текст] // International Journal of Modeling, Simulation, and Scientific Computing. – 2018. – Vol. 9. – No. 2. – 17 p.

УДК 662.331(09)

Панов В.В.

Панов Владимир Владимирович, д. г. н., профессор кафедры горного дела, природообустройства и промышленной экологии Тверского государственного технического университета. vvpanov61@gmail.com.

Panov V.V.

Panov Vladimir V., Dr.Sc., Professor of the Department of Mining, Environmental Engineering and Industrial Ecology, Tver State Technical University. vvpanov61@gmail.com.

**ЗАМЕТКИ
О ДМИТРИИ
АЛЕКСАНДРОВИЧЕ
ГЕРАСИМОВЕ
К 125-ЛЕТИЮ
СО ДНЯ РОЖДЕНИЯ**

Аннотация. Дмитрий Александрович Герасимов – идеолог и организатор исследования торфяных болот в России во второй четверти XX века. Его судьба документально отражает черты сложного и противоречивого периода в развитии страны. Теоретические и прикладные исследования по генезису торфяных отложений, выполненные под его руководством, стали доминантой развития болотоведения и торфоведения на протяжении XX века в России. Вершиной его жизни стала классификация торфяных отложений, основанная на принципе фациального разнообразия торфообразовательного процесса. Этот момент совпал с его трагической смертью.

Ключевые слова: торф, болото, торфяная промышленность, торфяные отложения, торфообразование.

**NOTES ABOUT DMITRY
ALEXANDROVICH
GERASIMOV
ON THE 125TH
ANNIVERSARY
OF HIS BIRTH**

Annotation. Dmitry Gerasimov is an ideologist and organizer of research on peat mire in Russia in the second quarter of the XX century. His fate documentarily reflects the features of a difficult and contradictory period in the development of the country. Theoretical and applied research on the genesis of peat deposits, carried out under his leadership, became the dominant feature of the development of mire and peat science during the 20th century in Russia. The peak of his life was the classification of peat deposits based on the principle of facies diversity of the peat formation process. This moment coincided with his tragic death.

Key words: peat, mire, peat industry, peat deposits, peat formation.

Основным своим достижением Д.А. Герасимов считал классификацию торфяных отложений, которая отражена в его последняя рукописи (опубликована частично [1]). Дмитрий Александрович завершил эту работу в 1937 г., с этого момента сведения о нем очень скудные. Его перестают цитировать в научной литературе на последующие 20 лет. Его фамилия удалена из всех редакций, документов и исторических очерков. Причину «исчезновения» пояснил его брат П.А. Герасимов [2]: «Герасимов Дмитрий Александрович (1895–1942). Геоботаник, палинолог, болотовед. Родился в Москве в семье преподавателя. Окончил Московский университет (1916). С 1918 г. начал работать ботаником Главного управления торфяной промышленности. Занимался детальным изучением торфяных болот средней полосы Европейской России, а также Урала и Западной Сибири: историей развития болот, стратиграфией и геохронологией торфяных залежей и донных осадков озер и др. Перед арестом – заместитель директора по научной части Московского торфяного института. Арестован в Москве 22 августа 1937 г. (незадолго до этого был арестован директор Торфяного института И.И. Радченко). Осужден 21 сентября 1938 г. по ст. 58, п. 7–11 на 10 лет заключения в ИТЛ и 5 лет поражения в правах. Места отбывания срока: Соль-Илецк Оренбургской обл., Карельская АССР, Беломорский район Архангельской обл., строительство дороги Москва–Мурманск. Реабилитирован посмертно ВК ВС СССР 21 сентября 1956 г.».

Упоминание о Дмитрие Александровиче возвращается в 1958 г. в юбилейном сборнике Московского торфяного института к 40-летию Великой октябрьской революции [3]. Так его охарактеризовал спустя 20 лет Сергей Николаевич Тюремнов, сменивший Д.А. Герасимова на посту заведующего кафедрой болотоведения (в последующем кафедра торфяных месторождений Московского торфяного института (МТИ): «Будучи незаурядным биологом и вообще знатоком болотной растительности, Д.А. Герасимов разработал и ввел в практику геоботанического кабинета Инсторфа видовой анализ торфа. До того ботанический состав торфа определялся по основным растениям торфообразователям с точностью до рода. В качестве пособия Д.А. Герасимов выпустил определитель сфагновых мхов по Варнсторфу (1923 г.)...

Д.А. Герасимов был зачинателем детального изучения торфа и торфяной залежи.

В этих целях им в 1923–25 гг. были организованы стационарные микроклиматические и экологические наблюдения на ТОС и создана группа микробиологов (Д.А. Бегак, Н.М. Беликова и И.М. Курбатов), перед которой были поставлены задачи изучения прироста торфяной залежи и процесса торфообразования...

Введение детального ботанического анализа торфа, установление торфогенного слоя и его роли в биохимических процессах торфообразования позволили приступить к его работе по созданию генетической классификации торфов...

Он первый из русских болотоведов связал растительный покров, строение залежи торфяников и историю их развития с физико-географическими условиями их местоположения...

Экспедиционные работы Д.А. Герасимова охватили ряд крупных областей: Урал, среднюю полосу европейской части Союза, б. Казанскую губ., Марийскую обл. и др. Обработка экспедиционных материалов позволила ему дать основные различия двух основных типов торфообразования... Им же установлена ... граница распространения типичных верховых торфяников в европейской части Союза. В 1928 г. им предложена была первая генетическая классификация торфов для Урала.

Используя материалы свои и других исследователей по стратиграфии и пыльцевому анализу торфяников различных географических районов нашей страны, Д.А. Герасимов дал широкие обобщения по истории развития древесной растительности и истории климата в послеледниковый период на территории европейской части Союза.

...еще в 1924 г. Д.А. Герасимов так сформулировал принципы болотного районирования: «распределение двух основных типов торфяных залежей на территории европейской части Союза вызывается двумя причинами: в крупном масштабе – климатом, а в пределах же данного района – расположением торфяников по рельефу».

В своей последней опубликованной работе Д.А. Герасимов (1936 г.) пересматривает свое прежнее отношение к теории Блитт-Сенандера и изменяет датировку наиболее древних торфяников европейской части Союза, несколько удревяя ее (древнее бореального периода).

(Позднее Д.А. Герасимов использовал пыльцевой метод для изучения оползневых процессов в разрабатываемых торфяниках).

В своей деятельности Д.А. Герасимов был ярким примером советского ученого, сочетав-

шего интересы науки и практики (торфяной промышленности)».

Советом Всесоюзного ботанического общества в 1964 г. в Ленинграде было проведено Всесоюзное совещание, которое было посвящено выдающимся российским болотоведам Р.И. Аболину, Д.А. Герасимову, В.С. Доктуровскому, В.В. Кудряшову и Ю.Д. Цинзерлингу [4].

И.Д. Богдановская-Гиенэф свою классическую работу о закономерностях формирования сфагновых болот [5] посвятила памяти Дмитрия Александровича Герасимова, подчеркивая его научные и организаторские возможности в исследовании болот Псковского болотного района. При анализе торфяных залежей И.Д. Богдановская-Гиенэф отдала предпочтение принципам классификации залежей, разработанным Д.А. Герасимовым.

Интересная заметка «...о крупнейшем болотоведе и талантливейшем исследователе» Д.А. Герасимове приведена в некрологе С.Н. Тюремнову М.И. Нейштадтом [6]: «Его (С.Н.) большой заслугой может считаться то, что вслед за Д.А. Герасимовым он широко внедрил определение сфагновых мхов по веточным и стеблевым листочкам непосредственно в торфе, на разных глубинах, что вошло в практику геоботанического анализа торфов».

Для понимания сделанного Д.А. Герасимовым важно учитывать особенности периода развития государства, в котором две грани его таланта – ученого и организатора, трагически пересеклись. В любое другое время обе грани взаимно дополняя, сделали бы его выдающимся ученым и организатором науки.

Основная деятельность Дмитрия Александровича пришлась на период с 1918 г. по 1937 г. За 20 лет он прошел путь от рядового геоботаника до заместителя директора научно-исследовательского института торфяной промышленности (Инсторфа). Его отличала широта научных задач и успешная организаторская работа.

Первая пятилетка в СССР длилась с 1928-го по 1932 годы как первый этап индустриализации страны. Основная задача на этом этапе была догнать и перегнать западные страны. Приоритетами были развитие промышленного производства, снижение себестоимости продукции, внедрение новой техники, снижение продолжительности рабочего дня за счет качества производимого товара. К 1938 г. СССР уже добывал торфяного сырья больше всех остальных стран мира [7].

Болотоведение и торфоведение встали на промышленные основы. Индустриализация и ускорение промышленного производства становятся драйверами развития науки. Открываются институты, филиалы, опытные станции и научные журналы. Вместе с тем появляется конкуренция за финансовые потоки между государственными ведомствами. Исследования болот «делят» между собой два наркомата – тяжелой промышленности и земледелия (НКЗ). В первом болото рассматривают как геологический объект, во втором – как почву.

Если до 1928 г. Дмитрий Александрович уделял много внимания экологическим, геоботаническим, географическим и геологическим вопросам фундаментального знания о развитии болот, то последующие 10 лет характеризуются целенаправленным решением отраслевых задач. Он занимает должность заместителя директора Инсторфа по научной части. Нужно было организовать подготовку кадров и научно-исследовательское технологическое сопровождение отрасли. Связать в одно целое изучение сырья, технологии его получения и переработки, отраслевое машиностроение и вопросы организации труда. Масштабу задач соответствовала степень контроля со стороны высшего руководства страны на основе достижения плановых показателей. В тот момент для отрасли выполнить их было крайне трудно.

В течение первой пятилетки несколько громких процессов (например, дела Промпартии и Мосэнерго) в значительной степени коснулись специалистов торфяной отрасли. Обвинения против членов Промпартии основывались на «сознательном» неэффективном перераспределении средств в экономике. Если в первую пятилетку вопросы «вредительства» рассматривались в основном относительно оборудования, прежде всего, теплотехнического, то в последующем, «вредительская» деятельность затронула и вопросы торфяного сырья – его качества и объемов добычи. Особенно ситуация обострилась в период второй пятилетки.

План второй пятилетки, охватывающий периоды с 1933-го по 1937 годы. Главный приоритет был предоставлен развитию тяжелой промышленности. Торфяная отрасль как часть теплоэнергетического комплекса относилась к наркомату тяжелой промышленности. Инсторф, ТОС и МТИ были отраслевыми учреждениями, решающими в основном научно-технические задачи ТЭК. Рост добычи топливного

торфа в тот момент времени составлял ежегодно в среднем несколько десятков процентов. Таким образом, с одной стороны государство вкладывало огромные средства, привлекало широкий круг ведомств и специалистов в развитие торфяной отрасли, а с другой не получало того результата, на который рассчитывала.

Противоречие между многократным ростом добычи торфяного сырья и неудачами выполнения плана по готовой продукции можно объяснить тем, что показатели добычи торфяного топлива не соответствовали необходимой организации труда торфопредприятий. Основным фактором недостаточной организации труда была низкая электрификация и механизация отрасли. До ВОВ механизация отрасли не превышала 10% [8]. По сути, только с конца 30-х гг. ситуация стала меняться. Были организованы специализированные институты и заводы по проектированию и выпуску торфяной техники.

Многие вопросы по качеству сырья и его добыче были крайне несовершенными. В этих условиях малейшая ошибка или несовершенство организации могли привести к срыву плановых показателей. На первом этапе становления отрасли показатели добычи торфа не достигали плановых показателей, не говоря уже о превышении плана. Наиболее «узкими» местами были надежность добывающей техники, транспортировка и хранение торфяного сырья. Значительное осложнение вносила погода и необоснованные опережающие плановые показатели стахановского движения. Любое снижение показателей отрасли воспринималось как умышленное вредительство.

До 1934 г. основную работу по разработке техники выполняли специалисты Инсторфа (г. Москва). Именно из-за того, что в Инсторфе большая часть средств использовалась для изучения торфяного сырья и технологий его переработки, нужно было усилить работу по механизации [8]. В 1934 был организован научно-исследовательский институт механизации торфяной промышленности (ВИМТ, г. Ленинград). Положительные результаты этого решения стали очевидными с 1938–39 гг.

Инсторф перестает быть головной организацией по механизации отрасли, а вопросы генезиса торфа, классификации торфяного сырья передаются в Московский торфяной институт после его слияния с Инсторфом в 1936 г., Д.А. Герасимов занимает должность заведующего кафедрой болотоведения МТИ

после смерти В.С. Доктуровского и работает в Инсторфе заместителем директора по научной части, как многие другие сотрудники МТИ. В дальнейшем известная всем классификация торфяных отложений стала называться классификацией МТИ. Вместе с тем научное исследование генезиса торфяного сырья, возглавляемое Д.А. Герасимовым в Инсторфе, было скомпрометировано как пример распыления государственных средств на маловажные задачи отрасли.

Л.П. Раевский [9] несмотря в целом на бравадные оценки развития торфяной отрасли, пишет: *«Данные о сушке... торфа... показывают, что по выполнению плана торфодобычи 1937 г. положение было неблагоприятным, а на некоторых предприятиях угрожающим... Несмотря на уроки прошлых сезонов, когда... сокращалась добыча торфа».*

В этом же номере отраслевого журнала инженер М.А. Миркин [10] в рассмотрении частного вопроса о хранении торфяного топлива отражает суть текущих политико-технических проблем, выводы из которых могли быть крайними: *«В торфяной промышленности, где господствует сезонность, ошибка руководителей предприятий и торфотрестов, повторяющаяся из года в год, это не просто ошибка, ибо она граничит с упорным пренебрежением к выполнению государственного плана. ... провал 1937 г. еще раз подтверждает, что еще есть руководители ... продолжающие оставаться на старых позициях ... Нелестна роль руководителей из Главторфа ...».*

Руководители Инсторфа И.И. Радченко и его заместитель Д.А. Герасимов оказались в числе ответственных за срывы плана по обеспечению промышленности торфяным топливом. Так об этом сообщает Л.В. Копенкина [11]: *«...16 августа 1937 года Радченко был арестован ... за участие в «антисоветской организации правых». ... Он обвинялся в том, что ... «проводил вредительскую работу, направленную на разрушение торфяной промышленности как путем срыва планов добычи торфа, так и путем создания диспропорции между добычей и сушкой торфа».*

Статья, по которой был осужден арестованный через месяц Д.А. Герасимов – 58-7: *«Подрыв государственной промышленности, ... путем соответствующего использования государственных учреждений и предприятий, ... то есть промышленный саботаж... (в целях заинтересованных капиталистических организаций)».*

Вместе с тем основная политическая задача, которая преследовалась в ходе осуществления второй пятилетки, состояла в полной ликвидации элементов капитализма в отраслях народного хозяйства. Вытеснялись все формы хозяйственной кооперации, кроме государственной.

И все же спустя 100 лет, можно сказать, что они были первыми в советской республике. Дух преобразований пронизывает все нормативные документы того времени. В этот период появляется целая плеяда ученых болотоведов, ботаников по образованию в основном выпускников МГУ (В.С. Доктуровский, Н.Я. Кац, Д.А. Герасимов, В.В. Кудряшов). В Петрограде работают геоботаники В.Н. Сукачев, И.Д. Богдановская-Гиенэф, Ю.Д. Цинзерлинг, Г.И. Ануфриев, Р.И. Аболин, лесовод М.М. Юрьев.

В 1922 г. Дмитрий Александрович Герасимов (27 лет) пишет в программе работы геоботанического кабинета Инсторфа [12]: «В течение уже трех лет детальное изучение торфяников средней России ... (анализируя подходы в болотоведении он выделяет три различные точки зрения – флористическую, стратиграфическую и почвоведческую) ... мы попытались применить все три указанные выше подхода к болоту.

Болото – явление весьма сложное, для которого можно допустить образное сравнение с живым организмом ... болото получает питание ... усваивает это питание посредством живущей на его поверхности растительности, тонко приспособленной к различным условиям питания и имеющей весьма своеобразные органы усвоения; перерабатывает созданное органическое вещество в сложнейших ... процессах в недрах торфяника.

Подобно тому, как всякий организм изучается с трех точек зрения: морфологической, анатомо-гистологической и физиологической, болото требует аналогичного подхода, и вышеописанные направления в болотоведении, в общем, соответствуют этим сторонам изучения...

Детальное (коллективное, выполненное геологом, ботаником, почвоведом и химиком) исследование отдельных типичных торфяников ... имеющих целью подойти к рациональной классификации торфяников и установлению естественно-исторических торфяных районов.

Мне кажется, что эти данные (химические исследования торфа) позволяют нам подойти ... к оценке зольности торфяников ... на основе экологии болотной флоры (в особенности сфагнов)...

В этом случае изучение экологии сфагнов является весьма важной задачей...

Наши исследования носят чисто научный характер и единственной своей целью имеют изучить явление».

Так Д.А. Герасимов подводит итоги 10 лет работы [13]: «*Давая направление и общее руководство болотоведческими работами в советской торфяной промышленности с первых лет ее возникновения (с 1919 г.), я считаю необходимым резюмировать ... основные выводы...*».

...геоботанику (специалисту) на основе морфологических исследований удалось определить достаточно подробную внешнюю картину строения верхнего слоя залежи, установить зависимость между этой картиной и изменениями климата, дать приемлемую по точности датировку времени образования верхних разложившихся прослоек.

...лабораторным экспериментом (искусственная гумификация торфообразователей путем биологического воздействия) было подтверждено предположение о роли микроорганизмов и, в частности, грибов как основных гумификаторов, переводящих растительные остатки в торф ... одновременно с внешним, морфологическим разрушением растений-торфообразователей, происходящими в первой прослойке, идет химическое превращение – образование гуминовых веществ за счет лигнина. Проведенные на верховой залежи по ее генетическим горизонтам анализы подтвердили, что уже в первой от поверхности прослойке образуется «зрелый торф» со свойственными ему характеристиками. Аналогичные результаты были получены для низинного болота с той разницей, что процесс торфообразования происходит здесь с исключительной быстротой; вместо нескольких десятилетий, потребовавшихся для образования разложившейся прослойки на верховом болоте, на низинном гумификация торфа происходит в течение нескольких лет ...

Образовавшийся торф с характерными для его вида признаками погребается вновь нарастающими слоями...».

Далее о методах оценки торфяного сырья: «*Для прочно укоренившегося за последнее десятилетие метода НКЗ характерен чисто индуктивный подход к торфяной залежи и ее свойствам. Берется установка на «фотографирование» путем механического наложения сетки буровых скважин на площадь залежи. ... приводящую с методу изолиний (свойств залежи).*

...Инсторф пришел к необходимости заменить констатацию свойств залежи ... установлением качественного отличающихся между собой отдельностей («однородных участков») на площади торфяного болота».

Так был сформулирован принцип стратиграфической классификации видов торфяных залежей – «...мы дополняем (аналитические приемы исследований) их синтетическим сведением, осмысливанием конкретных, явно различаемых по комплексу свойств частей торфяного массива».

Этот подход плодотворно использовала в своих исследованиях Ивонна Донатовна Богдановская-Гиенэф [5]. Из развития этих представлений появилось определение болота как системы взаимодействующих между собой биогеоценозов. А также нашло свое отражение в исследовании болотных фаций (частей торфяного тела) по Е.А. Галкиной [14]. До настоящего времени остается открытым вопрос о сопоставлении частей торфяного тела, обособленных по стратиграфии и морфологии, с единицей классификации растительного покрова болот.

По мнению Д.А. Герасимова, между единицей классификации растительности на «поверхности» болота и торфяной залежью следует выделить дополнительное звено, их объединяющее. Этим звеном был торфообразовательный процесс, имеющий геологическую аналогию с фациальными условиями. Фациальные условия применительно к болоту по Д.А. Герасимову – это совокупность современных условий образования торфа, при которых из близкого по составу растительного материала может формироваться торф с разными свойствами. Таким образом, не состав растительности определяет свойства торфа, а торфообразовательный процесс и колебание внешних условий за несколько десятилетий формирования торфа.

И далее по [13]: «Пространственная близость, вернее совпадемость (совпадение) по вертикали торфообразующей единицы растительного покрова и в основном законченного продукта торфообразования – торфа – давала уверенность в правильности идентификации выделяемых по «материнским» растительным группировкам видов торфа. Таким образом, оформилась их генетическая классификация».

Генетический признак в торфе Дмитрий Александрович видел в устойчивости и повторяемости технико-химических и физических свойств торфа. Основу этой гипотезы составля-

ло новое понятие «торфообразующая единица растительного покрова». Каждая такая единица включала в некоторых случаях несколько отдельных растительных группировок как одного болота, так и разных. Каждая торфообразующая единица – это отдельные фациальные условия, смена которых во времени позволила прийти к стратиграфической классификации видов торфяных залежей. Оставалось решить вопрос о выделении одновидовых участков торфяных болот в разных географических районах.

В вопросе районирования болот Дмитрий Александрович пишет [13]: «Закономерность в распределении типов строения залежи, обусловленная влиянием климата, сильнейшим образом «искажается» указанными гидрогеологическими факторами. Районирование намечается в большей мере по геоморфологическим районам, чем по климатическим зонам. ...Мы рассматриваем печатаемую работу Матюшенко, как ценную попытку теоретического обоснования торфяно-болотных районов...».

Эти результаты в дальнейшем нашли свое выражение в известной геоморфологической классификации торфяных месторождений С.Н. Тюремнова и Е.А. Виноградовой [15], а также ландшафтной классификации болот Е.А. Галкиной [14] и др.

Е.А. Галкина это отметила так: «Фундаментом болотной фации является минеральное дно болотного урочища, ...Подстилающая (болотную фацию) торфяная толща определяется видом торфяной залежи. ... болотный биогеоценоз, который следует рассматривать как современную стадию развития болотной фации. И далее несколько загадочно (недоговорено) указывается: ... его фундаментом (болотного биогеоценоза) является пласт торфа иного ботанического состава нежели тот, который отлагается или может отложиться ... из растительных остатков современного растительного покрова биогеоценоза».

Болотный фитоценоз – современная стадия развития болотного биогеоценоза... И еще более загадочно звучит фраза: Далеко не каждый «массовый» вид фитоценоза дает заметное количество растительных остатков, составляющих торф.

Справедливости ради отметим, что в более ранней работе Д.А. Герасимова [16] указано, что: «... Нет никаких оснований считать, что из одного и того же растительного сообщества получают различные по гумификации и другим признакам виды торфа».

Эта фраза указывает на преемственность его исходных представлений о генетической классификации с идеями западноевропейских ученых. И тут же поясняет причину отсутствия на тот момент времени данной классификации: «... считаясь с недостаточным состоянием наших знаний об условиях торфообразования в пределах «материнских ассоциаций».

Однако главный вопрос состоит в том, все ли остатки в торфе имеют равное значение. Таким образом, в 1932 г. классификации еще нет, но в 1937 г. он пишет следующее [1]: «Критерием отнесения того или иного образца торфа (т. е. индивидуальной записи ботанического состава) к тому или иному материнскому фитоценозу служило наличие характерного комплекса» (остатков). По сути было предложено классифицировать ботанический состав торфа, а не исходного растительного сообщества. Основу выделения видов торфа составляли не количественные соотношения остатков видов растений, а их качественные или характерные сочетания.

В результате: «Полученные после укрупнения 24 (первоначально 38) вида торфа в ряде случаев соответствовали более широкому фитоценологическим единицам, чем даже комплексная ассоциация; каждая из фаций, в которых происходило образование торфа этих 24 видов, включает в себя несколько фитоценозов (ассоциаций) ... Введение ... видового анализа остатков растений в торфе позволило использовать растительные остатки как руководящие ископаемые. Именно руководящие остатки позволяют учесть условия торфообразования, а не количественные соотношения остатков растений в торфе».

В завершении рукописи он пишет: «Нет сомнения в том, что соотношение растительных остатков в торфе совершенно иное, чем соотношение растительной массы растений в материнском фитоценозе, поэтому мы опираемся для суждения о материнском фитоценозе на ... руководящий комплекс растительных остатков». Таким образом, Дмитрий Александрович предложил учитывать внутренние связи в сообществах, которые характеризуются небольшим количеством руководящих остатков.

Марина Сергеевна Боч [17] на основе естественных фитоценологических связей между видами растений пересмотрела виды торфа классификации МТИ (1951) и установила, что их количество можно сократить с 41 вида (не считая вариантов) до 22 (с вариантами до 34). Используя понятие «экогрупп ведущих видов»

и рассчитывая их константность (характерность) и покрытие по 5-бальной системе. Аналогично анализировались и классифицировались образцы торфа. М.С. Боч в некотором смысле выполнила условия определения видов торфа по Д.А. Герасимову, правомерно считая, что ей удалось сделать классификацию торфов более генетической. По данным работы аналогичные работы по идентификации видов торфа с торфообразующими ассоциациями были выполнены в 60-х гг. в Германии (21 вид торфа) и Польше (24 вида).

По предложению Д.А. Герасимова, генетическая классификация торфа должна считаться со всей историей, пройденной данным образцом торфа или торфяным слоем. В результате он делил все торфа на группы со слабо выраженными вторичными свойствами и сильно выраженными. Первые делятся по принципу фаціальности (материнских фитоценозов, минерального питания, возможно, вымывания гумусовых веществ) с выделением разновидностей торфов по возрасту. Вторые подразделяются по степени выраженности вторичных признаков. Румынский геолог Ф. Кодарча [18] также считает, что диагенез торфа как вторая фаза в его образовании начинается после перехода торфяного слоя в средние и нижние слои торфяного тела.

Важно подчеркнуть, что эксперименты ученицы Д.А. Герасимова Н.М. Беликовой по искусственному торфообразованию, оказали огромное идеологическое влияние на теорию торфообразования и разработку генетической классификации видов торфа и не были достойно оценены в тот момент времени. Как пишет Н.М. Беликова [19]: «из сфагновых мхов, собранных в живом виде, подвергая их воздействию (грибов), можно получить торф разной степени разложения – от 15 до 60% ... Это увеличение не всегда идет параллельно убыли сухого вещества ... при превышении степени разложения на 1% сфагновые мхи теряют от 1 до 12% своего сухого вещества, причем с увеличением степени разложения коэффициент (увеличения степени разложения) правильно понижается».

Одним из ценнейших результатов работы Н.М. Беликовой следует считать вывод о том, что в естественных условиях все растения распадаются с разной скоростью и по их количественному соотношению нельзя судить об исходных сообществах. Это стало основой идеи о руководящих или диагностических видах растений-торфообразователей. Таким

образом, пишет Н.М. Беликова, ботанический состав торфа является функцией степени разложения. Правильнее сказать, функцией процесса торфообразования и в не меньшей степени, времени осуществления этого процесса. Последнее очень важно для понимания роли климатических и погодных колебаний в период образования торфа.

До 1927 г. в СССР определение торфа по количественному соотношению остатков растений не давало устойчивой связи видов торфа и с их техническими свойствами из-за неограниченного в принципе количества выделяемых видов торфа (что к сожалению, наблюдается и в настоящее время). Торфяная промышленность же ставила условие получения ограниченного и сравнительно небольшого количества видов торфа. Эта проблема практически и теоретически в целом с учетом особенностей того времени была решена Дмитрием Александровичем Герасимовым.

Библиографический список

1. Герасимов Д.А. О принципах классификации торфяных отложений // Труды Инсторфа. – 2010. – № 1 (54). – С. 6–14.
2. <https://bessmertnybarak.ru/books/person/1729142/>(<https://bessmertnybarak.ru/books/person/1729142/> (последнее обращение 4.11.2019 г.)
3. Тюремнов С.Н. Научно-исследовательская работа кафедры торфяных месторождений // Труды Московского торфяного института. – М.: Госэнергоиздат, 1958. – Вып. VIII. – С. 14–30.
4. Природа болот и методы их исследований. – Л.: Наука (Ленинградское отделение), 1967.
5. Богдановская-Гиенэф И.Д. Закономерности формирования сфагновых болот верхового типа (на примере Полистово-Ловатского массива). – Л.: Наука (Ленинградское отделение), 1968. – 188 с.
6. Нейштадт М.И. Памяти Сергея Николаевича Тюремнова // Бюллетень московского общества испытателей природы, отдел биологии. Т. LXXVII (5). – 1972. – С. 155–160.
7. Волков В.П. К вопросу о развитии торфяной промышленности СССР за годы советской власти // Труды Московского торфяного института. – М., 1957. – Вып. VII. – С. 67–75.
8. 40 лет торфяной промышленности СССР. – М.–Л.: Государственное энергетическое издательство, 1957. – 296 с.
9. Раевский Л.П. Сушка торфа в сезоне 1937 г. // За торфяную индустрию. – 1937. – № 8–9. – С. 11–13.
10. Миркин М.А. Окараивание торфа // За торфяную индустрию. – 1937. – № 8–9. – С. 8–11.
11. Копенкина Л.В. Организатор торфяной промышленности И.И. Радченко (1874–1942) (к 140-летию со дня рождения) // Труды Инсторфа. – 2014. – № 9 (62). – С. 46–51.
12. Герасимов Д.А. Направления и методы работ геоботанического кабинета Инсторфа // Известия научно-экспериментального торфяного института. – 1922. – № 1. – С. 26–34.
13. Герасимов Д.А. Некоторые итоги успехов болотоведения за последние десять лет // Геоботанические и биохимические исследования торфяных болот. Труды научно-исследовательского торфяного института (Инсторф). – М.–Грозный–Л.–Новосибирск: ГНТГГНИ, 1934. – Вып. 14. – С. 3–12.
14. Галкина Е.А. О геоморфологической классификации болот // Болота и заболоченные земли Карелии. Ученые записки Петрозаводского университета, биологические науки. – Петрозаводск: Кар. Книжное изд., 1964. – Т. XII. – Вып. 2. – С. 106–113.
15. Тюремнов С.Н., Виноградова Е.А. Геоморфологическая классификация торфяных месторождений // Труды МТИ. – 1953. – Вып. 2. – С. 3–51.
16. Герасимов Д.А. Торф, его происхождение, залегание и распространение. – М.–Л.: Государственное научно-техническое изд., 1932. – 68 с.
17. Боч М.С., Смагин В.А. Флора и растительность болот Северо-Запада России и принципы их охраны (монография). Труды Ботанического института им. В.Л. Комарова РАН. Вып. 7. – СПб.: Гирометеоиздат, 1993. – 225 с.
18. Кадарча Ф. Некоторые аспекты генезиса, химизма и петрографии торфа в бассейне реки Дорн (северо-восточная часть СРР) // Изучение состава и свойств торфа в целях его использования в народном хозяйстве / Труды Геолфонда РСФСР. – М., 1977. – С. 124–136.
19. Беликова Н.М. Распад органического вещества торфообразователей // Геоботанические и биохимические исследования торфяных болот. Труды научно-исследовательского торфяного института (Инсторф). – М.–Грозный–Л.–Новосибирск: ГНТГГНИ, 1934. – Вып. 14. – С. 120–173.

УДК 622.331(09)

Копенкина Л.В.

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

НАУЧНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ В ОБЛАСТИ ДОБЫЧИ, ПЕРЕРАБОТКИ И ПРИМЕНЕНИЯ ТОРФА В ГОДЫ ВЕЛИКОЙ ОТЕЧЕСТВЕННОЙ ВОЙНЫ

Аннотация. В статье представлены научные исследования в области добычи, переработки и использования торфа, выполненные в годы Великой Отечественной войны. Разработки были выполнены отдельными учеными и в научных центрах страны – Московском торфяном институте, Всесоюзном научно-исследовательском институте торфяной промышленности, Центральной торфяной опытной станции.

Ключевые слова: история торфяного дела, добыча торфа, переработка торфа, применение торфа, Великая Отечественная война.

Kopenkina L.V.

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

THE SCIENTIFIC RESEARCHERS IN THE FIELD OF PEAT EXTRACTION, PROCESSING AND APPLICATION IN GREAT PATRIOTIC WAR YEARS

Annotation. The article presents scientific research in the field of extraction, processing and use of peat, performed during the Great Patriotic War. The developments were carried out by individual scientists and in the country's scientific centers – the Moscow Peat Institute, the All-Union Scientific Research Institute of Peat Industry, and the Central Peat Experimental Station.

Key words: history of peat business, peat extraction, peat processing, peat application, Great Patriotic War.

Развитие и направления научных исследований в области торфяного дела в годы Великой Отечественной войны были связаны преимущественно с повышением роли торфа как топлива.

Основными научными центрами в эти годы были Московский торфяной институт (МТИ), Всесоюзный научно-исследовательский институт торфяной промышленности (ВНИИТП), организованный в конце 1941 года на основе Всесоюзного института механизации торфяной промышленности (ВИМТ) и научно-исследовательского института торфяной промышленности (Инсторфа), а также Центральная торфяная опытная станция (ЦТОС).

За большой вклад в победу в Великой Отечественной войне многие ученые в области торфяного дела были награждены орденами и медалями [1].

Профессор Михаил Петрович Воларович был награжден орденом Ленина. Под его ру-

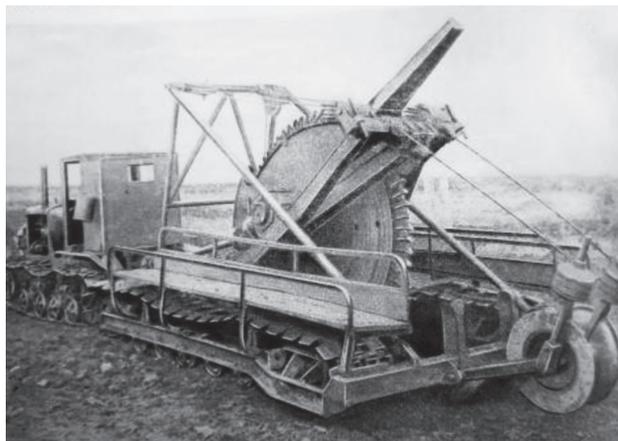


Рис. 1. Дренажно-дисковая машина ДДМ-5

Fig. 1. Disc drainage machine DDM-5



Рис. 2. Экскаватор ТЭ-2

Fig. 2. Excavator TE-2

ководством в годы войны в лаборатории кафедры физики МТИ исследовались оптимальные составы смазочных масел, облегчающие запуск двигателей танков и машин при низких температурах.

Сжигание влажного торфа

В период блокады 5-я ГРЭС (ЛГЭС-5, Красный Октябрь) была единственным источником, обеспечивающим Ленинград электроэнергией. Зимой 1941–1942 гг. по проекту Т.Ф. Макарьева под котлом соорудили вихревую топку с горизонтальным транспортером, с которого фрезерный торф взвивался потоками воздуха с помощью сопел [2]. Это изобретение решило проблему сжигания высоко влажного торфа, имеющегося на торфопредприятиях Всеволожского района.

Исследование дренирования торфяных залежей с целью интенсификации их осушения

С целью интенсификации осушения торфяных площадей во ВНИИТП была разработана дренажно-дисковая машина ДДМ-5 (рис. 1) в 1943 году [3]. В процессе работы фреза прорезала в залежи щель (дрену) трапецеидальной формы. Сфрезерованная залежь выбрасывалась на поверхность. В верхней своей части при помощи специального аппарата дрена закрывалась торфяной массой.

Исследования проходимости на слабых, сильно увлажненных грунтах и неосушенной торфяной залежи

В первые годы войны А.В. Пичугин выполнил научные работы по исследованию группы торфяных месторождений с целью испытания их на проходимость различными родами войск.

Под руководством профессора Н.А. Наседкина в МТИ проводились исследования проходимости танков через болотистые местности.

В 1943 г. коллективом ВНИИТП для сооружения открытой сети каналов и канав различных сечений, необходимых для осушения торфяных массивов, был создан экскаватор ТЭ-2 (рис. 2): гусеничный, полноповоротный, одноковшовый, для работы на слабых, сильно увлажненных грунтах и неосушенной торфяной залежи, а также работы по рытью рек и каналов [3].

В зависимости от типа работ экскаватор был оснащен сменным оборудованием: прямая лопата; обратная лопата; драглайн.

Механизация уборки фрезерной крошки из валка с целью повышения производительности

В 1944 году во ВНИИТП была создана и испытана новая уборочная машина УМПФ-4 (рис. 3) для уборки фрезерного торфа, принятая к серийному выпуску и внедрению в торфяную промышленность [4].

Машина осуществляла сбор фрезерной крошки в бункер из валков и ее транспортировку с выгрузкой.

Схема уборки фрезерного торфа упростилась и повысилась производительность добычи фрезерного торфа.

Механизация экскавации пнистых торфяных залежей с целью повышения производительности

С 1940 года ВИМТ искал способы увеличения производительности элеваторных и экскаваторных машин.

Решением проблемы стало создание в 1942 году во ВНИИТП багерно-элеваторной машины [5]. Идея заключалась в использовании поворотной однорядной многоковшовой со значительным тяговым усилием (рис. 4). В этом случае пень может быть выкорчеван большим усилием тяговой цепи или, в случае большого размера, временно обойден.

Механизация транспорта и выстилки торфа-сырца с целью повышения качества торфяного куска

В 1943 году во ВНИИТП была разработана модель стилочной машины ЭСМ-7 [6].

Применение стилочных машин дало возможность увеличить производительность добычи и качество добываемой продукции и снизить ее себестоимость.

В связи с вводом этих машин появилась необходимость в реконструкции экскаваторов. Проблема выражалась в несоответствии производительностей экскаватора и пресса стилочной машины.

Производительность пресса – 60–80 м³/ч.

В 1943 году в МТИ С.Г. Солопов защитил кандидатскую диссертацию на тему «Рациональный метод стилки торфа-сырца при машино-формовочном способе добычи».

Исследования в области физики торфа

Во время войны на кафедре механической переработки торфа МТИ проводились научные исследования в области механики и физики

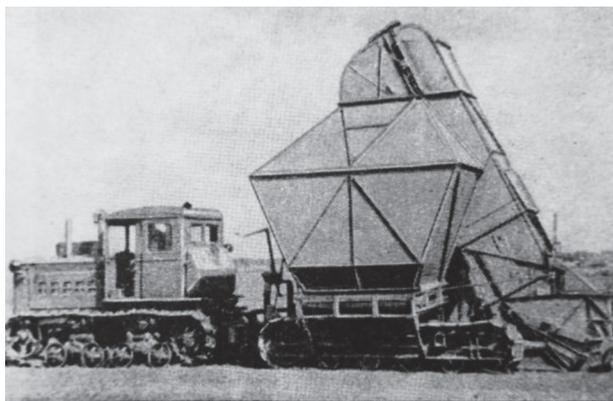


Рис. 3. Уборочная машина УМПФ-4

Fig. 3. Harvesting machine UMPF-4

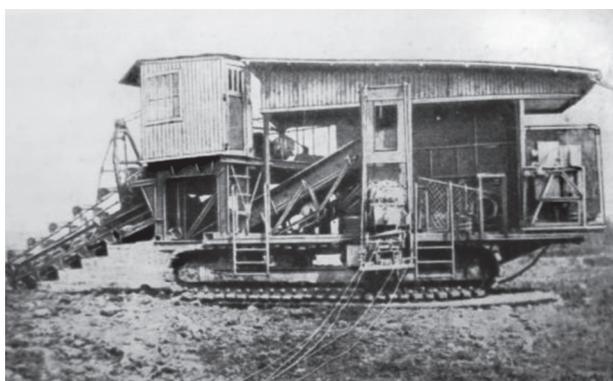


Рис. 4. Багерно-элеваторная машина

Fig. 4. Bagger elevator machine

дисперсных систем, в том числе торфа как дисперсной системы.

Еще до войны в докторской диссертации «Термодинамическая теория подобия и ее применение к грунтам и почве» Н.А. Наседкина (1940) был установлен термодинамический критерий подобия, позволяющий моделировать процессы, отличающиеся большой сложностью и трудностями в определении математических зависимостей.

В 1938–1943 годах профессор Г.И. Покровский вместе с Н.А. Наседкиным разработали метод экспериментального определения коэффициента термовлагопроводности, необходимого при расчете динамики сушки пористых материалов.

В Справочнике по торфу (1944) в 19-й главе «Техническая физика торфа», написанной Н.А. Наседкиным, представлены механика торфяного массива, тепловые свойства торфа, данные по взрываемости торфяных аэрозольей и об электрических свойствах торфа [7].

Исследования в области искусственного обезвоживания торфа

В годы войны на кафедре механической переработки торфа МТИ проводились исследования искусственного обезвоживания торфа [8].

Вопросы механического обезвоживания торфа с дренирующими добавками рассмотрены в кандидатской диссертации «Влияние твердых добавок на механическое обезвоживание торфа» В.М. Наумовича (1940).

В этой работе обобщен опыт работы в этой области первого опытного завода по искусственному обезвоживанию торфа.

В 1943 году в журнале «Торфяная промышленность» была опубликована статья Н.А. Наседкина с теоретическим обоснованием влияния дренирующих добавок на время отжатия воды из торфа.

Исследования в области брикетирования торфа

В 1940–1943 годах на кафедре механической переработки торфа МТИ проводились исследования технологии брикетирования различных отходов и растений (тростника, льняной коры, древесных опилок, осадка сточных вод), а также брикетированию торфа с различными добавками: торфяным пекон, сульфитным щелоком, кислым гудроном и каменно-угольным штыбом для топливных целей (В.Н. Иванов, М.И. Сарматов, М.З. Михайлова, С.А. Катков) [9].

В 1943 году В.Н. Иванов защитил кандидатскую диссертацию на тему «Технология производства топливных брикетов из различных отходов».

Исследования в области химической переработки торфа

В силу диктуемых войной условий, необходимости упрощения и удешевления производства, исследования химической переработки торфа под руководством профессора В.Е. Раковского [10] имели определенную направленность для создания:

- кокса для кузниц и других нужд;
- колесной мази;
- креолина для животноводства;
- карболинеума для садоводства;
- керосина;
- бензина;
- уксуснокислого кальция;
- древопропиточных масел.

В 1944 году была защищена кандидатская диссертация К.С. Липовской «Получение моторного топлива, газа и электродного кокса методом коксования торфяного пека».

В 1945 году А.М. Кунин защитил кандидатскую диссертацию на тему «Получение жидкого топлива из торфяных масел методом селективной экстракции».

Исследования в области коксования торфа

В военные годы использование торфяного кокса имело огромное значение для обеспечения бесперебойной работы стратегически важных оборонных предприятий.

Для получения кокса требуемого качества сотрудниками Центральной торфяной опытной станции (ЦТОС) в годы войны была спроектирована вертикальная непрерывно действующая печь [11].

Печь сконструирована по типу вагранки с улавливанием продуктов швелования торфа.

Коксование торфа происходило за счет сжигания некоторого количества торфяного кокса в горне при помощи вдуваемого через фурмы воздуха.

Исследования в области газификации торфа

Разработанная Центральной торфяной опытной станцией печь могла работать как обычная вагранка или газогенератор [11].

Для облегчения топливного баланса с ваграночным топливом была спроектирована и построена вагранка, отапливаемая газом из торфа.

В дальнейшем плавка чугуна на газе получила широкое распространение в районах, далеко удаленных от кокса, но богатых древесиной и торфом, а также на предприятиях со стационарными газовыми станциями.

В 1945 году Н.Н. Богданов защитил кандидатскую диссертацию на тему «Газификация пылевидного торфа в генераторный газ».

Исследование применения торфа в сельском хозяйстве

Отдел использования торфа в сельском хозяйстве ЦТОС в годы войны занимался изучением производства высокоэффективного торфяного компоста, содержащего все три главных элемента питания растений, а также использования выработанных торфяных площадей под сельскохозяйственные культуры.

Исследование биологических свойств торфа и его применение в медицинских целях

Применение сфагнового мха в качестве перевязочного материала было предложено Центральной торфяной опытной станцией и Ботаническим институтом имени В.Л. Комарова [11].

Обладая высокой всасывающей способностью и дезодорирующими свойствами, сфагновый мох (рис. 5) являлся одним из лучших перевязочных материалов в хирургии, в частности при лечении гнойных ран.



Рис. 5. Сфагновый мох (фото из музея истории торфа ТвГТУ)

Fig. 5. Sphagnum Moss (Photo from the Peat History Museum)

По решению Ученого медицинского совета Наркомздрава СССР профессором И.Г. Руфановым и М.И. Нейштадтом была составлена инструкция по заготовке и применению в качестве перевязочного материала сфагнового мха и сфагновой торфяной подстилки.

15 сентября 1941 года был издан Приказ Наркомздрава СССР «О заменителях перевязочного материала», к которому была приложена эта инструкция.

Библиографический список

1. Указ Президиума Верховного Совета СССР о награждении орденами и медалями работников торфяной промышленности // Торфяная промышленность. – 1943. – № 6. – С. 1–6.
2. Александров И.П. Сердце осажденного Ленинграда // В кн.: Электрификация России: Воспоминания старейших энергетиков / Сост. Д.Г. Котилевский, А.М. Маринов. – М.: Энергоатомиздат, 1984. – С. 155.
3. Ивашечкин Н.В., Цупров С.А. Подготовка торфяных месторождений к эксплуатации // В кн. 40 лет торфяной промышленности СССР / Под общей ред. А.Ф. Баусина. – М.–Л.: Госэнергоиздат, 1957. – С. 40–51.
4. Жиглов А.Н. Прицепная к трактору уборочная машина для фрезторфа УМПФ. (Механизация уборки фрезторфа) // Торфяная промышленность. – 1942. – № 4. – С. 14–17.
5. Наумов Д.К. Багерно-элеваторная машина // Торфяная промышленность. – 1942. – № 5. – С. 25–29.
6. Чистяков В.И. Экскаваторный способ добычи торфа // В кн. 40 лет торфяной промышленности СССР / Под общей ред. А.Ф. Баусина. – М.–Л.: Госэнергоиздат, 1957. – С. 74–84.
7. Справочник по торфу / Под общей ред. Н.Н. Самсонова, М.А. Веллера, Д.А. Бегак. – М.–Л.: Госэнергоиздат, 1944. – 596 с.
8. Ант И.С. Некоторые итоги работ по искусственному обезвоживанию торфа // Торфяная промышленность. – 1942. – №6. – С. 10–13.
9. Иванов В.Н. О брикетировании топлива // Торфяная промышленность. – 1942. – № 5. – С. 29–31.
10. Раковский В.Е. Переработка торфа и увеличение боевой мощи Советского Союза // Торфяная промышленность. – 1942. – № 1. – С. 19–21.
11. Нейштадт М.И. Работа Центральной торфяной опытной станции Наркомзема РСФСР в годы Великой Отечественной войны // Торфяная промышленность. – 1946. – № 3. – С. 28–30.