DOI: 10.15593/224-9923/2015.14.8

УДК 622.331

© Бондарев Ю.Ю., Звонарев Е.И., Иванов С.Л.,
Шишлянников Д.И., 2015

ВАЛКОВО-ДИСКОВЫЙ СЕПАРАТОР АВТОНОМНОГО МОДУЛЬНОГО КОМПЛЕКСА ДОБЫЧИ И ПЕРЕРАБОТКИ ТОРФЯНОГО СЫРЬЯ НА ТОПЛИВО

Ю.Ю. Бондарев, Е.И. Звонарев, С.Л. Иванов, Д.И. Шишлянников¹

Национальный минерально-сырьевой университет «Горный»,
Санкт-Петербург, Россия

¹ООО «Региональный канатный центр», Пермь, Россия

Обоснована актуальность создания эффективных механизированных комплексов разработки торфяного сырья. Указывается на необходимость отказа от традиционного фрезерного способа разработки торфяных залежей. Показано, что основой топливно-энергетических кластеров распределенной энергетики является автономный комплекс добычи и переработки местного торфяного сырья в энергоплотное топливо с одновременным получением электрической и тепловой энергии. Сформулированы основные требования к торфодобывающим и перерабатывающим машинам. Доказана перспективность использования экскаваторного метода добычи торфяного сырья естественной влажности без предварительного осушения залежи. Предложена структура модульного горно-перерабатывающего комплекса с мини-ТЭС. Определен перечень горнотехнологического оборудования, образующего цепь аппаратов, осуществляющих инновационную технологию добычи и переработки местного топливного сырья в энергоплотное топливо. Новая технология предполагает эффективную сепарацию торфяного сырья естественной влажности без предварительной подсушки. Обоснована рациональная конструкция и параметры валково-дискового сепаратора, выявлены общие тенденции влияния характеристик валкового сепаратора на эффективность его работы с торфяным сырьем естественной влажности. Доказано, что для подготовки торфяного сырья естественной влажности наиболее рационально применять сепараторы с шахматным расположением рабочих элементов и частотой вращения дисков 150–180 об/мин. В связи со сложностью взаимодействия дисков сепаратора с сырьем, изменяющим свои параметры в широком диапазоне, при исследовании и проектировании сепараторов необходимо использовать модельно-экспериментальный подход.

Ключевые слова: торфяное сырье, распределенная энергетика, экскаваторный способ добычи торфа, валково-дисковый сепаратор, энергоэффективность, модульный горно-перерабатывающий комплекс.

ROLL-DISC SEPARATOR OF AUTONOMOUS MODULAR COMPLEX FOR PEAT EXTRACTION AND FUEL PRODUCTION

Iu.Iu. Bondarev, E.I. Zvonarev, S.L. Ivanov, D.I. Shishliannikov¹

National Mineral Resources University (University of Mines),
Saint Petersburg, Russian Federation

¹LLC “Regionalny Kanatny Tsentri”, Perm, Russian Federation

The paper provides background for designing efficient mechanical facilities for peat production. The authors suggest to abandon the traditional cutting method for peat deposit development. The basis for energy-fuel clusters of the distributed power generation is provided by an autonomous production unit of peat extraction and processing into energy-dense fuel with simultaneous electric and thermal energy generation. The general requirements for peat extracting and processing machines are formulated. Long-term benefits of a digging method of extracting raw peat of natural moisture without prior dewatering are proved. A structure of the modular processing complex with thermal power mini-plant is presented. The list of mining equipment forming a chain of machines implementing the innovative technology of extraction and processing of local raw fuel into energy-dense one is given. The novel technology implies effective separation of raw peat of natural moisture without preliminary drying. A rational design and parameters of a roll-disc separator are justified; general effects of the roll-type separator parameters on its performance with raw peat of natural moisture are summarized. It is proved that producing raw peat of natural moisture requires separators with staggered operation devices and disc rotation speed of 150-180 rpm. Complex interaction between the separator discs and raw material which parameters vary in a wide range demands simulation and experimental approaches to research and development of the separators.

Keywords: raw peat, distributed power generation, digging method of peat extraction, roll-disc separator, energy efficiency, modular processing complex.

Введение

В России тысячи населенных пунктов находятся вдали от источников электро-снабжения – завоз топлива в эти регионы требует колоссальных затрат, в то же время они обладают значительными запасами местного топлива – торфа. В целом ряде регионов страны местные биоресурсы на основе торфа способны на длительную перспективу обеспечить выполнение социально значимой задачи стабильного тепло- и энергообеспечения как социальных, так и промышленных объектов.

Исходя из этого обеспечение потребности коммунальных и промышленных потребителей как электрической, так и тепловой энергией на базе мини-ТЭС, использующих в качестве топлива местные виды энергоресурсов, представляется реальной альтернативой существующему положению, способной к тому же значительно улучшить экологическую обстановку.

Традиционная технология добычи топливного фрезерного торфа оказывает отрицательное воздействие на природную среду осушением больших территорий, ухудшая экологическую обстановку, что вызывает высокие инвестиционные и налоговые риски вследствие несовершенства законодательной и нормативно-правовой базы торфяной промышленности. Производственные площади торфопредприятий являются пожароопасными [1]. Наиболее распространенными причинами возникновения торфяных пожаров являются: самовозгорание фрезерного торфа в штабелях (47 %); искры, возникающие при работе технологического оборудования и тракторов (25 %); неосторожное обращение с огнем (28 %) [2]. Многочисленные пожары торфяников на территории Московской области в 2010–2012 гг. подтвердили высокую пожароопасность торфоразработок, осуществляемых с предварительным осушением колоссальных площадей торфяных полей [3].

Вышеперечисленные факторы ставят работу большинства торфодобывающих компаний на грань рентабельности и, соответственно, вынуждают проводить реструктуризацию предприятий, осуществлять различные организационные изменения регламента производственной деятельности для достижения передового уровня производства.

Автономный комплекс по добыче и переработке торфяного сырья для распределенной энергетики региона

На сегодняшний день наиболее перспективными являются технологии добычи топливного торфа без осушения территорий, например экскаваторный способ добычи топливного сырья¹ [4, 5]. Преимуществами экскаваторного способа по сравнению с фрезерным (последним) способом добычи являются:

- снижение отрицательного воздействия на окружающую среду и экологическую обстановку (уменьшение пылевых выбросов, снижение эмиссии парниковых газов и т.д.);

- быстрое восстановление месторождений с возвращением заболоченным территориям статуса водоемов;

- расширение сезона производства;

- увеличение экономической эффективности производства [5, 6].

Экскаваторный способ добычи характеризуется высокой производительностью, обеспечивает максимальное использование природной энергии, так как экскавация торфа осуществляется на всю глубину залежи.

Применение современных технологий переработки сырья обуславливает возможность создания региональных энергетических кластеров, совмещающих ге-

¹ Пат. 2470984. Модульный технологический комплекс добычи торфа и производства окускованного топлива / Э.А. Кремчев, А.В. Михайлов, Д.О. Нагорнов, А.В. Большунов; патентообладатель ФГБОУ ВПО «Санкт-Петербургский государственный горный университет»; 28.06.2011.

нерирующие мощности с источниками топливных ресурсов, что позволит улучшить социально-экономическую обстановку в добывающих регионах посредством вовлечения в переработку местных возобновляемых ресурсов, модернизации источников теплоснабжения коммунальной энергетики и промышленных предприятий с использованием современных энергоэффективных технологий сжигания для производства тепловой и электрической энергии. Необходимо особо отметить, что мировой и отечественный опыт разработки теплоэлектростанций (ТЭС) малой мощности подтверждает преимущества применения твердого топлива. Например, в Республике Карелии более трети ТЭС при выработке электроэнергии и теплоснабжении жилого фонда успешно используют в качестве основного топлива торф и техническую древесину [7].

Сдерживающими факторами увеличения использования торфа для энергетических целей являются несовершенство технологического оборудования для добычи и первичной переработки влажного торфа, сложность организации производства топливного торфа в труднодоступных районах.

Агрегатно-модульное построение технологического оборудования на базе автономных унифицированных компонентов определенного функционального назначения имеет ряд технико-экономических преимуществ:

- гибкость системы проектирования – возможность построения множества компоновок разнообразного технологического оборудования из одних и тех же модулей;

- технологическая приспособляемость оборудования, позволяющая на базе одного агрегата создавать, исходя из требований реализуемой технологии, в короткие сроки с применением ограниченного комплекта модулей и других унифицированных элементов оборудования с необходимыми функциональными возможностями;

- допустимость при модернизации расширения технологических возможностей или повышения производительности оборудования за счет введения дополнительных модулей;

- обеспечение в заданном объеме выпуска оборудования при снижении его стоимости благодаря применению централизованно изготавливаемых узлов, агрегатов и различных комплектующих;

- повышение надежности оборудования за счет применения апробированных компонентов;

- улучшение условий эксплуатации оборудования, его диагностики, технического обслуживания и ремонта и т.д.

Эффективно применение агрегатно-модульного принципа для оснащения энергоперерабатывающих комплексов.

Известны автономные мини-комплексы для производства торфяных пеллет, примером является мобильная установка переработки биотоплива Д.А. Плотникова². Комплекс (рис. 1) включает в себя оборудование подготовки и подачи топлива, газогенератор, теплогенератор, барабанную сушилку, батарейный циклон с вентилятором, дозатор воды, смеситель, пресс-гранулятор, охладитель, сепаратор.

Дополнительно введены газовый фильтр, газовый охладитель, газовый двигатель, электрогенератор, позволяющие достичь полной энергетической автономности установки. Достоинствами комплекса являются автономность передвижной установки и ее энергообеспечение от перерабатываемого сырья. Установка использует подсушенное сырье влажностью не более 40 %. К сожалению, комплекс невозможно использовать при переработке торфяного сырья повышенной влажности.

² Пат. 55774. Установка переработки биотоплива / В.Н. Диденко, Д.А. Плотников; патентообладатель ГОУ ВПО «Ижевский государственный технический университет»; 28.03.2006.

Рис. 1. Общая структура установки переработки биотоплива, предложенная Д.А. Плотниковым:

→ – сырье на различных стадиях технологии;
 ——— – газы; - - - - - – электроэнергия

Добыча и переработка торфяного сырья в энергоплотное топливо с одновременным получением электрической и тепловой энергии, без предварительного осушения залежи и при минимуме логистических операций делает подобный комплекс автономным. Последний, в свою очередь, становится основным элементом децентрализованного энергетического кластера, работающего на местном топливе. Для автономного комплекса первоочередным является его энергоэффективность [8]. В общем случае для обеспечения непрерывной работы энергетического модуля такого комплекса необходимы вспомогательные модули: добычи, предварительного дробления, сепарации и доизмельчения, сушки торфяного сырья. При производстве работ без предварительного осушения в зависимости от степени разложения естественная влажность экскавируемого торфа составляет 88–92 %, что требует обезвоживания навала торфа для

его дальнейшей переработки на топливо [9].

Искусственное обезвоживание торфа на сегодняшний день задача трудноразрешимая. Наименее энергетически затратным является гравитационное обезвоживание на специальных платформах или по технологии, подобной *Geotube*, в случае гидромеханизированной добычи торфа. Лучшие результаты дает способ с использованием кольцевого пресса «Мадрук», заключающийся в добавлении к сырому торфу торфяного порошка 25%-ной влажности в количестве до 10 вес. %. Прессованием удастся довести влажность сырца до 60 %.

Для обеспечения топливом энергетического модуля автономного комплекса в 5 МВт необходимо 18 тыс. т торфяного сырья влажностью 50–55 % [10]. Результаты расчета энергопотребления оборудования автономного комплекса показывают, что они будут составлять около 5–7 % от выработанной энергии. Таким образом, комплекс способен не только экспортировать электроэнергию, но и обеспечивать производство собственного энергоплотного топлива, например торфяных брикетов. В этом случае при собственном потреблении энергии в объеме 15 % энергозатраты на предварительное дробление, сепарацию и измельчение составят треть энергии, на сушку – около 40 %.

Одной из основных задач при реализации технологии карьерного производства энергии является подготовка экскавированного торфяного сырья в технологических цепочках оборудования автономного модульного комплекса. При этом в первую очередь необходимо его дезинтегрировать и отделить древесные включения и торфяной очес. Для дезинтеграции торфомассы возможно использовать валковый шредер, а машин для сепарации столь влажного торфяного сырья на сегодняшний день нет.

Разработка конструкций сепараторов, обеспечивающих подготовку торфяного

сырья естественной и технологической влажности, позволит повысить энергоэффективность процессов сепарации торфа при экскаваторном способе добычи [11].

Валково-дисковый сепаратор модульного комплекса

При производстве окускованного топлива из подсушенного торфа широко применяются валковые сепараторы. Данное оборудование используется на торфоразработках уже длительное время и в целом характеризуется высокой надежностью, простотой конструкции и эффективностью сепарации.

В НИИ торфяной промышленности разработан валковый сепаратор торфяного сырья (рис. 2), осуществляющий сепарацию и измельчение торфяного сырья натуральной влажности около 90 % [12]. Работа сепаратора осуществляется следующим образом. Торф через приемную воронку поступает на зубья гребенки 17 и на рабочие элементы первого приводного вала. Куски торфа, размеры которых меньше размеров отверстий между зубьями гребенки и гранями рабочих элементов, попадают в подрешетный продукт – в воронку 19.

Куски торфа и посторонние включения, которые больше размеров этих отверстий, перемещаются гранями рабочих

элементов по сепаратору. Рабочие элементы первого вала снимают при вращении материал с зубьев гребенки и подают его к рабочим элементам второго вала, и далее на рабочие элементы последующих валов. При движении по граням рабочих элементов торф частично перерабатывается. При прохождении крупных кусков торфа под дисками куски торфа разрезаются последними. Размельченный торф просеивается между гранями рабочих элементов. При взаимодействии дисков с посторонними включениями, имеющими большее сопротивление резанию, чем торф, вал 4 с дисками 5 поднимается вверх, пропуская эти включения, после чего возвращается в исходное положение.

Оставшиеся в надрешетном продукте куски торфа и посторонние включения направляются далее рабочими элементами последующих валов. Пружины 11 отрегулированы на усилие разрыва торфа пластинами 10. Совместное действие пластин и рабочих элементов позволяет произвести дополнительное дробление торфа, который уходит в подрешетный продукт. Включения, обладающие большей прочностью на разрыв, чем куски торфа, отклоняют пластины и перемещаются к воронке надрешетного продукта. Пластины возвращаются в исходное положение. Упор 13 препятствует отклонению пластин в противоположном направлении.

Рис. 2. Схема сепаратора древесных включений: 1 – станина; 2 – вал; 3 – рабочий элемент; 4 – приводной вал; 5 – диск; 6 – качающаяся рама; 7 – привод дисков; 8 – ось; 9 – противовес; 10 – пластина; 11 – пружина; 12 – ось; 13 – упор; 14 – течка надрешетного продукта; 15 – верхний упор; 16 – нижний упор; 17, 18 – гребенки; 19 – течка подрешетного продукта

Рис. 3. Схема валкового сепаратора с шахматным расположением дисков

Методические основы расчета параметров валково-дисковых сортировок изложены в трудах профессора А.В. Кондратьева [13].

Из множества известных схем для подготовки торфяного сырья естественной влажности рационально применять сепараторы с шахматным расположением рабочих элементов (рис. 3) [14].

Определение геометрических параметров для сепаратора с шахматным расположением дисков сводится к вычислению диаметров дисков заданной формы и межцентрового расстояния между валами из условия минимизации заклинивания твердых включений между диском и валом согласно следующим выражениям:

$$D = (d + 2aK) / (2K_d K_n - 1),$$

$$A = DK_d K_n,$$

где D — диаметр описанной окружности диска, мм; A — межцентровое расстояние между валами, мм; d — диаметр вала, мм; a — промежуток между двумя соседними дисками вала, мм (рабочий просвет); K — коэффициент, характеризующий отношение b/a (b — расстояние от вершины диска до соседнего вала, мм), с учетом угла наклона сепаратора к горизонту это отношение целесообразно выбирать в пределах 0,6–2,5; K_d — геометрический коэффициент, равный отношению $D_{вп}/D$; $D_{вп}$ — диаметр вписанной окружности диска, мм; $K_n = A/D_{вп}$ — коэффициент, ха-

рактеризующий степень перекрытия дисков соседних валов, принимают в пределах 0,7–1.

При этом параметры сепаратора и кинематический режим его работы должны в обязательном порядке удовлетворять требованию предотвращения заклинивания нетехнологических включений между смежными дисками:

$$f > 2\alpha_{тр},$$

где f — угол между гранями смежных дисков, град; $\alpha_{тр}$ — угол между сепарируемым древесным включением и материалом рабочего элемента, град; его значение принимают, как правило, с двойным запасом в пределах 90–135°.

Для обеспечения высокой эффективности сепарации $E > 90$ % необходимо учитывать эффект налипания разделяемого материала на рабочие элементы сепаратора.

Для борьбы с налипанием торфяного сырья на рабочие органы машин оптимизируют также форму рабочих элементов сепараторов, проводят их механическую очистку, наносят антифрикционные покрытия на рабочие органы машин, осуществляют чистку вибрационными методами. Самыми распространенными очистительными устройствами являются скребки, объединяемые в гребенку. Часто для очистки рабочих элементов от налипшего торфяного сырья применяют цепные кольца на валах.

Этому вопросу посвящены работы [13–15]. В частности, Ю.Н. Павловым доказана эффективность применения сепарирующих устройств для торфяного сырья естественной влажности. С увеличением подачи и частоты вращения дисков с 80 до 180 об/мин наблюдается снижение эффективности с 92–97 до 82–92 %, при этом также снижается и становится несущественным налипание торфа, а с увеличением угла наклона сепаратора от 0 до 20° эффективность возрастает до 94–96 %. Вместе с тем при увеличении влажности торфяного сырья более 82 % процесс налипания материала на элементы сепаратора столь низок, что не требуется применять дополнительные устройств для их очищения. В зависимости от траектории движения материала в процессе просеивания ($A = \text{диск} \rightarrow \text{вал} \rightarrow \text{диск}$ или $B = \text{диск} \rightarrow \text{диск} \rightarrow \text{диск}$) минимальный процент просеивания труднопроходимых нетехнологических включений, средний размер которых превышает рабочий промежуток a , обеспечивается при наименьшем соотношении b/a (вариант A). При этом, если подходить с позиции предотвращения заклинивания твердых включений между диском и валом, то следует ориентироваться на наибольшее соотношение b/a (вариант B). В нашем случае второй вариант предпочтительнее: он требует более плотной установки дисков на валу, зато уменьшает количество последних.

Оптимизируя геометрические параметры дискового сепаратора для схемы (вариант B) и условий разделения торфяного сырья с естественной влажностью 87–90 %, прошедшего через дробилку-шредер, зададимся соотношением $b/a = 1,681$ для создания между дисками рабочего «просвета» $a \times b = 50 \times 84$ мм. Проведя несложные выкладки и используя выявленные в процессе изучения конструкций дисковых сепараторов конструктивные решения, можно записать, что для случая круглых дисков межосевое расстояние определяется простым

выражением $A = 3,955a$. А диаметр дисков D и межосевое расстояние A целесообразно округлить до 200 мм.

В связи со сложностью взаимодействия дисков сепаратора с материалом, изменяющим свои параметры в широком диапазоне, при исследовании и проектировании подобных машин применяют распространенный модельно-экспериментальный подход, по результатам которого разрабатывается методика обоснования выбора параметров сепаратора. Суть такого подхода состоит в создании экспериментального образца или стенда и его испытаний с целью получения зависимостей производительности по подрешетному продукту в функции параметров, например числа валков, диаметра диска, зазора между дисками, толщин дисков, зазора между диском и соседним валом, формы дисков, их материала и т.д.

Анализируя полученные в процессе экспериментов зависимости изменения производительности по подрешетному продукту, возможно оценить влияние какого-либо конструктивного или режимного параметра и области изменения его диапазона. Для осуществления этой задачи планируется разработка экспериментального стенда в виде роторно-дисковой просеивающей поверхности, состоящей из валов с дисками (рис. 4). Экспериментальный стенд состоит из рамы 1, загрузочного устройства 2, горизонтальных валов 3 с установленными на них сменными дисками 4, дистанционных рифленых втулок 5, бункеров 6 и 7 – накопителя и некондиционного материала соответственно.

Рама стенда устроена таким образом, что существует возможность изменения межосевого расстояния между валами для варьирования размеров ячеек, возможно изменение угла наклона просеивающей поверхности. Изменение угловой скорости вращения валов в диапазоне от 5 до 20 рад/с обусловлено применением асинхронного двигателя с частотным регулированием.

Рис. 4. Схема экспериментального стенда

Заключение

Следует констатировать, что автономный комплекс, перерабатывающий местное торфяное сырье в энергоплотное топливо с одновременным получением электрической и тепловой энергии, без предварительного осушения залежи, является реальной основой топливно-энергетических кластеров распределенной энергетики России и в первую очередь отдаленных и труднодоступных регионов. Низкая себестоимость производства, экологическая чистота сгорания (малая доля серы), полное горение (малый остаток золы), появившиеся новые технологии сжигания – всё это делает торф перспективным местным источником тепловой и электрической энергии, более дешевой и экологически чистой, чем каменный уголь и жидкое топливо.

Рассмотренная технология добычи торфа и производства торфяной продукции энергетического назначения должна представлять собой единую систему машин и механизмов, осуществляющих добычу полезного ископаемого, его транспорт и эффективную сепарацию, механическое обезвоживание, термическую

сушку торфа, производство торфяного топлива с последующим производством тепловой и электрической энергии. Для превращения модульного горно-перерабатывающего комплекса в реальную эффективную структуру определен перечень горнотехнологического оборудования, образующего цепь аппаратов, осуществляющих инновационную технологию добычи и переработки местного топливного сырья в энергоплотное топливо с одновременной выработкой тепловой и электрической энергии.

Сепарация экскавированного торфа повышенной влажности сегодня является одной из труднорешаемых задач. На основании поисковых исследований выявлены общие тенденции влияния технологических, конструктивных и кинематических характеристик валкового сепаратора на эффективность его работы с торфяным сырьем естественной влажности. С целью определения влияния технологических, конструктивных и кинематических параметров устройства на процесс просеивания торфяного сырья повышенной влажности разработан исследовательский стенд.

Список литературы

1. Справочник по торфу / под ред. А.В. Лазарева, С.С. Корчунова. – М.: Недра, 1982. – 760 с.
2. Цветков Р.Е. Автоматизация и управление технологическими процессами и производствами (в промышленности) / Твер. гос. техн. ун-т. – Тверь, 2008. – 16 с.
3. Пожары торфяников в Московской области. Справка [Электронный ресурс] / РИА «Новости». – <http://ria.ru/spravka/20100714/254723376.html> (дата обращения: 18.08.2014).
4. Бондарев Ю.Ю., Иванов С.Л. Технологический модуль для производства окисленного топлива из торфяного сырья // Социально-экономические и экологические проблемы горной промышленности, строительства и энергетики: сб. науч. тр. 9-й Междунар. конф. по проблемам горн. промышленности, строительства и энергетики. – Воркута, 2013. – С. 59–61.
5. Михайлов А.В., Иванов С.Л., Бондарев Ю.Ю. Состояние технического перевооружения машинно-тракторного парка торфодобывающих компаний // Научно-технические ведомости СПбГПУ. Наука и образование. – 2014. – № 3(202). – С. 229–235.
6. Перспективы развития новых технологий добычи торфа / А.В. Михайлов, Э.А. Кремчев, А.В. Большунов, Д.О. Нагорнов // Горн. информ.-аналит. бюл. – 2010. – № 9. – С. 189–194.
7. Шегельман И.Р. Потенциал карельского биоэнергетического кластера [Электронный ресурс] // Инженерный вестник Дона. – 2013. – № 3. – URL: www.ivdon.ru/magazine/archive/n3y2013/1751 (дата обращения: 20.01.2015).
8. Роджерс М. Переворот в энергетике // Вестник McKinsey. – 2013. – № 27. – С. 27–37.
9. Терентьев А.А. Управление структурообразованием в торфяных системах при получении бытового топлива: автореф. дис. ... д-ра техн. наук. – Минск, 1989. – 45 с.
10. Гнеушев В.А., Стадник А.С., Крохмалюк Ю.А. Логика сооружения и обеспечения биотопливом мини-ТЭЦ в Украине // Энергосбережение. Энергетика. Энергоаудит. – 2012. – № 7(101). – С. 44–52.
11. Бондарев Ю.Ю., Иванов С.Л., Михайлов А.В. Анализ конструктивных параметров сепараторов торфяного сырья // Актуальные вопросы в научной работе и образовательной деятельности: сб. науч. тр. междунар. науч.-практ. конф., 30 апреля 2014. – Тамбов, 2014. – Ч. 6. – С. 32–33.
12. Селеннов В.Г. Разработка научных основ, технологии и оборудования производства субстратных торфоблоков: дис. ... д-ра техн. наук. – Л., 1990. – 516 с.
13. Кондратьев А.В., Кочканян С.М., Вовченко И.С. Выбор конструктивных схем и расчет параметров валковых сортировок // Механика и физика процессов на поверхности и в контакте твердых тел, деталей технологического и энергетического оборудования: межвуз. сб. науч. тр. / под ред. В.В. Измайлова; Твер. гос. техн. ун-т. – Тверь, 2012. – Вып. 5. – С. 80–85.
14. Кондратьев А.В. Создание высокоэффективных валковых сепараторов торфяных машин и оборудования: дис. ... д-ра техн. наук. – Тверь, 1998. – 361 с.
15. Павлов Ю.Н. Совершенствование процесса разделения торфяного сырья на валковых сепараторах подготовительных отделений перерабатывающих предприятий: дис. ... канд. техн. наук. – Тверь, 2002. – 149 с.

References

1. Spravochnik po torfu [Peat guide]. Eds. A.V. Lazarev, S.S. Korchunov. Moscow: Nedra, 1982. 760 p.
2. Tsvetkov R.E. Avtomatizatsiia i upravlenie tekhnologicheskimi protsessami i proizvodstvami (v promyshlennosti) [Automation and management of technological processes and production (in industries)]. Tverskoi gosudarstvennyi tekhnicheskii universitet, 2008. 16 p.
3. Pozhary torfianikov v Moskovskoi oblasti. Spravka [Peat fires in Moscow region. Statistics]. RIA "Novosti", available at: <http://ria.ru/spravka/20100714/254723376.html> (accessed 18 August 2014).
4. Bondarev Yu.Iu., Ivanov S.L. Tekhnologicheskii modul' dlia proizvodstva okuskovannogo topliva iz torfianogo syr'ia [Technological unit for production of agglomerated fuel from raw peat]. *Sbornik nauchnykh trudov 9-i mezhdunarodnoi konferentsii po problemam gornoj promyshlennosti, stroitel'stva i energetiki* "Sotsial'no-ekonomicheskie i ekologicheskie problemy gornoj promyshlennosti, stroitel'stva i energetiki". Vorkuta, 2013, pp. 59–61.
5. Mikhailov A.V., Ivanov S.L., Bondarev Yu.Iu. Sostoianie tekhnicheskogo perevooruzheniia mashinno-traktornogo parka torfodobyvaushchikh kompanii [Condition of re-equipment of machine-tractor fleet owned by peat-producing companies]. *Nauchno-tekhnicheskie vedomosti SPbGPU. Nauka i obrazovanie*, 2014, no. 3(202), pp. 229–235.
6. Mikhailov A.V., Kremchev E.A., Bol'shunov A.V., Nagornov D.O. Perspektivy razvitiia novykh tekhnologii dobychi torfa [Prospects of creating novel technologies of peat extraction]. *Gornyi informatsionno-analiticheskii biulleten'*, 2010, no. 9, pp. 189–194.
7. Shegel'man I.R. Potentsial karelskogo bioenergeticheskogo klastera [Potential of the Karelian bioenergetic cluster]. *Inzhenernyi vestnik Dona*, 2013, no. 3, available at: www.ivdon.ru/magazine/archive/n3y2013/1751 (accessed 20 January 2015).
8. Rodzher M. Perevorot v energetike [Revolution in energetics]. *Vestnik McKinsey*, 2013, no. 27, pp. 27–37.
9. Terent'ev A.A. Upravlenie strukturroobrazovaniem v torfianykh sistemakh pri poluchenii bytovogo topliva [Management of structural processes in peat systems for household fuel production]. Abstract of a dissertation for a degree of Doctor of Technical Sciences. Minsk, 1989. 45 p.
10. Gneushev V.A., Stadnik A.S., Krokhmaluk Yu.A. Logika sooruzheniia i obespecheniia biotoplivom mini-TETs v Ukrainie [Concept of construction and biofuel supply to heating miniplants in Ukraine]. *Energoberezhenie. Energetika. Energoaudit*, 2012, no. 7(101), pp. 44–52.
11. Bondarev Yu.Iu., Ivanov S.L., Mikhailov A.V. Analiz konstruktivnykh parametrov separatorov torfianogo syr'ia [Analysis of design parameters of raw peat separators]. *Sbornik nauchnykh trudov mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii "Aktual'nye voprosy v nauchnoi rabote i obrazovatel'noi deiatel'nosti"*. Tambov, 2014, pp. 32–33.
12. Selenov V.G. Razrabotka nauchnykh osnov, tekhnologii i oborudovaniia proizvodstva substratnykh torfoblokov [Development of scientific background, technology and equipment for production of substrate peat blocks]. Abstract of a dissertation for a degree of Doctor of Technical Sciences. Leningrad, 1990. 516 p.
13. Kondrat'ev A.V., Kochkanian S.M., Vovchenko I.S. Vybory konstruktivnykh skhem i raschet parametrov valkovykh sortirovok [Selection of design and calculation of parameters for roll-type sorting plants]. *Mezhvuzovskii sbornik nauchnykh trudov "Mekhanika i fizika protsessov na poverkhnosti i v kontakte tverdykh tel, detailei tekhnologicheskogo i energeticheskogo oborudovaniia"*. Ed. V.V. Izmailov. Tverskoi gosudarstvennyi tekhnicheskii universitet, 2012, iss. 5, pp. 80–85.
14. Kondrat'ev A.V. Sozdanie vysokoefektivnykh valkovykh separatorov torfianykh mashin i oborudovaniia [Designing highly-effective roll-type separators of peat machines and equipment]. Dissertation for a degree of Doctor of Technical Sciences. Tver', 1998. 361 p.
15. Pavlov Yu.N. Sovershenstvovanie protsesssa razdeleniia torfianogo syr'ia na valkovykh separatorakh podgotoviteln'nykh otdelenii pererabatyvaushchikh predpriatii [Improvement of raw peat separation by roll-type separators at preparation units of processing plants]. Dissertation for a degree of Ph. D. in Technical Sciences. Tver', 2002. 149 p.

Об авторах

Бондарев Юрий Юрьевич (Санкт-Петербург, Россия) – аспирант кафедры машиностроения, Национальный минерально-сырьевой университет «Горный» (199226, г. Санкт-Петербург, Васильевский о-в, 21-я линия, 2; e-mail: yures_rtvjlk@mail.ru).

Звонарев Иван Евгеньевич (Санкт-Петербург, Россия) – кандидат технических наук, ассистент кафедры машиностроения Национального минерально-сырьевого университета «Горный» (199106, г. Санкт-Петербург, Васильевский о-в, 21-я линия, д. 2; e-mail: erc68@mail.ru).

Иванов Сергей Леонидович (Санкт-Петербург, Россия) – доктор технических наук, профессор кафедры машиностроения Национального минерально-сырьевого университета «Горный» (199106, г. Санкт-Петербург, Васильевский о-в, 21-я линия, 2; e-mail: lisa_lisa74@mail.ru).

Шишлянников Дмитрий Игоревич (Пермь, Россия) – кандидат технических наук, инженер ООО «Региональный канатный центр» (614000, г. Пермь, Комсомольский пр., 34б; e-mail: 4varjag@mail.ru).

About the authors

Iurii Iu. Bondarev (Saint Petersburg, Russian Federation) – Postgraduate student, Department of Mechanical Engineering, National Mineral Resources University (University of Mines) (199106, St. Petersburg, 21st Line, Vasilevskii island, 2; e-mail: yurec_rtvjlk@mail.ru).

Ivan E. Zvonarev (Saint Petersburg, Russian Federation) – Ph. D. in Technical Sciences, Assistant Lecturer, Department of Mechanical Engineering, National Mineral Resources University (University of Mines) (199106, St. Petersburg, 21st Line, Vasilevskii island, 2; e-mail: epc68@mail.ru).

Sergei L. Ivanov (Saint Petersburg, Russian Federation) – Doctor of Technical Sciences, Professor, Department of Mechanical Engineering, National Mineral Resources University (University of Mines) (199106, St. Petersburg, 21st Line, Vasilevskii island, 2; e-mail: lisa_lisa@mail.ru).

Dmitrii I. Shishliannikov (Perm, Russian Federation) – Ph. D. in Technical Sciences, Engineer, LLC “Regionalny Kanatny Tsentr” (614000, Perm, Komsomolsky av., 34b; e-mail: 4varjag@mail.ru).

Получено 14.01.2015

Просьба ссылаться на эту статью в русскоязычных источниках следующим образом:

Валково-дисковый сепаратор автономного модульного комплекса добычи и переработки торфяного сырья на топливо / Ю.Ю. Бондарев, Е.И. Звонарев, С.Л. Иванов, Д.И. Шишлянников // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Геология. Нефтегазовое и горное дело. – 2015. – № 14. – С. 72–81. DOI: 10.15593/2224-9923/2015.14.8

Please cite this article in English as:

Bondarev Iu.Iu., Zvonarev E.I., Ivanov S.L., Shishliannikov D.I. Roll-disc separator of autonomous modular complex for peat extraction and fuel production. *Bulletin of PNRPU. Geology. Oil & Gas Engineering & Mining*, 2015, no. 14, pp. 72–81. DOI: 10.15593/2224-9923/2015.14.8