

ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ И ЭКОНОМИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ИННОВАЦИОННЫХ АСПИРАЦИОННЫХ СИСТЕМ В ТОРФЯНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

Н. И. Березовский, В. В. Борисейко

Белорусский национальный технический университет, Минск, Беларусь

Аннотация. В условиях стремительного развития возобновляемых источников энергии рассмотрена возможность дальнейшего использования торфяного топлива, занимающего выгодную ступень в генетическом ряду твердых топлив. Представлены экологические и экономические подходы к комплексной модернизации существующих технологий обогащения горных пород на основе анализа современных европейских разработок.

Ключевые слова: торф; циклон; скруббер; фильтр; утилизация; ультразвук.

Для цитирования. Березовский Н. И., Борисейко В. В. Экологические и экономические аспекты использования инновационных аспирационных систем в торфяной промышленности // Природопользование. – 2018. – № 1. – С. 224–237.

ENVIRONMENTAL AND ECONOMIC ASPECTS OF THE USE OF INNOVATIVE ASPIRATION SYSTEMS IN PEAT INDUSTRY

N. I. Berezovsky, V. V. Boriseyko

Belarusian National Technical University, Minsk, Belarus

Abstract. In the conditions of wide development of renewable energy sources, the possibility of further use of peat fuel, occupying an advantageous level in the genetic range of solid fuels, was considered. Ecological and economic approaches to the comprehensive modernization of existing technologies for the production of fuel briquettes based on the analysis of modern developments are presented.

Key words: peat; cyclone; scrubber; filter; recycling; ultrasound.

For citation. Berezovsky N. I., Boriseyko V. V. Environmental and economic aspects of the use of innovative aspiration systems in peat industry. *Nature Management*, 2018, no. 1, pp. 224–237.

Введение. Торф относится к классу твердых горючих ископаемых – каустобиолитов. Основным источником накопления торфа являются болотные растения. Торф образуется в результате биохимического превращения растительных остатков в переувлажненных условиях при ограниченном доступе воздуха. Генетический ряд твердых топлив – растение, торф, бурый уголь, каменный уголь, антрацит, графит [1].

Выявленные и разведанные запасы торфа в Республике Беларусь составляют около 4,0 млрд т, благодаря чему отечественные базовые технологии использования торфа уже развиваются на протяжении почти 90 лет. В Беларуси торф в первую очередь используется для отопления домов. Одна тонна торфяных брикетов заменяет 2,5–3,0 м³ дров или 1,6 т бурого угля [2].

В последнее время набирает обороты использование торфяного топлива в большой энергетике и строительной отрасли. Так, например, цементная промышленность безотходно сжигает торфяные брикеты. Зола в процессе обжига переходит в состав ингредиентов готового цемента. Однако широкое развитие возобновляемых источников энергии все чаще ставит под вопрос развитие торфяной промышленности в Беларуси.

Изучение зарубежного опыта. Ученые и промышленники многих стран мира все чаще и чаще задаются вопросом: какие виды топлива обеспечат в ближайшем будущем и в перспективе получение электроэнергии и тепла. Бесспорным лидером энергетических реформ в мире является Германия. В течение примерно 10 лет растет вклад в энергообеспечение Германии возобновляемых источников энергии, таких как энергия ветра и солнца. Децентрализация малых электростанций на биогазе или древесных отходах побеждает энергию и тепло, связанные с центральным отоплением и электростанциями [3].

Хотя энергия солнца, ветра и других возобновляемых источников энергии имеет большую долю потребления в Германии, ископаемые источники по-прежнему доминируют. И такой ситуация будет оставаться еще долгое время. Эксперты сходятся во мнении: для того чтобы компенсировать колебания солнечной и ветровой энергии, еще в течение десятилетий понадобятся обычные электростанции, которые спокойно и надежно работают с постоянной производительностью. Для этого и впредь будут сжигаться газ и уголь (рис. 1) [3].



Рис. 1. Источники энергии Германии

Fig. 1. Sources of energy in Germany

Институт солнечных энергетических систем Fraunhofer ISE опубликовал традиционную ежегодную брошюру «Электрическая генерация в Германии» (Power generation in Germany — assessment of 2016), содержащую предварительные статистические итоги прошедшего года. В 2016 г. объемы производства электричества на основе солнца и ветра впервые за много лет не выросли, а сократились.

Нет, мощности в солнечной и ветроэнергетике не уменьшились. Они выросли, но подвела погода. Было меньше, чем обычно, и ветра, и солнца. Выработка солнечных электростанций сократилась на 3,0 %, в ветроэнергетике – на 1,5 %. В 2016 г. по сравнению с 2015 г. также сократилась выработка атомных и угольных электростанций. Атомная энергетика произвела на 7,8 % меньше энергии, энергетика на основе бурого угля – на 3,4, энергетика на основе каменного угля – 5 %. А вот генерация на основе природного газа выросла на внушительные 45,9 %(!) во многом благодаря низким ценам на голубое топливо и, напротив, высоким ценам на уголь [4].

13 июня 2016 г. был опубликован очередной ежегодный прогноз развития энергетики 2016 New Energy Outlook от Bloomberg New Energy Finance (BNEF) [4].

К 2040 г. 60 % генерирующих мощностей будет приходиться на безуглеродные источники энергии (ВИЭ + атомная энергетика). 64 % новых мощностей, которые будут введены к этому сроку, придутся на солнце и ветер. Они же привлекут порядка 60 % инвестиций в электроэнергетику, общий размер которых аналитики BNEF оценивают в 11,4 трлн долл. США.

Доля солнца и ветра в общем объеме генерации в мире к 2040 составит 30 % (сегодня – около 5 %). В ряде стран (названы Германия, Великобритания, Мексика, Австралия) доля указанных ВИЭ превысит 50 %. В Европе доля возобновляемой энергетики составит 70 % генерации.

«Золотой век» природного газа, о котором говорили в начале последнего десятилетия, так и не наступит. Стоимость солнечной и ветряной генерации снижается так быстро, что газ не сможет составить им серьезной конкуренции. Наилучшие перспективы природного газа – в США, где, по предположению BNEF, к 2040 г. может быть добавлено почти 100 ГВт новых газовых мощностей. Пик потребления углеводородов в электроэнергетике придется на 2025 г. (рис. 2) [4].

Развитие рынка электромобилей обеспечит за 25 лет дополнительный спрос на электроэнергию в объеме 2701 ТВт·ч. Электромобили будут потреблять примерно 8 % мировой электроэнергии, станут конкурентоспособными по цене к 2025 г., а их доля к 2040 г. составит 25 % мирового парка автомобилей.

К 2040 г. порядка 10 % установленной энергетической мощности в глобальном масштабе будет приходиться на малые (распределенные) фотоэлектрические электростанции. В некоторых странах их доля будет существенно выше.

В отличие от сырьевого рынка, где рост спроса порождает рост цен, на рынке энергетических технологий повышение спроса (например, на фотоэлектрические модули или аккумуляторы) способствует увеличению масштабов производства, которое, в свою очередь, ведет к снижению цен, что стимулирует новый спрос. Таким образом, увеличение доли электромобилей и расширение производства аккумуляторов благотворно влияют на рынок систем хранения энергии в целом, делая их использование все более доступным. К 2020 г. бытовая накопитель электроэнергии станет стандартной опцией домашней солнечной электростанции [4].

Electricity Is Approaching Peak Fossil Fuels Power generation has never looked so clean

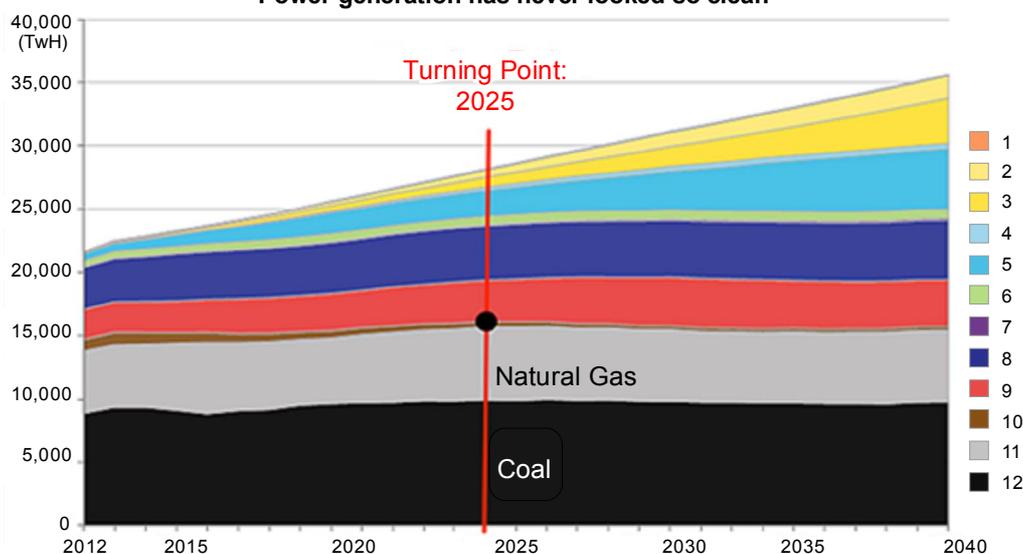


Рис. 2. Прогноз развития энергетики (по данным BNEF):

- 1 – солнечные тепловые коллекторы; 2 – фотоэлектрические преобразователи малой мощности; 3 – высокоэффективные фотоэлектрические преобразователи; 4 – наземная зональная ветроэнергетика; 5 – береговая ветроэнергетика; 6 – энергия биомассы; 7 – геотермальная энергия; 8 – энергия воды; 9 – ядерная энергия; 10 – нефтепродукты; 11 – природный газ; 12 – каменный уголь

Fig. 2. Forecast of energy development (according to BNEF):

- 1 – Solar thermal; 2 – Small-PV solar; 3 – Utility-PV solar; 4 – Offshore wind; 5 – Onshore wind; 6 – Biomass/WtE; 7 – Geothermal; 8 – Hydro; 9 – Nuclear; 10 – Oil; 11 – Gas; 12 – Coal

В 2030-х годах солнце и ветер станут самыми дешевыми способами производства электроэнергии практически во всем мире.

Судьба угольных и газовых электростанций – быть дорогими резервными (backup) мощностями для дешевой ВИЭ генерации.

Объем угольной генерации до 2040 г. сохранится примерно на нынешнем уровне. В большинстве стран, в том числе в Китае, производство электричества на основе угля будет сокращаться, а вот в Индии существенно вырастет. Индия, где потребление электроэнергии увеличится в 4,0 раза, превратится в основного мирового эмитента парниковых газов.

Если развитие энергетики будет происходить в соответствии с данным прогнозом BNEF, достичь климатических целей, зафиксированных в Парижском соглашении, т. е. ограничить глобальное потепление 2 °С, не получится. Необходимы дополнительные действия правительств, которые в данном документе не рассматриваются [4].

Результаты исследований. По элементному составу торф занимает промежуточное положение в ряду твердых топлив и смыкается верхней своей границей с бурными углями, а нижней – с дровами (табл. 1) [1].

Взаимосвязь экологических и экономических аспектов в совокупности с применением инновационных технологий объективно подтверждают необходимость дальнейшего развития производства твердого топлива из торфа.

Таблица 1. Элементный состав твердых видов топлива

Table 1. Elemental composition of solid fuels

Вид топлива	Состав горючей массы, %				
	Углерод	Водород	Кислород	Азот	Сера
Дрова	51,0	6,1	42,3	0,6	–
Торф	54,0–63,0	5,9	34,8	2,0	0,3
Бурый уголь	55,0–80,0	3,8–6,3	17,0–27,0	1,0–3,0	До 3,0
Каменный уголь	75,0–90,0	4,5–5,5	4,5–15,0	–	До 6,0
Антрацит	92,0–97,0	2,0–3,0	1,0–3,0	–	До 6,0
Сланцы	61,0–74,0	7,5–9,5	11,0–16,0	0,3–1,2	1,8–4,8

Из сравнительного анализа (табл. 2) следует, что выбросы оксида углерода при сжигании каменного угля превышают в 1,36 раза выбросы при сжигании торфяных брикетов, а диоксида серы – в 6,1 раза [5]. Что касается бурого угля, выбросы диоксида серы превышают в 2,7 раза, лишь выбросы оксида углерода бурого угля, наоборот, ниже значения торфяных брикетов в 1,3 раза. Наряду с этим необходимо отметить, что выбросы твердых частиц при сжигании каменного угля в сравнении с брикетом превышают в 2,7 раза, соответственно бурого угля – в 1,98 раза. Эти явные преимущества дают основания для успешной конкуренции на рынке твердых видов топлива.

В Республике Беларусь одним из ведущих направлений механической переработки торфа является брикетирование. Торфяные брикеты – удобное и выгодное, в первую очередь бытовое топливо. Они содержат мало влаги (14–20 %) и обладают высокой теплотой сгорания (до 4500 ккал/кг).

Технологии и оборудование основных европейских стран по переработке сыпучих материалов, (возобновляемые источники энергии – биомасса из кукурузы, соломы, опавших листьев, древесных опилок и др.) для их дальнейшего сжигания по получению тепла и энергии очень близки к технологии получения торфяных брикетов и пеллет и поэтому представляют интерес для торфяной отрасли Республики Беларусь. Предлагаемые технологии представлены в виде комплексных системных решений: сбор, доставка, хранение, подготовка, переработка и направления использования энергии.

Отличительной особенностью некоторых комплексов является применение закрытых систем подачи сырья на подготовку, сушку (варку опавших листьев) (разработка компании SUNCOAL), пресование. При этом широкое применение получил пневмотранспорт с нагнетающими или всасывающими системами (разработка компании NESTRO). Все системы технологического транспорта оснащены рукавными фильтрами (разработчики: TSF-FILTER, PIONIER, NESTRO, SIMATEK), позволяющими повторно применять отфильтрованное сырье, что значительно улучшает культуру производства, увеличивает выход товарной продукции и сводит до минимума выбросы в окружающую среду.

В условиях жесточайшей конкуренции на рынке энергоносителей требуется оптимизация технологических процессов добычи и переработки торфа с учетом разработок ведущих европейских компаний. Однако приобретение оборудования европейского производителя влияет на снижение положительного сальдо Республики Беларусь. Значительное снижение себестоимости торфяных брикетов в первую очередь возможно путем изменения традиционной технологии добычи торфа скреперами. Так, например, применение пневматической уборки торфяной крошки относится к периоду возникновения поверхностно-послойного способа добычи фрезерного торфа и основано на исследованиях ведущего ученого в области торфяной механики С. Г. Солопова [2, 6]. Однако применение валового учета добычи торфа в тоннах привело к незаслуженному исключению из практики пневматической уборки фрезерного торфа для брикетирования.

При пневматической уборке торфа вследствие отсутствия подфрезеровывания торфяной залежи исключается увлажнение фрезерной крошки. Регулирование скорости воздуха во входном отверстии сопла и изменение поступательной скорости пневмоуборочной машины позволяют подобрать такой режим работы, при котором обеспечивается выборочная уборка частиц измельченного торфа определенной влажности и крупности. Фракционный состав торфа при пневматической уборке более однороден, в нем почти отсутствуют посторонние включения, а сыпучесть существенно улучшается. Исследования, проведенные в разное время развития торфяной промышленности, показали, что при этом способе направленное перемещение измельченного торфа под воздействием газового потока

Таблица 2. Количество загрязняющих веществ при сжигании 1 т твердых видов топлива

Table 2. The amount of pollutants in the combustion of 1 ton of solid fuels

Загрязняющее вещество	Код вещества	Класс опасности	Количество загрязняющих веществ, выбрасываемых в атмосферный воздух				
			тонн в год			Отношение к торфобрикету, количество раз	
			Бурый уголь	Каменный уголь	Торфяной брикет	Бурый уголь	Каменный уголь
Углерода оксид	0337	4-й	0,0116	0,0212	0,0156	0,74	1,34
Азота IV оксид	0301	2-й	0,0028	0,0067	0,0048	0,58	1,40
Азота II оксид	0304	3-й	0,0005	0,0011	0,0008	0,63	1,38
Серы диоксид	0330	3-й	0,0040	0,0092	0,0015	2,67	6,10
Твердые частицы	2902	3-й	0,0518	0,0699	0,0261	1,98	2,68
<i>Всего:</i>	–	–	0,0707	0,1081	0,0488	1,43	2,22

может обеспечить высокие технико-экономические показатели процесса и, что особенно важно, заданное качество продуктов переработки торфяного сырья и значительное уменьшение его потерь. Однако указанный способ мало используется при добыче и переработке торфа. Это можно объяснить недостаточной изученностью процесса, недостатком опыта эксплуатации нового оборудования и отсутствием инженерных методик расчета оптимальных режимов работы различных систем пневмотранспорта торфа [7].

Применяемый ранее для уборки торфа пневматический комбайн КПФ-6,4 имеет расчетную производительность $V_{\max} = 30$ тыс. т фрезерного торфа за сезон (при условной влажности 40 %, зольности до 23 %). Однако, как показала практика, из-за некоторых неровностей поверхности расстила при движении пневмоуборочных машин происходит деформация ее сопел, что увеличивает эксплуатационные затраты, простои на ремонт и снижает их фактическую производительность до 30 %. Для увеличения производительности и сохранения постоянных параметров пониженной влажности убираемого торфа (в среднем до 24 %), необходимо обеспечить регулировку высоты всасывающих сопел через опорные катки, копирующие поверхность расстила, т. е. усовершенствовать конструкцию комбайна. Более того, применяемые циклоны-осадители обеспечивают до 60 % улавливания убираемого фрезерного торфа. Применение непосредственно в бункере машины рукавных фильтров, встроенных в динамический циклон, позволит увеличить производительность самоходных пневмоуборочных комбайнов минимум на 20 % и, соответственно, оптимально использовать метеорологические условия сезона и увеличить сезонный сбор торфа с гектара.

В современных условиях бережного отношения к энергоносителям вести учет и сравнение способов добытого топлива только в тоннах не совсем корректно. Государственной программой «Торф» на 2008–2010 гг. и на период до 2020 г., утвержденной постановлением Совета Министров Республики Беларусь от 23.01.2008 г. № 94, поставлена задача внедрения новых и совершенствование существующих технологий для добычи, переработки и использования торфа. Целесообразно сравнить два способа уборки фрезерного торфа: существующий, наиболее используемый в настоящее время механический скреперный способ машинами типа УМПФ-8 и пневмоуборочный, самоходными комбайнами КПФ-6,4 с усовершенствованными всасывающими соплами.

Необходимо отметить, что при механической уборке влажность добытого торфа достигает 40÷50 %, а при пневматической уборке диапазон влажности составляет 18÷30 %.

При пересчете состава твердого топлива с одной массы на другую через коэффициент влажности, коэффициент зольности и достижения фактической средней влажности 24 %, средней зольности 14 % добыча пневмоуборочным комбайном КПФ-6,4 составит 21 185 т/сезон. Добыча торфа механическим способом МТФ-43 А при фактической средней влажности 45 % и зольности 14 % составит 24 389 т/сезон, т. е., на первый взгляд, производительность одной машины за сезон в тоннах механическим способом в 1,15 раза выше, чем пневматическим. Для уточнения реальной объективной картины расчет производительности уборочных машин необходимо выполнять в тоннах условного топлива, используя низшую теплоту сгорания горючей массы, а также влажность и зольность добываемого топлива. Тепловой эквивалент фрезерного торфа, убранного механическим и пневматическим способом, составляет 0,282 (при влажности 45 %) и 0,464 (при влажности 24 %) и фактически составляет 6877 т усл. т. (при влажности 45 %), 9830 т усл. т. (при влажности 24 %) соответственно [8].

Таким образом, максимальная производительность в тоннах условного топлива фрезерного торфа, убранного пневматическим способом, в 1,43 раза выше, чем убранного механическим способом.

При этом необходимо отметить, что при пневматическом способе добычи торфа нет необходимости затрачивать энергию на перевозку и испарение лишней воды на заводе, так как ее испарение обеспечивается в естественных условиях сушки (18÷30 % влажности) солнечной энергией на полях добычи за счет увеличения цикловых сборов тонкими равномерными слоями.

Однако одномоментный переход на эти технологии невозможен. За 2008–2015 гг. многие торфопредприятия Беларуси осуществили реконструкцию и модернизацию – обновление основных фондов брикетных заводов, а также строительство полей добычи торфа на торфяных месторождениях с целью обеспечения добычи фрезерного торфа, являющегося исходным сырьем для производства брикетов.

На выполнение мероприятий в рамках реализации Госпрограммы «Торф» организациями торфяной отрасли Минэнерго за период с 2008 по 2015 г. направлено 1461,1 млрд руб., в том числе 745,2 млрд руб. средств инновационного и инвестиционного фондов, 683,1 млрд руб. собственных средств организаций и 32,8 млрд руб. кредитных и привлеченных средств [9].

И этот факт никак нельзя сбрасывать со счетов при выборе энергоисточников для дальнейшего развития республики, а также для реализации торфяной продукции на экспорт. Потенциальные возможности работающих брикетных заводов в Республике Беларусь в настоящее время составляют около 1,5 млн т торфяных брикетов в год, что эквивалентно 0,9 млн т усл. т.

Однако фактически производство загружено только на чуть больше, чем 70 %, что вызвано недостаточным спросом данного вида энергоносителя (в 2014 г. произведено 1,095 млн т топливных брикетов, в 2015 г. – 676,8 тыс. т). Это свидетельствует об увеличении себестоимости произведенных брикетов, не позволяющее достойно конкурировать на энергетическом рынке.

Наряду с этим необходимо отметить, что ситуация постепенно выравнивается, что подтверждается наращиванием объемов производства торфяных брикетов: в 2016 г. – 848,2 тыс. т, в 2017 г. – 975,5 тыс. т. Это произошло в первую очередь благодаря увеличению промышленного потребления на внутреннем рынке.

Вполне очевидно и бесспорно то, что в Республике Беларусь также необходимо развивать технологии возобновляемых источников энергии. Однако в одночасье это невозможно ввиду больших капиталовложений и ряда других причин. В настоящее время наша республика пока не имеет таких возможностей развития энергетики, как Германия, и поэтому очень актуальным по-прежнему является использование ископаемых топлив, в том числе природного газа и торфа на базе уже созданной инфраструктуры. При этом необходимо отметить, что по состоянию на 01.01.2018 г. 1 т усл. т. для отопления, полученная из газа, в 1,96÷3,29 раза дороже полученной из торфяного брикета. Значительным аспектом является и то, что газ импортируется, а торф имеется в республике. Это в первую очередь топливо в виде торфяных брикетов, а также в виде фрезерного торфа для пылевидного сжигания.

Наряду с этим очевидна необходимость снижения издержек путем достаточного мониторинга рынка и внедрения инновационных технологий.

Защита окружающей среды от загрязнения в современных условиях развития мировой промышленности – одна из важнейших задач человечества. При переработке горных пород существенную опасность представляет породная пыль. Во-первых, она опасна для здоровья работников добывающих и перерабатывающих предприятий, когда риску подвергаются верхние и нижние дыхательные пути человека; во-вторых, взрывоопасность пыли большинства горных пород ставит под угрозу жизнь работающих людей, а также может привести к выходу из строя дорогостоящего оборудования. Поэтому борьба с пылью занимает одно из основных мест в общем комплексе работ по улучшению условий труда и повышению безопасности горных работ [10].

На рис. 3 представлены способы осаждения пыли в зависимости от вида пыли и размеров ее частиц [11]. В верхней части рисунка представлены следующие виды материалов, образующих пыль с размерами частиц, мкм:

табачный дым (Tabakrauch).....	0,01÷0,18
сухие красители (Pigmente).....	1÷10
серебро-бром (Silberbrom).....	0,1÷0,4
цемент (Zement).....	10÷110
сажа (Ruß).....	0,04÷0,17
хлорид аммония (Ammoniumchloridrauch).....	0,17÷1,60
летучая зола (Flugasche).....	2,7÷100,0
оксид титана (Titanoxid).....	0,1÷0,4
соль для удобрения (Dungesalze).....	45÷1200
оксид цинка и магния (Zinkoxid, Magnesiumoxid).....	0,01÷0,36
дисперсные красители (Dispersionsfarbe).....	1÷100

В нижней части рисунка представлены способы осаждения пыли с помощью систем, позволяющих улавливать частицы в соответствующих диапазонах, мкм:

отстойники (Absetzkammern).....	20÷900
циклоны (Zyklone).....	3,6÷650
тканевые фильтры (Gewebefilter).....	0,01÷70
мокрые скрубберы (Nasswäscher).....	0,06÷270
электрофильтры (Elektrofilter).....	0,02÷20

Для сравнительного анализа предлагается рассматривать аспирационные системы только сухого способа очистки газа от пыли как наиболее эффективные.

Как видно из рис. 3, тканевые фильтры сухого способа очистки обеспечивают фильтрацию частиц пыли размером до 0,01 мкм, а водяные скрубберы в меньшей степени – до 0,06 мкм. Опыт применения электрофильтров с торфом отрицателен.

Более того, поводом для отказа от использования воды в технологии производства торфяных брикетов является стремление всего человечества к экономии воды, в том числе и нашей Республики Беларусь. Так, например, в г. Минске лимит на воду установлен в размере 142 л/сут на каждого прописанного человека и субсидируется государством согласно Постановлению Совета Министров Республики от 12.06.2014 г. № 571 п. 36.1. За потребление сверх нормы необходимо платить по тарифам, установленным Минским исполнительным комитетом, обеспечивающим полное возмещение экономически обоснованных затрат на их оказание. Предельно допустимые тарифы, обеспечивающие полное возмещение экономически обоснованных затрат на оказание жилищно-коммунальных услуг, зафиксированы в Указе Президента Республики Беларусь от 23.03.2016 г. № 107.

В торфяной промышленности при добыче фрезерного торфа и производстве топливных брикетов на его основе выбросами являются твердые частицы в виде пыли. В отличие от некоторых пылящих производств торфяное производство в силу сложившихся конкретных технологических и исторических условий способно полностью использовать эти выбросы для изготовления торфяных брикетов. Причем пыль является наиболее качественным сырьем для этих целей. Однако до настоящего времени на многих торфопредприятиях используются аппараты газоочистки низкой степени улавливания этой пыли для дальнейшей переработки, каковыми являются циклоны. Как известно, они обеспечивают осаждение пыли до 50 %, остальная пыль улавливается мокрыми скрубберами за счет увеличения частиц каплями воды практически на порядок, что обеспечивает их осаждение за счет инерционных сил. После мокрых циклонов ценные частицы сырья смываются в канализацию и попадают на поля фильтрации. Экологическая задача в целом решается в соответствии с техническими нормативными правовыми актами, а вот экономические потери являются существенными.

До 2012 г. в торфяной промышленности не применялись сухие тканевые фильтры по причине повышенной вероятности взрыва торфяной пыли при определенных условиях. Начиная с 2012 г. группой специалистов РУП «Белниитоппроект» Министерства энергетики (с апреля 2015 г. ГП НИИ «Белгипротопгаз»), кафедры «Горные машины» факультета горного дела и инженерной экологии Белорусского национального технического университета, ОАО «ТБЗ «Усяж» и промышленниками торфяной отрасли ведутся работы по внедрению современных систем аспирации с целью улучшения экологических и экономических аспектов. По результатам изучения европейского опыта на выставке «HANNOVER MESSE 2012», а также фирмы «Liucija» в мае 2012 г. было принято окончательное решение и в ОАО «ТБЗ «Усяж» реализован проект установки рукавных фильтров датской компании «Simatek» на обеспыливание штемпелей и зевов брикетных прессов. Значительным отличием этих модульных фильтров от фильтров других производителей является встроенный

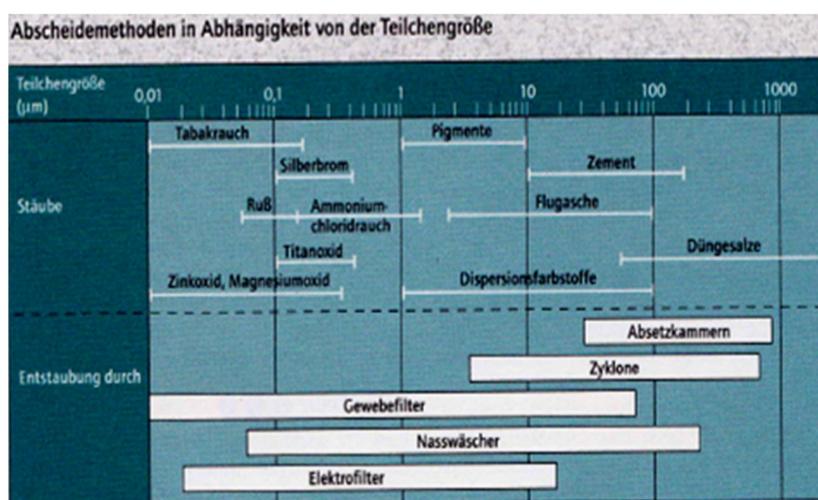


Рис. 3. Степень очистки различных систем аспирации

Fig. 3. The degree of cleaning of various aspiration systems

динамический предварительный очиститель, у некоторых моделей – радиальное входное отверстие с интегрированным диффузором, защищающим рукава фильтра от стирания. Фильтр оснащен эффективной системой импульсов автоматической очистки фильтровальных рукавов и предназначен для непрерывной эксплуатации с контролем давления. Он также оснащен взрывоподавляющим устройством в соответствии с европейским стандартом EN 14491 (рис. 4).

Использование до настоящего времени этих рукавных фильтров в ОАО «ТБЗ «Усяж» для аспирации и направления уловленной пыли на производство брикетов позволяет предполагать их применение и в других необходимых случаях.

Поэтому сухую утилизацию торфяной пыли предлагается рассматривать в комплексе по всей технологической цепочке производства торфяных брикетов:

- 1) на уборке фрезерного торфа пневмоуборочным комбайном;
- 2) при выгрузке из транспорта в бункер сырья;
- 3) при транспортировке ленточными конвейерами;
- 4) после сушки торфа;
- 5) при подаче высушенного торфа скребковыми и винтовыми конвейерами;
- 6) при прессовании брикетов (обеспыливание штемпелей и зевов прессов).

Так как пневмоуборочный комбайн убирает наиболее сухие частицы торфа, то и пыление после аспирации только циклонами не выдерживает никакой критики (рис. 5).

Так, было установлено, что при влажности торфа 25–30 % степень очистки воздуха в комбинированном пылеуловителе по сравнению с установленным циклоном комбайна КПФ-6,4 на 10–15 % больше, что значительно увеличивает цикловой сбор.

Упрощенный подбор рукавных фильтров для наиболее производительного пневмоуборочного комбайна можно произвести по известному расходу воздуха через сопла комбайна (около 24 000 м³/ч) [6].

На основании рекомендуемой производителем удельной нагрузки для торфяной пыли (2,5–3,0 м³/м²/мин) определяется площадь фильтрующей поверхности (рис. 6) и, соответственно марка фильтра JM 90/-35. Максимальная масса этого фильтра значительно ниже – 2200 кг [12, 13], чем двух циклонов комбайна КПФ – 6,4, а степень очистки достигает 98–99 %. Снижение массы машины существенно увеличивает проходимость комбайна и снижает его эксплуатационную мощность. Из-за низкой влажности фрезерного торфа транспортные расходы сокращаются на 35,4 %, а сэкономленный торф для искусственной сушки увеличивает выход товарной продукции на 22,0 % [8].

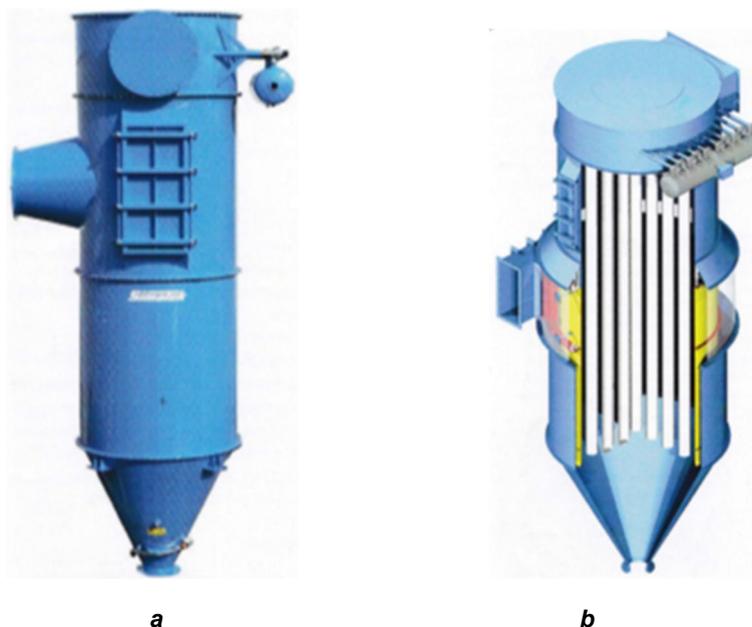


Рис. 4. Общий вид рукавного фильтра SimPact 4T-R:
a – с радиальным входным отверстием; b – со встроенным динамическим очистителем

Fig. 4. General view of bag filter SimPact 4T-R:
a – with a radial entrance opening; b – with an integrated dynamic air purifier

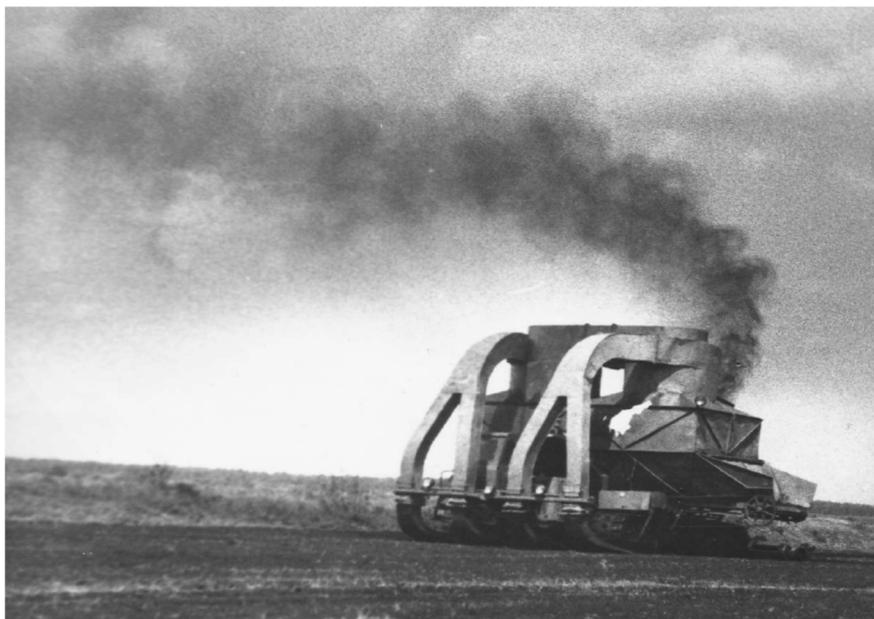


Рис. 5. Выбросы торфяной пыли после осаждения циклонами при работе КПФ-6,4

Fig. 5. Emissions of peat dust after cyclone deposition during operation of CPF-6,4

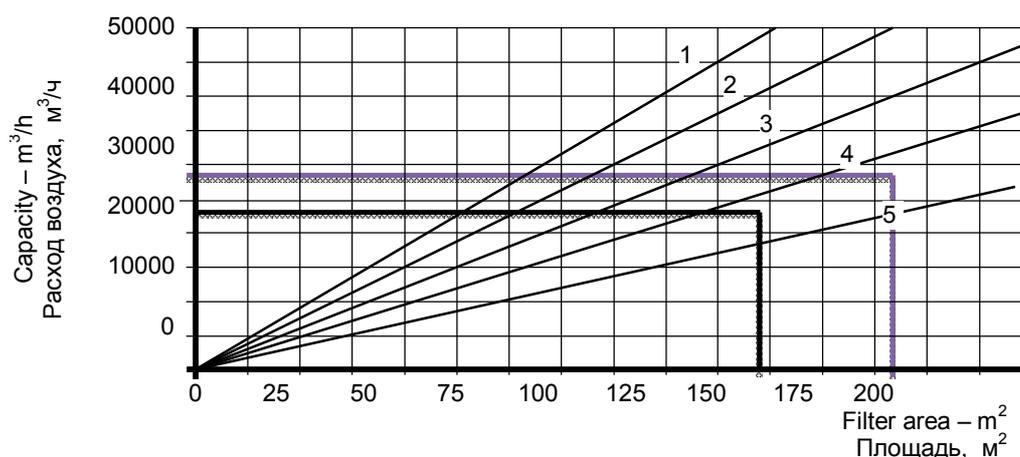


Рис. 6. Подбор площади фильтрующей поверхности.

Соотношение воздух/ткань (A/C): 1 – A/C = 6,0; 2 – A/C = 5,0; 3 – A/C = 4,0; 4 – A/C = 3,0; 5 – A/C = 2,0

Fig. 6. Selecting the area of the filter surface.

Air/Cloth-Ratio (A/C): 1 – A/C = 6,0; 2 – A/C = 5,0; 3 – A/C = 4,0; 4 – A/C = 3,0; 5 – A/C = 2,0

При выгрузке из транспорта (автотранспорт, железнодорожный транспорт) в бункер сырья предлагается дополнительная установка успокоителей с вытяжкой и применением рукавных фильтров (рис. 7).

На всех торфобрикетных заводах применяются ленточные транспортеры, которые при скорости транспортирования материала $1,25 \div 1,7$ м/с, вызывают пыление в рабочей зоне и загрязняют воздух в рабочей зоне и элементы здания. Для улучшения ситуации предлагается применение систем защиты типа «Lifttube» (рис. 8).

Системы аспирации пыли после сушилки типа «Цемаг» имеют высокое энергопотребление и требуют обязательного использования воды для работы скрубберов.

Вместо существующих громоздких систем аспирации паровых трубчатых сушилок, состоящих из двух ступеней, предлагается устанавливать один компактный рукавный фильтр SimPact 4T-R с периодической пульсирующей регенерацией рукавов.

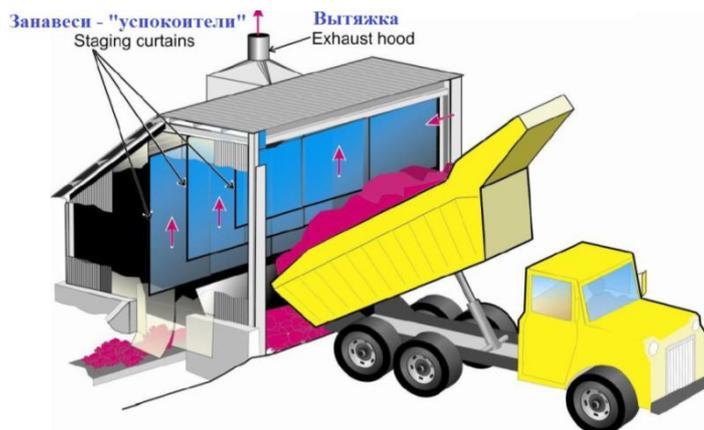


Рис. 7. Схема пылеподавления при выгрузке в бункер сырья

Fig. 7. Scheme of dust suppression when unloading into the raw material bin



Рис. 8. Установка защиты от пыления на ленточный транспортер

Fig. 8. Installation of dust protection on the conveyor belt

Подбор марки фильтра основывается на расходе воздуха на 1 кг испаренной влаги, который составляет в среднем 28 000 м³/час [14]. По данным, приведенным на рис. 6, упрощенно определяется общая площадь фильтрующей поверхности [12], которая при удельной нагрузке для торфяной пыли $A/C = 2,5 \div 3,0$ м³/м²/мин ориентировочно составит 160÷180 м² (табл. 3), соответственно марка промышленного фильтра – JM 90/-45, общая высота корпуса – 6528 мм, диаметр – 2800 мм [12, 13]. Данные габариты позволяют его установку на технологической площадке сушильного отделения брикетного завода, а рядом вентилятор 9 и бойлер 10, что минимизирует потери мощности на изолированных воздуховодах 6 и 7 (рис. 9).

Таблица 3. Выбор марки рукавного фильтра

Table 3. Selection of the brand of bag filter

Марка фильтра	Длина рукава, дм							
	15	20	25	30	35	40	45	50
Площадь фильтрующей поверхности, м ²								
JM 7/-	4,6	6,2	7,7	–	–	–	–	–
JM 10/-	6,6	8,8	11,0	13,2	15,4	–	–	–
JM 14/-	9,2	12,3	15,4	18,5	21,7	–	–	–
JM 21/-	13,9	18,5	23,1	27,7	32,3	–	–	–
JM 3/-	21,1	28,1	35,2	42,2	49,3	–	–	–
JM 41/-	27,0	36,1	45,1	54,1	63,1	72,1	81,1	90,2
JM 52/-	34,3	45,7	57,2	68,86	80,0	91,5	102,9	114,4
JM 70/-	46,2	61,6	77,0	92,4	107,8	123,2	138,5	153,9
JM 90/-	59,4	79,2	99,0	118,8	138,5	158,3	178,1	197,9

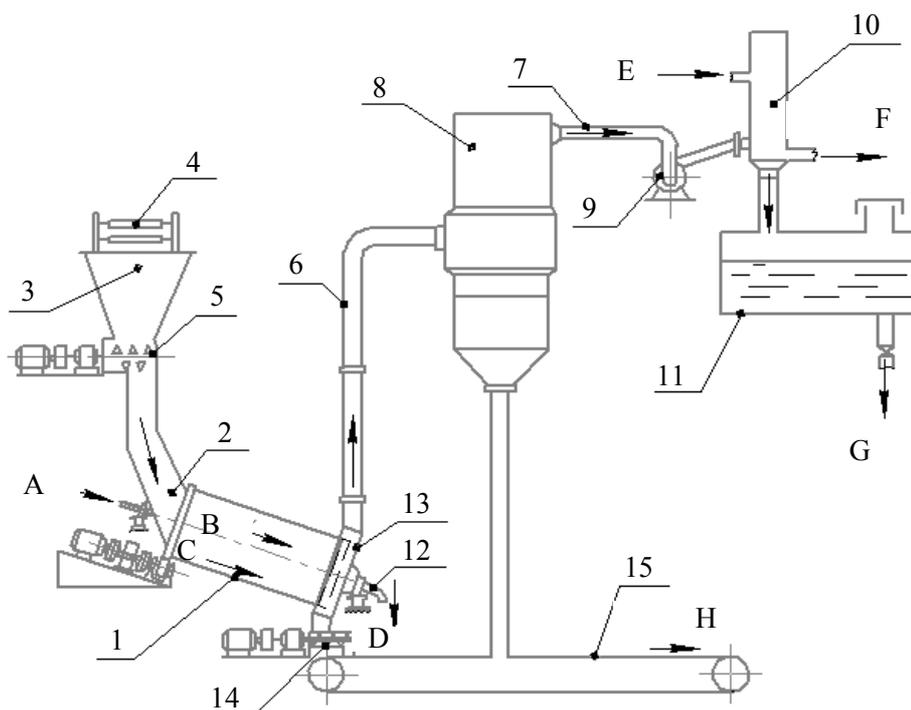


Рис. 9. Схема аспирации паровой трубчатой сушилки:

1 – барабанная сушилка; 2 – загрузочное полочное устройство; 3 – бункер; 4 – ленточный транспортер; 5, 14 – шнековые питатели; 6, 7 – изолированные воздуховоды; 8 – рукавный фильтр; 9 – вентилятор; 10 – бойлер; 11 – накопительная емкость; 12 – конденсатосборник; 13 – задний кожух; 14, 15 – система конвейеров; А – пар; В – воздух; С – торф; D – конденсат; E – холодная вода; F – горячая вода; G – вода для технических нужд; H – торф для брикетирования

Fig. 9. Aspiration scheme for a steam tube dryer:

1 – cylinder dryer; 2 – loading shelf device; 3 – raw material bunker; 4 – belt conveyor; 5 – auger feeders; 6, 7 – air ducts; 8 – duct filter; 9 – axial fan; 10 – boiler; 11 – storage capacity; 12 – condensate collector; 13 – accumulator of dried peat; 14, 15 – the conveyor system; A – steam; B – air; C – peat; D – condensate; E – cold water; F – hot water; G – water for technical needs; H – peat for briquetting

При сушке торфа паровой трубчатой сушильной установкой, состоящей из барабанной сушилки 1 с пароподводом, конденсатосборника 12, заднего кожуха 13, загрузочного полочного устройства 2, ленточного транспортера 4, бункера 3 и шнековых питателей 5 и 14, происходит значительная потеря вторичных энергоресурсов, выбрасываемых в атмосферу без утилизации (существующая схема [6]).

Благодаря высокотехническим разработкам европейских производителей появляется возможность разделения пыли, тепла и влаги по предлагаемой схеме (см. рис. 9). Сушильным агентом является воздух, забираемый в трубки с торфом из помещения вентилятором 9, установленным перед бойлером 10, имеющий на выходе из сушилки температуру 81 ± 100 °C [14]. Далее этот запыленный воздух повышенной влажности по изолированному воздуховоду 6, исключающему образование точки росы, поступает в рукавный фильтр 8, где осаждаются практически весь уносимый из трубок сушилки торф. Очищенный горячий сильно увлажненный воздух из рукавного фильтра по изолированному воздуховоду 7 осевым вентилятором 9 нагнетается в бойлер 10, где производится нагрев воды, циркулирующей в трубках бойлера, снаружи трубок. При этом пар от контакта с трубками холодной воды конденсируется и направляется в накопительную емкость 11, расположенную под бойлером, которая сообщается с атмосферным воздухом выхлопной трубой для выброса очищенного воздуха. Нагретая вода из бойлера поступает в систему отопления и горячего водоснабжения промышленной зоны и рабочего поселка. Вода из накопительной емкости используется для технических нужд [13].

Одним из главных условий работоспособности фильтровальной установки SimPact 4T-R JM-90/45 на первой стадии при высокой влажности является поддержание рабочей температуры в фильтре выше точки росы, для чего необходима термоизоляция воздуховодов и самого фильтра, а на второй стадии наоборот – резкое снижение рабочей температуры воздушного потока от контакта с тру-

бами бойлера, наполненных водой с температурой 9 ± 12 °С, что позволяет практически всему пару воздушной смеси конденсироваться в запасы воды.

Наряду с этим изучены свойства материала, определены минимальные частицы торфяной пыли с помощью сканирующего микроскопа, размер которых составил 27 мкм (рис. 10).

Дополнительно в лабораторных условиях (рис. 11) проведены испытания воздействия энергии ультразвука на частицы пыли торфа. В результате эксперимента выявлены следующие свойства ультразвука: частицы торфяной пыли более мелкой фракции объединяются в более крупные, генерируется стоячая волна, уменьшается трение о колеблющуюся поверхность, что дает основания воздействовать на воздухопроводы с пылевоздушной смесью ультразвуком.

Ввиду повышенной экономической составляющей вторичных энергоресурсов и в целях минимизации налипания микрочастиц торфа на теплообменнике, ухудшающего теплообмен, предлагается дополнительно воздействовать на пылевоздушный поток ультразвуковым излучением частотой не менее 19 кГц.

Не менее важным является и модернизация системы обеспыливания скребковых конвейеров. При подаче высушенного торфа скребковыми (цепными) конвейерами до настоящего времени используется металлоемкая двухступенчатая система аспирации с водяными скрубберами, на привод всасывающего вентилятора которого установлен электродвигатель мощностью 13 кВт. Взамен этому предлагается установка точечного сухого рукавного фильтра с приводом всасывающего вентилятора от электродвигателя мощностью 2,2 кВт (рис. 12) сверху на короб конвейера, что исключает устройство металлоемких конструкций.

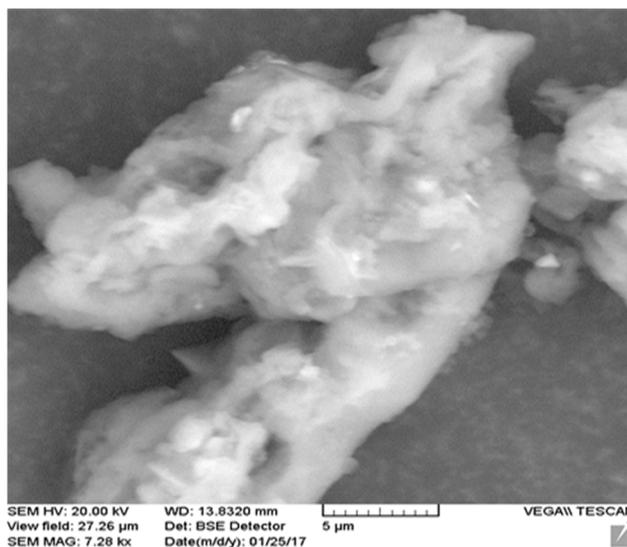


Рис. 10. Твердые частицы торфяной пыли. $\times 7280$

Fig. 10. Solid particles of peat dust (an increase in 7280 times)

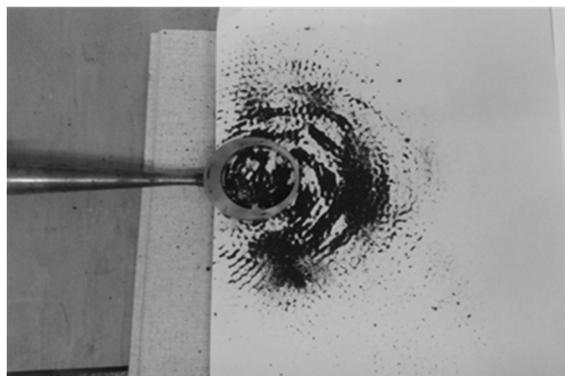


Рис. 11. Воздействие ультразвука на торфяную пыль

Fig. 11. The effect of ultrasound on peat dust

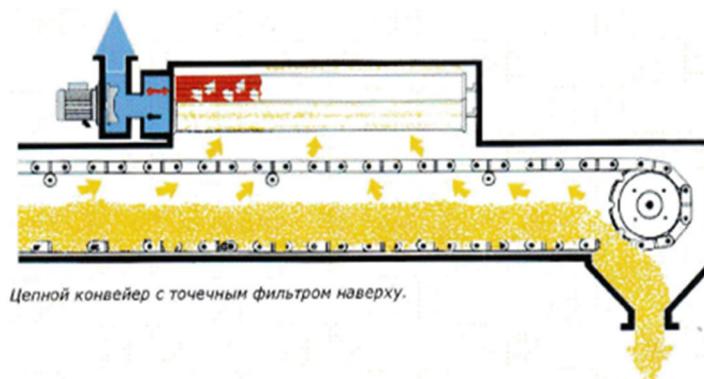


Рис. 12. Точечный рукавный фильтр

Fig. 12. Pointed baghouse filter

Незначительное разрежение внутри кожуха практически исключает пылеобразование через щели конструкции конвейера, а пыль, накапливаемая на поверхности горизонтальных рукавов, регенерируется, возвращаясь непосредственно на конвейер [12]. Эту же технологию возможно применить и на систему защиты типа «Lifttube» ленточного транспортера.

Выводы. Комплексный подход к развитию технологий торфяной промышленности с учетом наработок современных европейских производителей позволит значительно улучшить экологические и экономические аспекты в торфяной промышленности, а также конкурировать на рынке твердых видов топлива. Так, например, применение только после паровой сушилки сухой системы аспирации позволит сэкономить 19 440 т воды/год и дополнительно утилизировать около 31 000 т воды/год, испаряемой из торфа при его сушке одной сушилкой. Семье из четырех человек хватит для бытового потребления этого природного ресурса на 243 года, а с учетом эксплуатации в торфяной промышленности двадцати таких сушилок можно в сумме сэкономить около 1 млн т воды, или 100 среднестатистических семей в течение 50 лет будет использовать сэкономленную воду.

Список использованных источников

1. Физика и химия торфа / И. И. Лиштван [и др.]. – М. : Недра, 1989. – 304 с.
2. Торфяная промышленность СССР. – Л. : Недра, 1971. – 136 с.
3. Бучер, Р. So wird die Wende zum Erfolg / Р. Бучер, Ф. Аустен // Bild der Wissenschaft : немецкий науч.-популяр. журнал. – № 5. – 2014. – С. 78–88.
4. Сидорович, В. Электроэнергетика Германии: основные итоги 2016 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.e-institut.ru/single-post/2017/Сидорович-01/15>. – Дата доступа: 08.12.2017.
5. О сжигании деревянных шпал : письмо Мин-ва природных ресурсов и охраны окружающей среды Респ. Беларусь от 27.02.2007 г. №12-17/22-П [Электронный ресурс] // Законодательство – Библиотека – Справочная информация. – 2007. – Режим доступа: www.iso14000.be/library/low/air. – Дата доступа: 19.03.2015.
6. Справочник по торфу / И. Ф. Ларгин [и др.]. – М. : Недра, 1982. – 760 с.
7. Кислов, Н. В. Пневматический транспорт торфяного производства / Н. В. Кислов. – Минск, 1985. – 80 с.
8. Березовский, Н. И. Инновационные энерго- и ресурсосберегающие технологии производства брикетов из торфа / Н. И. Березовский, В. В. Борисейко // Горная механика и машиностроение. – 2014. – №1. – С. 48–55.
9. Материалы итогового совещания «Дажынки 2015» управления торфяной промышленности ГПО «Белтопгаз» Министерства энергетики. – 2015.
10. Комплексное обеспыливание / С. Б. Романченко [и др.]. – М. : Изд-во Горное дело ООО «Киммерийский центр», 2016. – 288 с.
11. Wie funktioniert das? Technik / red. Leitung Hildegard Hogen. Autoren Hans – Jürgen Altheide. – Hamburg, 2003. – 336 с.
12. Высокопроизводительный очиститель воздуха SimPact 4T-R [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.simatek.com/00002/>. – Дата доступа: 16.03.2017.
13. Березовский, Н. И. Энергосберегающие аспирационные системы паротрубчатых сушилок для производства топливных брикетов / Н. И. Березовский, В. В. Борисейко // Горная механика и машиностроение. – 2017. – № 1. – С. 31–36.
14. Наумович, В. М. Сушка торфа и сушильные установки брикетных заводов / В. М. Наумович. – М. : Недра, 1971. – 279 с.

References

1. Lishtvan I. I., Bazin E. T., Gamayunov N. I., Terent'ev A. A. *Fizika i himiya torfa* [Physics and chemistry of peat]. Moscow, 1989, 304 p.
2. *Torfyannaya promyshlennost' SSSR* [Peat industry of the USSR]. Leningrad, 1971, 136 p.
3. Bucher R., Austen F. So wird die Wende zum Erfolg. *Bild der Wissenschaft: Nemeckij nauchno-populyarnyj zhurnal* [German Popular Scientific Journal], no. 5, 2014, pp. 78–88.
4. Sidorovich V. *Ehlektrouhnergetika Germanii: osnovnye itogi 2016* [Power engineering in Germany: the main results of 2016]. Available at: <http://www.e-institut.ru/single-post/2017/Sidorovich-01/15> (Accessed 8 December 2017).
5. *Pis'mo Ministerstva prirodnyh resursov i ohrany okruzhayushchej sredy Respubliki Belarus' «O szhigani derevyanyh shpal»* [Letter of the Ministry of Natural Resources and Environmental Protection of the Republic of Belarus №. 12-17 / 22-P "On burning wooden sleepers" dated 27.02.2007 Legislation – Library – Reference information]. 2007. Available at: www.iso14000.be/library/low/air (Accessed 19 March 2015).
6. Largin I. F., Kortshunov S. S., Malkov L. M. *Spravochnik po torfu* [Reference book on peat]. Moscow, 1982, 760 p.
7. Kislov N. V. *Pnevmaticheskij transport torfyannogo proizvodstva* [Pneumatic transport of peat production]. Minsk, 1985, 80 p.
8. Berezovsky N. I., Boriseyko V. V. *Innovacionnye ehnergo- i resursosberegayushchie tekhnologii proizvodstva briketov iz torfa* [Innovative energy and resource saving technologies for the production of briquettes from peat]. *Mining mechanics and machine building*, 2014, no. 1, pp. 48–55.
9. *Materialy itogovogo soveshchaniya «Dazhynki 2015» upravleniya torfyanoj promyshlennosti GPO «Beltopgaz» Ministerstva ehnergetiki* [Materials of the final meeting "Dazhinki 2015" of the peat industry management of the State Enterprise "Beltopgaz" of the Ministry of Energy]. 2015.
10. Timchenko A. N., Nesterenko V. N., Pozdnyakov G. A., Rudenko Y. F., Artemev V. B., Kopylov K. N., Romanchenko S. B. *Kompleksnoe obespylivanie* [Complex dedusting]. Moscow, Pub. Mining. LLC «Cimmerian Center», 2016, 288 p.
11. *Wie funktioniert das?* [How does this work?], Technik, red. Leitung Hildegard Hogen. Autoren Hans-Jürgen Altheide. Hamburg, 2003, 336 p.
12. *Vysokoproizvoditel'nyj ochistitel' vozduha SimPact 4T-R* [High-performance air purifier SimPact 4T-R]. Available at: <http://www.simatek.com/00002/> (Accessed 16 March 2017).
13. Berezovsky N. I., Boriseyko V. V. *Ehnergosberegayushchie aspiracionnye sistemy parotrubchatyh sushilok dlya proizvodstva toplivnyh briketov* [Energy-saving aspiration systems of steam-rotary dryers for the production of fuel briquettes]. *Mining mechanics and machine building*, 2017, no. 1, pp. 31–36.
14. Naumovich V. M. *Sushka torfa i sushil'nye ustanovki briketnyh zavodov* [Drying of peat and drying installations of briquetting plants]. Moscow, 1971, 279 p.
15. Greene H., Lein V. *Aehrozoli – pyli, dymy i tumany* [Aerosols – dust, fumes and fogs]. Moscow, 1972, 426 p.

Информация об авторах

Березовский Николай Иванович – д-р техн. наук, профессор, Белорусский национальный технический университет (пр-кт Независимости, 65, 220013, г. Минск, Беларусь). E-mail: berezovsky@bntu.by

Борисейко Владимир Васильевич – старший преподаватель, аспирант, Белорусский национальный технический университет (пр-кт Независимости, 65, 220013, г. Минск, Беларусь). E-mail: boriseyko.v@bntu.by

Information about the authors

Nikolai I. Berezovsky – D. Sc. (Technical), Professor, Belarusian National Technical University (65, Nezavisimosti Avenue, 220013, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: berezovsky@bntu.by

Vladimir V. Boriseyko – Senior Lecturer, Graduate Student, Belarusian National Technical University (65, Nezavisimosti Avenue, 220013, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: boriseyko.v@bntu.by