

Г.Е. Столбикова, А.В. Купорова

ОСОБЕННОСТИ СУШКИ ФРЕЗЕРНОГО ТОРФА РАЗЛИЧНОЙ УДЕЛЬНОЙ ЗАГРУЗКИ И РЕЖИМОВ СУШКИ

Рассмотрена одна из задач торфяной отрасли — интенсификация процесса производства фрезерного торфа за счет совершенствования и создания новой технологической схемы для увеличения сезонных сборов с единицы производственных площадей путем снижения толщины высушиваемого слоя и повышения количества циклов сушки за сезон. Описана методика проведения экспериментов в камере искусственного климата Тверского государственного технического университета. Выявлены особенности механизма сушки в тонких слоях с учетом влияния влагообмена низинного фрезерного торфа с подстилающей залежью. Установлено влияние интенсивности радиации на процесс сушки. Определена оптимальная толщина расстила, при которой крошка сохнет с максимальной скоростью. Рассмотрен механизм сушки торфа на влажном подстиле и дается объяснение такого процесса. Дается сравнение механизма сушки торфяной крошки на торфяном монолите и влагоизолированного от подстила при различных влагосодержаниях и интенсивностях радиации. Установлены зоны максимальной скорости сушки при различных интенсивностях радиации, которую и следует признать оптимальной для длительности сушки 5—6 ч при различных удельных загрузках. Предложены две технологические схемы увеличения сезонных сборов фрезерного торфа.

Ключевые слова: торф, крошка, длительность сушки, интенсивность испарения, влажность, слой, расстил, влагообмен, цикл добычи, радиация, режим сушки, зона максимальной скорости сушки, сбор готовой продукции.

DOI: 10.25018/0236-1493-2018-5-0-65-73

Введение

В нашей стране сосредоточены громадные ценные природные богатства [1, 2], одним из которых является торф. Из торфа можно получать более семидесяти различных продуктов, но для этого необходимо извлечь из сильно обводненной торфяной залежи значительное количество влаги, которая прочно связана с сухим веществом торфа. В естественном состоянии в залежи на 1 г сухого вещества приходится до 10 и более граммов влаги. Удаление влаги из залежи за пределы поля осуществляется про-

ведением осушительных работ на глубину разработки, при которой сбрасывается до 20% всей содержащейся в торфе воды. Для получения 1 кг товарной продукции необходимо удалить еще 3—4 кг воды, что происходит за счет сушки.

Цель исследования

Для интенсификации процессов производства фрезерного торфа за счет создания новых способов и технологических схем получения готовой продукции [3, 4] из фрезерного торфа предлагается схема получения повышенных

сезонных сборов путем увеличения количества коротких технологических циклов до 5 ч за счет более интенсивной сушки. Следовательно, целью данных исследований является выявление особенностей механизма сушки в тонких слоях расстила с учетом влияния влагообмена низинного фрезерного торфа с залежью.

Теория вопроса

Сушка торфа рассматривается как частный случай процессов тепло- и влагообмена [4], имеющих большое практическое значение. Одним из важнейших этапов технологического процесса добычи большинства видов торфяной продукции является сушка торфа. Она зависит от большого количества факторов [5], таких как метеорологические, гидрологические и технологические, а также от физико-химических особенностей торфа.

Для исследования процессов тепло- и влагообмена служат кривые изменения влагосодержания (кривые сушки) и кривые изменения температуры по времени, т.е. $W = f(\tau)$ и $t_n = f(\tau)$.

Для изучения скорости прохождения процесса сушки (кинетика процесса) и сил, участвующих в нем (динамика процесса), строят кривые скорости сушки, для чего используют кривые $W = f(\tau)$ и $t_n = f(\tau)$.

Скорость сушки является первой производной изменения влагосодержания по времени:

$$i_c = -\frac{dW}{d\tau}, \text{ г/г/ч.}$$

Знак минус показывает, что с ростом аргумента t его функция W убывает, так как в процессе сушки влагосодержание уменьшается.

Для многих материалов [7, 8, 9], в том числе кускового торфа, различают два периода сушки — период постоянной скорости сушки и период убывающей скорости. Сушка фрезерного торфа про-

исходит только в периоде убывающей скорости, постоянный период скорости сушки отсутствует.

Методика проведения опытов

Изучение процесса сушки фрезерного торфа проводилось в камере искусственного климата (с аэродинамической трубой) Тверского государственного технического университета.

Исследования проводились при следующих параметрах:

- интенсивность радиации 0,26...0,86 кВт/м²;
- температура воздуха 25±1,5 °С;
- относительная влажность воздуха 0,5±0,05;
- скорость воздушного потока 1,5 м/с;
- режим сушки — радиационно-конвективный.

Эксперименты проводились только в тех местах поля, где интенсивность испарения варьировала не более 5% против своего среднего значения. Уровень стояния грунтовых вод поддерживался постоянным и составлял 70 см, что соответствовало влагосодержанию верхнего слоя залежи 2,7...3,3 кг/кг в производственных условиях. Температура и относительная влажность воздуха в камере контролировались показаниями двух аспирационных психрометров на входе и выходе рабочей камеры.

Для измерения температуры в торфяном монолите и в расстиле фрезерной крошки применялся полупроводниковый прибор — почвенный точечный электротермометр ПТЭТ-62, предназначенный для дистанционного измерения температуры почвы и других материалов в различных точках в пределах от —10 до +40 °С (точность 0,1 °С). Замеры проводились каждый час.

Скорость воздушного потока определялась анемометром в 10 точках на высоте 5 см от поверхности монолита. Интенсивность радиации измерялась один

раз перед началом опытов радиометром системы А.Н. Бойко в 10 точках.

В качестве объекта исследования был взят низинный торф (вид торфа — древесно-осоковый, степень разложения $R = 30\text{--}35\%$, зольность $A^c = 8,7\%$). Такой низинный торф имеет рыхло-комковатую структуру и при фрезеровании штифтовыми фрезами чаще всего получается крошка со средневзвешенным диаметром 2—4 мм, поэтому эксперименты проводились именно с такими размерами частиц фрезерного торфа. Средневзвешенный диаметр определялся по известной формуле, зная пофракционное разделение частиц и их массу.

Начальное влагосодержание крошки составляло 3 кг/кг (75%) для всех опытов. Влажная фрезерная крошка при начальном влагосодержании загружалась в специальные рамки (с марлевым дном) определенного размера различной удельной загрузкой от 0,129 до 1,81 кг/м² (толщиной расстила от 2 до 16 мм) и рамки ставились в камеру искусственного климата. Каждые 0,5 ч рамки взвешивались и по убыли влаги определялось среднее влагосодержание всего расстила. Кроме того, контрольные рамки разбирались по слоям через каждые 2 мм и опреде-

лялось влагосодержание каждого слоя. Эксперименты проводились при трех режимах сушки (радиации) 0,25; 0,50 и 0,86 кВт/м² на влажной торфяной залежи (монолите), соответствующей производственным условиям.

Обсуждение результатов

На основании данных, полученных в результате опытов, строились кривые сушки и скорости сушки расстила фрезерной крошки различной толщины при трех режимах радиации и двух размерах частиц. Анализ этих кривых свидетельствует, что при интенсивности радиации 0,25 кВт/м² для крошки средневзвешенного диаметра 4 мм сушка проходит примерно с одинаковой скоростью в расстиле 4 мм и в слое 16 мм. Отсюда следует, что при малой интенсивности радиации, когда радиационная сушка мало отличается от конвективной, целесообразно переходить на короткие циклы добычи. Сушка крошки со средневзвешенным диаметром 2 мм проходит с большей скоростью, но она имеет все же малые значения [11].

Сушка фрезерной крошки при интенсивности радиации 0,50 кВт/м², соответствующей средним погодным усло-

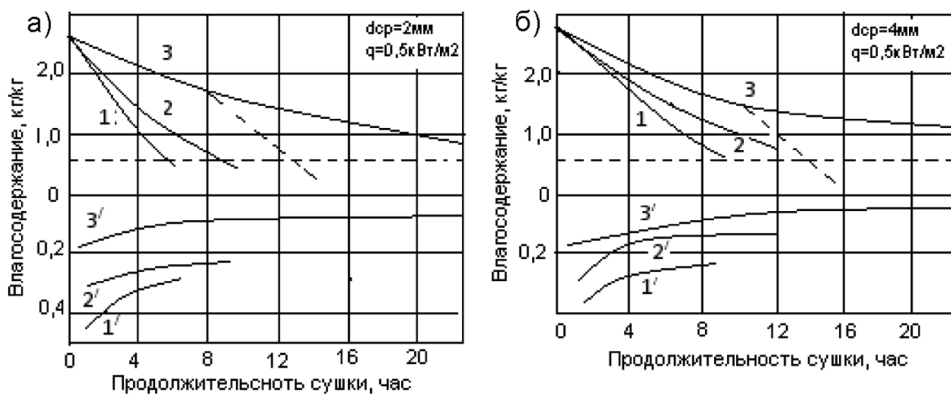


Рис. 1. Кривые сушки (1, 2, 3) и скорости сушки (1', 2', 3') для крошки разной толщины расстила: 1, 1' — 2 мм; 2, 2' — 4 мм; 3, 3' — 16 мм

Fig. 1. Curves of drying (1, 2, 3) and the speed of drying (1', 2', 3') for a crumb of different thickness rasstil: 1, 1' — 2 mm; 2, 2' — 4 mm; 3, 3' — 16 mm

виям, проходит значительно интенсивнее. Причем 4 мм слой торфа при различных средневзвешенных диаметрах частиц сохнет с одинаковой скоростью, это означает, что при загрузке торфа, равной $0,54 \text{ кг/м}^2$ фракционный состав не оказывает существенного влияния на сушку (рис. 1).

При большей интенсивности радиации $0,86 \text{ кВт/м}^2$ двухмиллиметровый слой при средневзвешенном диаметре частиц 2 мм высыхает до конечного влагосодержания 1 кг/кг примерно за 4 ч сушки, а четырехмиллиметровый — за 5 ч. Отсюда следует, что целесообразнее сушить 4-х мм слои торфа. Однако при той же толщине расстила и средневзвешенного диаметра 4 мм торф обезвоживается медленнее, что связано с несколько отличным механизмом сушки в расстиле с различным фракционным составом.

Из анализа кривых сушки фрезерного торфа при интенсивностях радиации $0,50$ и $0,86 \text{ кВт/м}^2$ (рис. 1, 2) различного фракционного состава следует, что оптимальной толщиной расстила на влажном подстиле (аналогично полевой

сушке), при которой материал сохнет с максимальной скоростью, является слой 5—7 мм.

Таким образом, оптимальная толщина расстила составляет примерно $(1,5—3) d_{cp}$, что несколько больше оптимальной толщины расстила крошки торфа, влагоизолированного от подстилающей залежи [12].

Объясняется это тем, что при сушке фрезерной крошки в очень тонких слоях толщиной равной средневзвешенному диаметру частиц на влажном подстиле больше половины тепловой энергии тратится нерационально: около 70% ее используется на нагревание фрезерной крошки и торфяной залежи и на испарение влаги из подстила [10], так как зона максимального испарения при такой толщине расстила (5—7 мм) переходит в подстилающую залежь. За 5 ч сушки при средних погодных условиях (радиация равна $0,50 \text{ кВт/м}^2$) зона максимального испарения находится в прослойке 5—7 мм (рис. 2), поэтому данную толщину расстила при сушке фрезерной крошки на влажном подстиле следует признать оптимальной.

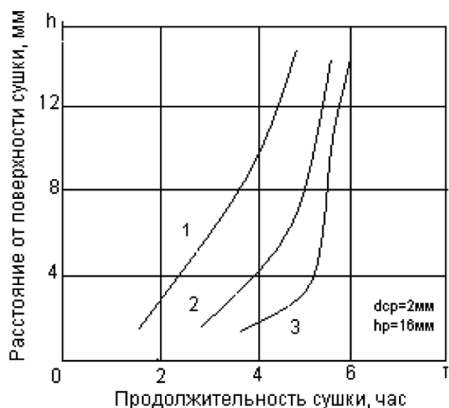


Рис. 2. Расположение зоны максимального испарения в зависимости от интенсивности радиации: 1 — $0,25$; 2 — $0,50$; 3 — $0,86 \text{ кВт/м}^2$

Fig. 2. The location of maximum evaporation zone depending on the intensity of radiation: 1 — $0,25$; 2 — $0,50$; 3 — $0,86 \text{ кВт/м}^2$

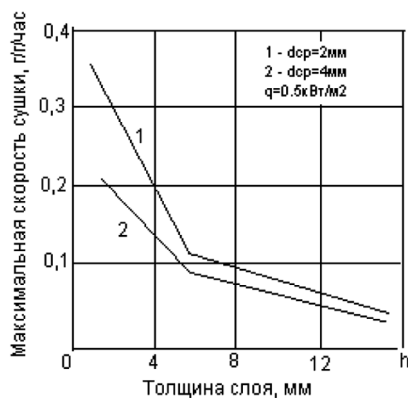


Рис. 3. Зависимость максимальной скорости сушки от положения слоя в расстиле: 1 — $d_{cp} = 2 \text{ мм}$; 2 — $d_{cp} = 4 \text{ мм}$

Fig. 3. The dependence of maximum speed of drying of layer in rasstil: 1 — $d_{sr} = 2 \text{ мм}$; 2 — $d_{sr} = 4 \text{ мм}$

Значения максимальных скоростей сушки
The value of maximum speeds drying

| Толщина расстила, мм | Максимальная скорость сушки в прослойках на расстоянии от поверхности расстила, г/г/ч | | | | | | | | |
|----------------------|---|--------|--------|--------|---------|----------|----------|----------|---------------|
| | 0–2 мм | 2–4 мм | 4–6 мм | 6–8 мм | 8–10 мм | 10–12 мм | 12–14 мм | 14–16 мм | d_{cp} , мм |
| 2 | 0,35 | — | — | — | — | — | — | — | 2 |
| 4 | 0,35 | 0,22 | — | — | — | — | — | — | 2 |
| 8 | 0,35 | 0,22 | 0,19 | 0,11 | — | — | — | — | 2 |
| 16 | 0,35 | 0,22 | 0,17 | 0,11 | 0,09 | 0,08 | 0,06 | 0,04 | 2 |
| Среднее | 0,35 | 0,22 | 0,18 | 0,11 | 0,09 | 0,08 | 0,06 | 0,04 | 2 |
| 4 | 0,24 | — | — | — | — | — | — | — | 4 |
| 8 | 0,20 | 0,14 | 0,12 | 0,09 | — | 0 | — | — | 4 |
| 16 | 0,21 | 0,15 | 0,12 | 0,095 | 0,07 | 0,06 | 0,05 | 0,04 | 4 |
| Среднее | 0,21 | 0,125 | 0,12 | 0,0925 | 0,07 | 0,06 | 0,05 | 0,04 | 4 |

Аналогичный вывод следует при рассмотрении максимальной скорости сушки от толщины расстила при средней радиации 0,50 кВт/м², (рис. 3, таблица). С уменьшением начальной толщины слоя эффективность сушки возрастает, а толщина расстила, соответствующая точке перегиба на кривой максимальной скорости сушки, является оптимальной.

Из сравнения кривых сушки и интенсивности сушки расстилов фрезерной крошки на торфяном монолите и влагоизолированно от подстила [12] следует, что расстил торфа, не имеющий контакта с подстилом, может быть досушен до весьма низкого влагосодержания (0,08–0,15 кг/кг) в зависимости от интенсивности радиации, а при сушке на монолите без ворошений конечное влагосодержание торфа при том же режиме сушки имеет большее значение. Это вызвано тем обстоятельством, что наступает динамическое равновесие: испарение влаги из монолита (высокая относительная влажность воздуха в слое торфа, контактирующего с подстилом) препятствует дальнейшему обезвоживанию слоя, так как влага преимущественно

но в паровой фазе, транзитом проходящая через сушимый расстил, тормозит испарение влаги [9, 10].

В начале сушки градиенты влагосодержания в слое торфа 16 мм, контактирующем с подстилом, практически не изменяются с увеличением интенсивности радиации, в этот период происходит, в основном сушка верхних слоев, в то время как градиенты температуры по высоте слоя увеличиваются (рис. 4) при радиации 0,5 и 0,86 кВт/м², что приводит к перераспределению влаги внутри слоя за счет термовлагопроводности. При таком влагосодержании (к концу сушки) увеличение интенсивности радиации приводит к значительному росту градиента влагосодержания в нижнем слое торфа, непосредственно контактирующем с подстилом. При малой радиации 0,26 кВт/м² температурный градиент снижается из-за охлаждения сушеного слоя. Это приводит к увеличению интенсивности поступления влаги из подстила, а также к торможению испарения влаги из расстила крошки.

При низком влагосодержании торфа интенсивность сушки крошки с увеличе-

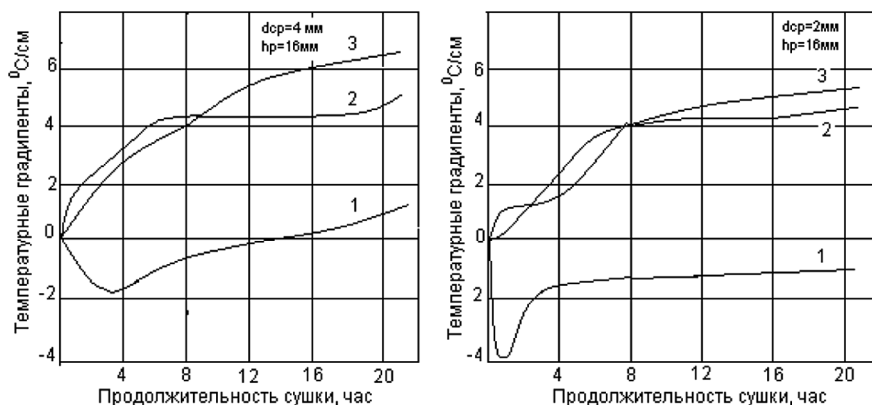


Рис. 4. Изменение средних температурных градиентов в процессе сушки при разной интенсивности радиации: 1 – 0,26; 2 – 0,50; 3 – 0,86 кВт/м²

Fig. 4. Change in average temperature gradients in the drying process at different intensities of radiation: 1 – 0,25; 2 – 0,50; 3 – 0,86 кВт/м²

нием радиации возрастает. Это происходит, во-первых, из-за того, что с ростом интенсивности радиации увеличивается температура торфа и, следовательно, возрастает интенсивность испарения в паровой фазе, так как при таком влагосодержании нет сплошных пленок влаги и капилляров, заполненных влагой. Поэтому перенос влаги в жидкой фазе отсутствует, имеет место только диффузия пара.

Во-вторых, с увеличением интенсивности радиации при низком влагосодержании термокапиллярный перенос отсутствует, а имеет место только термодиффузия осмотической влаги (рис. 4). Потенциал сушки пропорционален температуре (от нее также зависит относительная влажность воздуха), поэтому с увеличением интенсивности радиации растут температура и потенциал сушки, и, следовательно, торф может быть высушен до более низкой равновесной влажности.

При радиационной сушке фрезерного торфа в расстиле возникают значительные градиенты влагосодержания и температуры. Верхний слой торфа (1–2 мм) быстро достигает влагосодержания, близкого к равновесному, при относительно

высоком влагосодержании торфа по всей высоте расстила.

С увеличением интенсивности радиации за одно и то же время происходит сушка более толстых верхних прослоек расстила, вследствие углубления зоны испарения (рис. 2). Так за 4–5 ч зона максимальной скорости сушки при интенсивности радиации 0,86 кВт/м² находится в слое 10–12 мм, при потоке радиации 0,50 кВт/м² – в слое 6–8 мм, а при интенсивности радиации 0,25 кВт/м² – только в верхнем 1–3 мм слое. Следовательно, при средних погодных условиях за 5–6 ч сушки зона максимальной скорости сушки расположена в прослойке 6–8 мм от поверхности и этот в среднем семимиллиметровый слой можно высушить за это время до товарной влажности.

Заключение

Таким образом, на основании вышеизложенного, за день сушки (10–12 ч) можно провести два цикла добычи фрезерного торфа: фрезерование, сушка и уборка крошки толщиной по 6–8 мм. Кроме того, может быть использована и другая технологическая схема: фрезерование залежи производить один раз

в течение 1–2 суток, а сушка и уборка высушенных верхних прослоек по мере их высыхания до кондиционной влажности — также через каждые 5–6 ч сушки. Начальное влагосодержание для данной технологии в каждом цикле сушки и уборки будет меньше первого цикла, так как испарение влаги происходит по всей толщине расстила, поэтому и длительность цикла сушки будет соответствовать 5–6 ч сушки. Данные схемы были проверены в производственных усло-

виях и дали положительный результат. Цикловые сборы высушенного фрезерного торфа до кондиционной влажности за 5 ч сушки снизились, количество же циклов уборки увеличилось более чем в 4 раза по сравнению с двухдневным циклом, итоговый же показатель — сезонный сбор фрезерного торфа с одного гектара производственных площадей значительно возрос, что является важным технологическим показателем производства фрезерного торфа.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Панов В. В., Мисников О. С. Современные тенденции развития торфяной отрасли России // Труды Инсторфа. — 2015. — № 11(64). — С. 3–12.
2. Мисников О. С., Тимофеев А. Е., Михайлов А. А. Анализ технологий разработки торфяных месторождений в странах дальнего и ближнего зарубежья // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2011. — № 9. — С. 84–92.
3. Ермияш Д. М., Пухова О. В. Оценка технологических показателей добычи торфяного сырья при разработке торфяного месторождения // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2015. — № 5. — С. 51–55.
4. Пухова О. В., Савельева Е. О. Исследование процессов сушки различных видов торфяной продукции // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2009. — № 10. — С. 411–415.
5. Королев И. О., Пухова О. В., Черткова Е. Ю. Влияние технологических факторов на физико-механические свойства сырья в технологиях разработки торфяных месторождений // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2012. — № 10. — С. 181–184.
6. Misnikov O., Timofeev A., Pukhova O. Preparation of Molded Sorption Materials Based on Peat—Mineral Compositions // Polymer Science. Series D. — Vol. — 8. № 1. — 2015. — Pp. 66–74.
7. Gamayunov S. N., Misnikov O. S. Shrinkage phenomena in drying of natural organomineral dispersions // Inzhenerno-Fizicheskii Zhurnal. — 1998. — Vol. 71. № 2. — Pp. 233–234.
8. Misnikov O. S., Afanasiev A. E. Estimation of structural characteristics during drying of molded organic and organomineral biogenic materials // Theoretical Foundations of Chemical Engineering. — 2003. — Vol. 37. — № 6. — Pp. 582–589.
9. Afanasiev A. E., Gamayunov S. N., Misnikov O. S. Structurization processes during drying of sapropels with varying ash content // Colloid Journal of the Russian Academy of Sciences: Kolloidnyi Zhurnal. — 1999. — Vol. 61. — № 3. — Pp. 274–279.
10. Афанасьев А. Е., Столбикова Г. Е. Интенсификация сушки торфа в полевых условиях // Труды Инсторфа. — 2012. — № 5 (58). — С. 17–21.
11. Столбикова Г. Е., Купорова А. В. Особенности сушки фрезерного торфа различных параметров и режимов сушки / Материалы 12-ой международной конференции по проблемам горной промышленности, строительства и энергетики «Социально-экономические и экологические проблемы горной промышленности, строительства и энергетики». — Минск–Тула–Донецк, 2–3 ноября 2016 г. — Тула, 2016. — С. 77–84.
12. Столбикова Г. Е., Купорова А. В. Исследование сушки фрезерной крошки с разной загрузкой при изменяющихся режимах / Материалы Всероссийской научно-практической конференции «Саморазвивающаяся среды технического вуза: научные исследования и экспериментальные разработки». Ч. 1. — Тверь: ТвГТУ, 2016. — С. 168–175. **ПВАС**

КОРОТКО ОБ АВТОРАХ

Столбикова Галина Евгеньевна¹ — кандидат технических наук,
доцент, e-mail: gtp1938@mail.ru,

Купорова Александра Владимировна¹ — старший преподаватель,
e-mail: borale@inbox.ru,

¹ Тверской государственный технический университет.

ISSN 0236-1493. Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten'. 2018. No. 5, pp. 65–73.

G.E. Stolbikova, A.V. Kuporova

MILLED PEAT DRYING IN CASE OF DIFFERENT SIZE OF FEED AND CONDITIONS

Drying of milled peat is suggested to be considered as a special case of heat and mass exchange process. This issue is of great practical importance since natural peat contains up to 10 grams and more of moisture per 1 gram of dry matter. In order to obtain various peat products, peatland can be drained, which removes only 20% of moisture, while drying allows peat dehumidification to 30–40%. This article is focused on one of the issues of peat production industry—enhancement of milled peat production efficiency by means of creating a new process flow aimed to boost seasonal output per unit area by means of reducing thickness of dried layer and using more drying cycles per season. A detailed description is devoted to experimentation in an environmental chamber designed at the Tver State Technical University. The study object was milled valley peat with a decay degree of 30–35%, particles 2 and 4 mm in size. The peat samples were subjected to three types of drying conditions at different feeds from 0.129 to 1.81 kg/m². The features of the mechanism of drying in thin layers are revealed with regard to moisture exchange between milled valley peat and underlying peatland. It is found how radiation intensity influences drying efficiency, for instance, under low intensity radiation (convection drying), the drying rate is constant for all values of thickness of the test peat layers (from 4 to 16 mm). As radiation increases from 0.50 to 0.86 kW/m², the rate of drying grows too while fraction composition has no influence on the drying process. The optimal layer thickness to ensure the maximum rate of drying is determined. The scope of the discussion encompasses the mechanism of peat drying on wet bedding and the related explanations are given. The mechanisms of drying peat chips directly on peatland and with moisture proofing are compared in case of different moisture contents and radiation intensities. The maximum drying rates are compared at different radiation intensities and the optimal drying period is determined as 5–6 hours depending on feed. Two process flows are proposed to increase seasonal output of milled peat: two cycles of milling, drying and gathering per day (10–12 h); one-cycle deep milling per two days of drying and gathering of dried upper layers as they are dehumidified up to standard. Output per gathering cycle is decreased in this case, and number of gathering cycle increases more than 4 times. However, the overall seasonal output per unit production area grows.

Key words: peat, chips, drying period, evaporation rate, moisture, layer, spreading, moisture exchange, production cycle, radiation, drying conditions, maximum drying rate zone, final product gathering.

DOI: 10.25018/0236-1493-2018-5-0-65-73

AUTHORS

Stolbikova G.E.¹, Candidate of Technical Sciences,
Assistant Professor, e-mail: gtp1938@mail.ru,

Kuporova A.V.¹, Senior Lecturer, e-mail: borale@inbox.ru,

¹ Tver State Technical University, 170026, Tver, Russia.

REFERENCES

1. Panov V. V., Misnikov O. S. *Trudy Instorfa*. 2015, no 11(64), pp. 3–12.
2. Misnikov O. S., Timofeev A. E., Mikhaylov A. A. *Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten'*. 2011, no 9, pp. 84–92.
3. Ermiyash D. M., Pukhova O. V. *Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten'*. 2015, no 5, pp. 51–55.
4. Pukhova O. V., Savel'eva E. O. *Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten'*. 2009, no 10, pp. 411–415.
5. Korolev I. O., Pukhova O. V., Chertkova E. Yu. *Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten'*. 2012, no 10, pp. 181–184.
6. Misnikov O., Timofeev A., Pukhova O. Preparation of Molded Sorption Materials Based on Peat–Mineral Compositions. *Polymer Science. Series D*. Vol. 8, no 1. 2015, pp. 66–74.
7. Gamayunov S. N., Misnikov O. S. Shrinkage phenomena in drying of natural organomineral dispersions. *Inzhenerno-Fizicheskiy Zhurnal*. 1998. Vol. 71, no 2, pp. 233–234.
8. Misnikov O. S., Afanasiev A. E. Estimation of structural characteristics during drying of molded organic and organomineral biogenic materials. *Theoretical Foundations of Chemical Engineering*. 2003. Vol. 37, no 6, pp. 582–589.
9. Afanasiev A. E., Gamayunov S. N., Misnikov O. S. Structurization processes during drying of sapropels with varying ash content. *Colloid Journal of the Russian Academy of Sciences: Kolloidnyi Zhurnal*. 1999. Vol. 61, no 3, pp. 274–279.
10. Afanas'ev A. E., Stolbikova G. E. *Trudy Instorfa*. 2012, no 5 (58), pp. 17–21.
11. Stolbikova G. E., Kuporova A. V. *Materialy 12-oy mezhdunarodnoy konferentsii po problemam gornoy promyshlennosti, stroitel'stva i energetiki «Sotsial'no-ekonomicheskie i ekologicheskie problemy gornoy promyshlennosti, stroitel'stva i energetiki»*. Minsk–Tula–Donetsk, 2–3 noyabrya 2016 g. (Socio-Economic and Environmental Issues in Mining, Construction and Power Engineering: XII International Conference Proceedings. Minsk-Tula-Donetsk, 2–3 November 2016), Tula, 2016, pp. 77–84.
12. Stolbikova G. E., Kuporova A. V. *Materialy Vserossiyskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii «Samorazvivayushchayasya sredy tekhnicheskogo vuza: nauchnye issledovaniya i eksperimental'nye razrabotki»*. Ch. 1. (Self-Developing Environments of Technical University–Research and Exploratory Projects: All-Russian Scientific–Practical Conference Proceedings, part 1), Tver', TvGTU, 2016, pp. 168–175.



«Неделя горняка-2018»