© Э.А. Кремчеев, 2014

УДК 662.641.047:552.577:542.67

Э.А. Кремчеев

ОБОСНОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРИЕМОВ СНИЖЕНИЯ ВЛАЖНОСТИ ТОРФЯНОГО СЫРЬЯ ПРИ ЭКСКАВАТОРНОЙ ДОБЫЧЕ

Представлены результаты теоретических и экспериментальных исследований, направленных на обоснование технологических параметров производства торфяного сырья в условиях применения разработанной технологической схемы функционирования модульного торфяного предприятия.

Ключевые слова: добыча торфа, интенсивность сушки, технологические параметры.

В современных условиях хозяйствования, где энергетическая составляющая занимает до трети всего объема российских грузовых перевозок, все более остро встает вопрос повышения энергетической безопасности, одним из направлений обеспечения которой является интенсивное вовлечение энергогенерирующими предприятиями местных топливно-энергетических ресурсов, и в частности топлива на основе торфа.

Одним из основных препятствий активного использования местного торфяного топлива в качестве основного является низкая надежность существующих технологических схем добычи торфа в условиях функционирования относительно небольших торфопредприятий.

При переходе к исключительно цеховым условиям выработки торфяного топлива, возможно существенно упростить технологии добычи сырья, уменьшив потребность в подготовке полей для добычи и сушки торфа в полевых условиях, складирования, хранения и транспортировки продукции, существенно снизить зависимость цикла добычи от погодных условий, пожароопасность и т.п. В ряде случаев такие технологии могут быть сведены к маломасштабной круглогодовой добыче торфа экскаваторным способом или фрезерного торфа повышенной влажности, что значительно повышает надежность производства торфяного топлива, его поставок потребителю, но в свою очередь требует значительных затрат энергии на процесс удаления большего количества воды из сырья при цеховом этапе производства окускованного топлива. При реализации технологической схемы экскаваторной добычи все задачи полевого этапа производства можно решить на небольшом участке месторождения с минимальным набором технических средств общего назначения (экскаватор в болотном исполнении, болотоходный бульдозер, машинотракторные агрегаты, фронтальный погрузчик) и его организация возможна с привлечением минимальных инвестиций, что весьма привлекательно для малых компаний. Исследуемая технологическая схема производства описана в патенте «Модульный технологический комплекс добычи торфа и производства окускованного топлива» [1].

Одним из путей повышения энергоэффективности производства окускованного торфяного топлива на торфопредприятиях с маломасштабной круглогодовой добычей, является сочетание процессов полевого и цехового удаления

влаги и оперативное управление производством в зависимости от изменяющихся условий внешней среды.

Выбор рациональных параметров при выполнении технологических операций полевого обогащения торфяного сырья повышенной влажности должен определяться исходя из обеспечения максимальной интенсивности сушки в данных метеорологических условиях, а также оптимизацией энергетических затрат на обезвоживание торфяного сырья. Для решения поставленной задачи требуется всестороннее изучение процесса обезвоживания переувлажненного торфяного сырья с влагой 84–90% под действием гравитационных и капиллярно-осматических сил, а также за счет испарения.

На основании ранее проведенных исследований установлено, что целевым диапазоном влажности для торфяного сырья, поступающего в цеховой модуль производства торфяной топливной продукции методом экструдирования, является влажность от 60% до 70% [2]. В ряде случаев, при диверсификации производства, данный диапазон может быть расширен до 50–70%. Таким образом, задачей полевого этапа обогащения торфа при карьерной добыче, является удаление влаги с 84–90% до 50–70%.

При изучении влагопроводности переувлажненной торфяной залежи нарушенной структуры под действием гравитационных P_g и капиллярно-осматических сил P_k создаются условия, когда $P_k = P_g$, при которых интенсивность i_g потока влаги стремиться к нулю ($i_g \to 0$), а высота слоя торфа h стремиться к предельной (минимальной) при соответствующем значении эффективного радиуса пор r. После достижения навалом торфа критической высоты обезвоживание прекращается, и для дальнейшего удаления влаги требуется механическое отжатие сырья или проведение операций по сушке торфа (полевая сушка или сушка в заводских условиях).

Проведенные теоретические исследования позволили выявить зависимость коэффициентов эффективности гравитационного обезвоживания от начальных условий обезвоживания, обуславливающихся значениями высоты навала и влагосодержанием.

С учетом того, что экспериментальное значение критической высоты навала $H_{крЭ}$ с теоретическим значением $H_{крТ}$ связано через коэффициент β, учитывающий особенности реальной структуры и косвенно отражающий сопротивление переносу влаги [3], $H_{крЭ} = H_{крТ} \cdot \beta$ были получены выражения для расчета коэффициентов эффективности гравитационного обезвоживания в виде

$$K'_{эф} = 1 - \frac{\beta}{h_н} \frac{2\sigma \cos\Theta}{r\rho_ж g}, \qquad (1)$$

$$K'_{эw} = 1 - W_{кр} / W_н, \qquad (2)$$

где σ – коэффициент поверхностного натяжения, Н/м; r – радиус пор, м; Θ – угол смачивания твердой фазы жидкостью, град.; g – ускорение свободного падения, м/с^2; $\rho_ж$ – плотность связанной жидкости, которая может $\rho_ж = (0{,}81 \div 1{,}32) \cdot 10^3$ кг/м^3, соответственно, при $T = 273 \div 311$ К; $W_{кр}$, $W_н$ – влагосодержание при фильтрационном равновесии и начальное влагосодержание соответственно кг(в)/кг(с).

Рассматриваемое фильтрационное равновесии, ($P_k = P_g$, $i_g = 0$) будет нарушаться в результате испарения влаги с поверхности навала торфяного сырья, т.е. при

$$P_k \le P_g,\ \ i = (i_g + i_u) > 0,$$

где i_u – интенсивность испарения влаги при $h_i \ge H_{кр}$. В этом случае дополнительная потеря влаги будет осуществляться за счет ее испарения с поверхности образовавшихся пленок, менисков крупных и узких пор, а также вследствие капиллярной подпитки влаги в зону испарения. Таким образом, при определении суммарного потока влаги из навала торфяного сырья будут складываться гравитационный поток i_g и испаряемость i_u.

В случае радиационно-конвективного теплоподвода необходимо ввести лучистую составляющую теплового потока $q_л$, которую можно выразить через радиационный баланс B за вычетом потерь Δ теплоты через основание навала, особенно для малых по высоте образцов,

$$q_л = \frac{B(100 - \Delta)}{100}. \tag{4}$$

Таким образом,

$$i_u = \frac{q_л + \alpha_q(t_c - t_n)}{R_n}, \tag{5}$$

которое при малых потерях энергии ($\Delta \to 0$) будет

$$i_u = \frac{B + \alpha_q(t_c - t_n)}{R_n} = \frac{B + q_k}{R_n} = \frac{q_0}{R_n}, \tag{6}$$

где $q_0 = B + q_к$ – суммарный тепловой поток, Вт/м^2; α_q – удельная теплота парообразования, Дж/кг; – коэффициент внешнего теплообмена Вт/м^2 К; t_c, t_n – температура среды и поверхности соответственно, К.

Выполненные теоретические исследования позволили получить выражение для определения суммарного потока влаги из навала торфяного сырья:

$$i = i_g + i_u = -k_в\left(\frac{2\sigma\cos\Theta}{r_i h_i} - \rho_ж g\right) + \frac{q_л + \alpha_q(t_c - t_n)}{R_n}. \tag{7}$$

Для реальных сред с учетом эффективности влагопроводности (эффективный коэффициент влагопереноса) данное уравнение (7) примет вид:

$$i_u = -K'_{эф}\left(\frac{P_k - P_g}{h_i}\right) + \frac{B + \alpha_q(t_c - t_n)}{R_n}. \tag{8}$$

То есть, при $P_к < P_g$, $h_i > H_{кр}$ величина i_u обратна высоте навала h, и радиусу пор r, пропорциональна тепловому потоку q_0 и перепаду давлений $\Delta P = (P_g - P_к)$. Для другого случая, когда $h_i \le H_{кр}$ исключается гравитационный поток ($i_g = 0$) и градиент влагосодержания меняется только за счет испарения влаги. Следовательно, из условия сохранения массы вещества, можно получить, что количество жидкости, подведенное в зону испарения равно количеству испарившейся влаги.

Для оценки возможности применения полученных теоретических выражений в практике расчета технологических показателей процесса полевого обо-

Сравнение гравитационного обезвоживания с испарением влаги с поверхности навала торфа при различном теплоподводе (К и РК – режимы, $i_g = i_u$)

Высота навала, $h_н \cdot 10^3$, м	Время τ, ч						Равновесное время $\tau_р$, ч	
	0,5	4,5	21	49	109,5	225,5	К-режим	РК-режим
	Интенсивность обезвоживания i_g, кг/(м^2·ч)							
100	12,99	0,76	0,12	0,06	0,003	0	18,0	8,0
150	18,39	1,57	0,25	0,05	0,002	0	20,0	15,5
200	19,51	2,69	0,35	0,15	0,003	0	37,0	15,0
300	26,14	4,48	0,90	0,18	–	0,005	45,0	30,0
400	31,35	5,58	1,46	0,44	0,069	0,015	60,0	43,0

Примечание:
1. Использовался верховой шейхцериево-сфагновый торф $R_т$ = (22...25)%. Исследования велись в комнатных условиях (конвективный теплоподвод) при $t_с \approx 21{,}8$ °С, $t_м \approx 15{,}2$ °С, $\varphi = 47\%$, $q_л = 0$, скорость обдува $v \le 2$ м/с, $W_н = 16{,}432$ кг/кг. При оценке движения влаги в условиях радиационно-конвективного теплоподвода, принимали величину $q_л = 0{,}38$ кВт/м^2, $t_с \approx 21{,}8$ °С, $t_м \approx 15{,}2$ °С, $\Delta t = 6{,}6$ °С, $v \le 2$ м/с.
2. *К* и *РК* – соответственно конвективный и радиационно-конвективный теплоподвод.
3. Значения $\tau_р$ получены экстраполяцией пересечения графиков $i_g = f(\tau)$ и $i_u = f(\tau)$ по оси τ.

гащения торфяного сырья, была проведена серия экспериментальных исследований на натурных образцах торфа при конвективном и радиационно-конвективном теплоподводе.

Сравнение гравитационного обезвоживания i_g с испарением i_u влаги с поверхности навала производилось на основе функциональной зависимости $i_g = f(\tau)$ при различных значениях высоты $h_н$ навала торфа.

При расчете интенсивности испарения при конвективном и радиационно-конвективном теплоподводе для средних данных летних месяцев, были получены значения i_u отличающиеся более чем в 2,5 раза, что указывает на возрастание роли испарения при гравитационном обезвоживании торфяного сырья при благоприятных погодных условиях.

Подробный анализ таблицы подтверждает необходимость учета испарения с поверхности навала тем раньше, чем меньше его высота $h_н$ и выше тепловой поток при $h_i > H_{кр}$. При $\tau = \tau_р$ величина интенсивности испарения i_u равна интенсивности гравитационного обезвоживания i_g, но при очень малых значениях i_u, вклад которых в общий поток влаги при разных $h_н$ невелик, в периоде $\tau < \tau_р$ ее можно не учитывать. При малых интенсивностях обезвоживания вклад i_u растет и его учет обязателен при $\tau > \tau_р$, т.е. когда $h_н \to H_{кр}$. При $h_н = H_{кр}$ роль i_g из общего баланса влаги $i = i_g + i_u$ исключается ($i_g = 0$, $P_k = P_g$) и $i = i_u$.

Таким образом, гравитационное обезвоживание навала торфа является определяющим до $h_i > H_{кр}$ по сравнению с испарением влаги с поверхности навала, увеличивающегося с ростом температуры, радиационного баланса ($q_л = B$), уменьшением относительной влажности воздуха $\varphi_с$. Полагаем, что границей учета испарения служит время «равновесия» $\tau_р$ при $i_g = i_u$, т.е. когда на испарение приходится 50% потока влаги. С учетом полученных данных, считаем возможным, рекомендовать разработанные подходы при выборе рациональных параметров навала торфяного сырья нарушенной структуры в

операциях предварительного обезвоживания, а также для оценки оптимальной продолжительности периода гравитационного обезвоживания навала при изменяющихся (в широком диапазоне) погодных условиях расширенного сезона добычи торфа.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Патент* № 2470984 РФ, МПК C10F7/00. Модульный технологический комплекс добычи торфа и производства окускованного топлива / Э.А. Кремчеев, А.В., Михайлов, А.В. Болыпунов, Д.О. Нагорнов; заявитель ФГБОУ ВПО «Санкт-Петербургский государственный горный университет» — 2011126582/03; заявл. 28.06.2011; опубл. 27.12.2012.
2. *Михайлов А.В., Болыпунов А.В., Кремчеев Э.А., Епифанцев К.В.* Требования к торфяному сырью для производства окускованного топлива // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2012. – № 4. – С. 59–63.
3. *Кремчеев Е.А., Афанасьев А.Е.* Оценка эффективности гравитационного обезвоживания сырья при комплексной механизации круглогодовой добычи торфа // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2012. – № 4. – 50–58. ГИАБ

КОРОТКО ОБ АВТОРЕ

Кремчеев Эльдар Абдоллович – кандидат технических наук, доцент,
Национальный минерально-сырьевой университет «Горный»,
e-mail: rectorat@spmi.ru.

UDC 662.641.047:552.577:542.67

VALIDATION OF PROCESSING METHODS FOR PEAT RAW DEHUMIDIFICATION WITH EXCAVATING DIGGING

Kremcheev E.A., Candidate of Technical Sciences, Assistant Professor,
National Mineral Resource University «University of Mines», e-mail: rectorat@spmi.ru.

The article presents results of theoretical and experimental research which are intended to validation of manufacturing parameters of peat raw material production under conditions of application of developed technological scheme of working modular peat enterprise.

Key words: peat digging, drying rate, manufacturing parameters.

REFERENCES

1. Kremcheev E.A., A.V., Mikhailov, Bolypunov A.V., Nagornov D.O. *Patent RU2470984, МПК C10F7/00*, 27.12.2012.
2. Mikhailov A.V., Bolypunov A.V., Kremcheev E.A., Epifantsev K.V. *Gornyi informatsionno-analiticheskii byulleten'*, 2012, no 4, pp. 59–63.
3. Kremcheev E.A., Afanas'ev A.E. *Gornyi informatsionno-analiticheskii byulleten'*, 2012, no 4, pp. 50–58.