

ОЦЕНКА ВЫСОТЫ НАВАЛА ТОРФЯНОГО СЫРЬЯ ПО СРЕДНЕСТАТИСТИЧЕСКИМ РАЗМЕРАМ ПОР ПРИ ЕГО ПРОМЕЖУТОЧНОМ ОБЕЗВОЖИВАНИИ

Кремчеев Э.А.¹, Исаков А.Е.²

¹ Горный университет (199106, г. Санкт-Петербург, В.О., 21-линия, д. 2), e-mail: kremcheev@mail.ru

В работе представлены результаты теоретических и экспериментальных исследований, направленных на оценку высоты навалов торфа по среднестатистическим размерам пор. Данные, представленные в работе, позволяют оценить высоту навала торфа на участке промежуточного обезвоживания торфа исходя из условия максимального потока влаги. В основе теоретических исследований заложен принцип учета характеристик удаляемой категории влаги с учетом энергии связи жидкости с твердой фазой торфа в различных периодах обезвоживания. В работе обосновано, что с уменьшением высоты навала за гравитационное обезвоживание отвечают преимущественно крупные поры. Представленные в работе данные могут быть использованы при решении инженерных задач по оценке и прогнозу высоты навала торфа для одинаковых типа и вида торфа нарушенной структуры, выкладываемого в расстил сушки или в штабель промежуточного обезвоживания.

Ключевые слова: добыча, торф, полевое обогащение, гравитационное обезвоживание.

EVALUATION OF HEIGHT OF A PILE OF PEAT IN INTERMEDIATE DEHYDRATION ON THE BASIS OF THE AVERAGE SIZES OF PORES

Kremcheev E.A.¹, Isakov A.E.²

¹ Mining University (2, 21-line V.O., 199106 Saint-Petersburg, Russia), e-mail: kremcheev@mail.ru

The paper presents the results of theoretical and experimental studies aimed at assessing the height of a pile of peat according to average pore size. The data presented in this paper allow us to estimate the height of the pile of peat in the area intermediate dewatering from the condition of maximum flow of moisture. The basis of theoretical research was the principle of taking into account the characteristics of the category of removed moisture and the binding energy of the liquid with the solid phase of peat in different periods of dehydration. We scientifically proved that with decreasing of the height of the pile the gravitational dewatering goes under influence mainly of large pores. Presented data can be used in solving engineering problems to assess and forecast the height of the pile for the same type of peat and peat type distortion of the structure that is stacked in a drying layer, or for drying in a pile of intermediate dehydration.

Keywords: mining operation, peat, field enrichment, dehydration.

Одной из составляющих процесса заготовки торфяного сырья перед полевой сушкой, при отказе от поверхностно-послойной сработки торфяной залежи, может являться карьерная добыча торфа выемочно-погрузочными машинами агрегатированными с активными ковшами (ковшевыми просеивающими дробилками) (рис. 1). Именно на этой стадии целесообразно оптимизировать гранулометрический состав сырья, обеспечивая тем самым повышение интенсивности гравитационного обезвоживания торфяного сырья и рациональный размер частиц с позиции последующей полевой сушки. Высоту навала торфа в зоне промежуточного обезвоживания также необходимо выбирать из условия максимального потока влаги, обеспечивающего эффективность гравитационного обезвоживания.

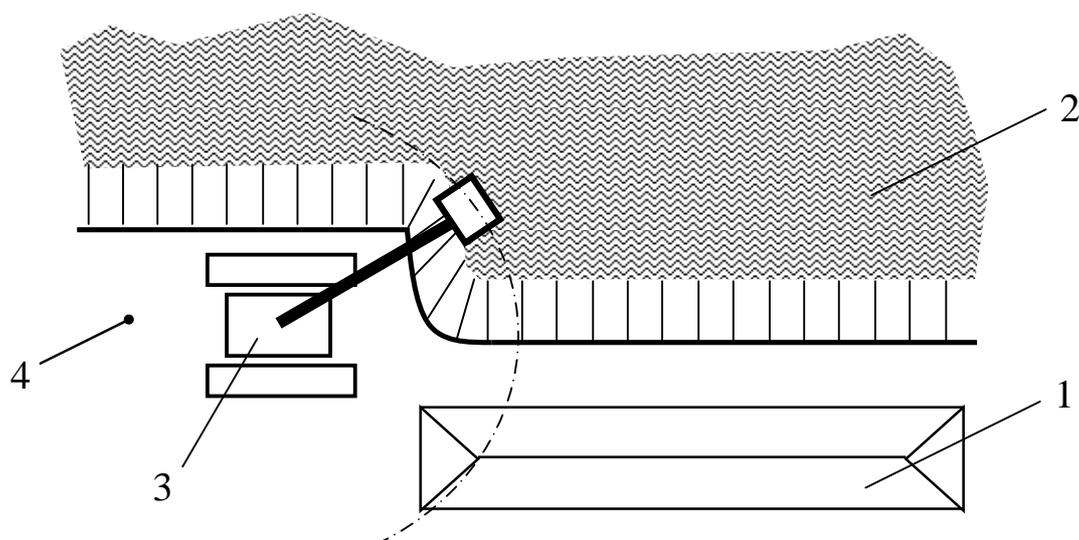


Рис. 1. Схема участка карьерной добычи торфа: 1 – штабель промежуточного обезвоживания; 2 – карьер; 3 – выемочно-погрузочная машина агрегатированная с ковшевой просеивающей дробилкой; 4 – торфяная залежь ненарушенной структуры

Теоретическое обоснование и экспериментальная проверка

Если сравнить с искусственным обезвоживанием торфа, то для создания давления в 2,0 МПа ($\omega = 90 \div 80\%$) потребовалась бы высота навала около 200 м водного столба [2]. При влаге $\omega_k < 80\%$ требуются еще более высокие давления прессования из-за повышения энергии связи воды с торфом (табл. 1). Эта энергия связи тем больше, чем меньше W и размер пор (табл. 2). Это взаимосвязь была проверена при обезвоживании торфа при $P_k \geq P_g$, и $\omega_k \leq 84\%$, что и служит подтверждением границ периодов обезвоживания: до 2,0 МПа ($\omega_n = 90 \div 80\%$) и после 2,0 МПа ($\omega_k < 80\%$). В нашем случае они подобны по величине содержания влаги при условии $P_k = P_g$:

1-й период – гравитационное обезвоживание, $\omega = (90 \div 93)\% \div (80 \div 84)\%$;

2-й период – полевая или искусственная сушка, $\omega_k < (80 \div 84)\%$.

Таблица 1

Форма и энергия связи влаги с твердой фазой торфа

Категория влаги	Обозначение	Энергия связи E , кДж/моль
Химически связанная	W_x	41,9 – 419
Физико-химически связанная	$W_{фх}$	21– 63
В том числе прочносвязанная вода моносорбции	W_m	<63
Осмотическая	$W_{осм}$	<2,1
Вода механического удерживания	$W_{мех}$	-
В том числе:		
капиллярная	$W_{кап}$	0,84
внутриклеточная	$W_{внк}$	-
иммобилизованная	$W_{им}$	-
структурно захваченная	$W_{стр}$	-

Таблица 2

Зависимость высоты навала торфа от средних размеров пор

Диаметр пор $D \cdot 10^6$, м	Энергия связи влаги E , кДж/моль	Вид влаги, W , кг(в)/кг(с)	Высота навала при средних размерах пор, м		
			максимальная	наиболее вероятная	минимальная
12,0	0,44	$W_{внк}$	-	2,48	-
6,0	0,88	$W_{кап}$	-	4,96	-
50,0	0,10	$W_{мех}$	0,3	-	-
25,0	0,21	$W_{им}$	0,6	-	-
0,9	5,84	$W_{осм}$		-	10,90
0,5	10,51	$W_{фх}$		-	29,76

Примечание: 1. $T = 293$ К, $\sigma = 73 \cdot 10^{-3}$ Н/м, $g = 9,81$ м/с², $\Theta = 0^0$; $\text{Cos}\Theta = 1$, торф верхового типа.

2. $E = 2\sigma \cdot \text{Cos}\Theta \cdot V_{ж}/r$, $V_{ж} = m/\rho_{ж}$.

3. W^* - наименование влаги (табл. 1).

4. Эффективный размер пор при $\phi \approx 0,7$ составляет $D_{\phi} = 56 \cdot 10^{-10}$ м [1].

Состояние торфа, при котором $P_k = P_g$, нами названо критическим, при этом критическое состояние для разной влажности торфяного сырья наблюдается при различных высотах навала. В критическом состоянии торфяного навала его высота равна критической для данных условий $h_{нав} = H_{кр}$. С этого критического состояния и начинается второй этап обезвоживания: сушка торфа. Характерно, что каждому значению ω соответствует свое значение диаметра пор (табл. 2) и высоты навала $h_{нав}$. Поэтому высоту штабеля (навала) промежуточного обезвоживания необходимо уточнять (с учетом табл. 2 и рис. 2 а, б). Оценка высоты навала, в первом приближении (без учета испарения влаги), определяется из соотношения:

$$h_{нав} = \frac{2\sigma \cdot \cos \Theta}{\rho \cdot g \cdot r}, \quad (1)$$

Значения $h_{нав}$, для различных групп порового пространства торфа (максимальное, наиболее вероятное, минимальное), показаны в таблице 2. Значения $h_{нав}$ сравниваются с учетом вида влагосодержания (по табл. 1) и энергией связи влаги с торфом для разных размеров пор. Таким образом, для наиболее вероятных средних размеров пор высота навала торфа меняется от 2,48 до 4,96 м, что в технологическом плане может быть обеспечено большой гаммой выемочно-погрузочных и погрузочных машин, нашедших применение в торфяной промышленности [6].

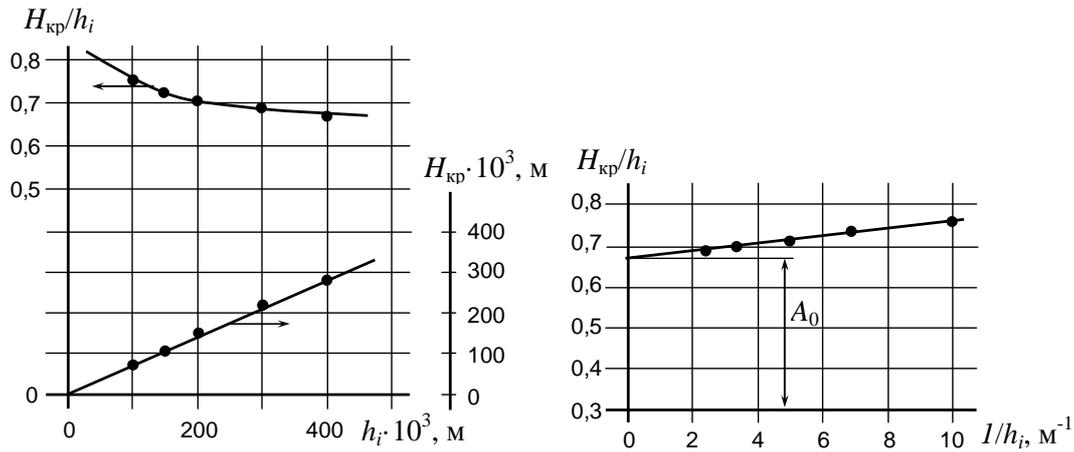


Рис. 2. Зависимости: а - $H_{кр}/h_i = f(h_i)$; б - $H_{кр}/h_i = f(1/h_i)$ для верхового пушицево-сфагнового торфа, $R_T = (20 \div 25)\%$

Исследования показали [1; 5; 7-9], что испарение влаги в полевых условиях ($\langle \phi \rangle = 0,7$, $T = 295 \div 303$ К) позволяет удалять воду из торфа с размерами эффективных диаметров пор $D_{эф} \geq 56 \cdot 10^{-10}$ м. Значения эффективных диаметров вычислялись с использованием формулы Кельвина: $D = 4\sigma_{vm}/(R^*T \ln(1/\phi))$ по десорбционной ветви изотермы.

Следовательно, при средних погодных условиях влага максимально испаряется из большинства обозначенных пор, кроме максимальных (табл. 2). Как было показано ранее, роль испарения в процессе обезвоживания торфа невелика в первом периоде (гравитационном $h_n > H_{кр}$), но является определяющей для второго ($h_n \leq H_{кр}$).

Для расчета можно использовать эмпирический подход, основанный на анализе экспериментальных данных (рис. 2 а, б), полученных нами и опубликованных в работе [4]. С учетом коэффициента масштабного эффекта ξ_h формула для расчета отношения $H_{кр}/h_i$ принимает вид:

$$\frac{H_{кр}}{h_i} = \left[A_0 + k_{кр} \cdot \frac{1}{h_i} \right] \cdot \xi_h, \quad (2)$$

где $k_{кр} = d(H_{кр}/h_i)/d(1/h_i)$ - угловой коэффициент зависимости $H_{кр}/h_i = f(1/h_i)$, ($k_{кр} = 6$ м, рис. 2б), A_0 - начальное значение аргумента ($A_0 = 0,67$ б/р) принимается из графика (рис. 2б).

Из уравнения (2) следует, что значение высоты навала торфа:

$$h_i = \frac{H_{кр} - k_{кр} \xi_h}{A_0 \cdot \xi_h}. \quad (3)$$

Трудности использования уравнения (3) сводятся к нахождению коэффициента ξ_h , показывающего изменение размеров частиц торфа при его сушке (лабораторные и полевые условия) в расстиле постоянной высоты. Причем высота пропорциональна диаметру частиц. Оценить значение ξ_h можно из уравнения (2). Представим искомый коэффициент в виде уравнения:

$$\xi_h = \frac{H_{кр}}{h_i \left(A_0 + k_{кр} \cdot \frac{1}{h_i} \right)} = \frac{H_{кр}}{h_i A_0 + k_{кр}} . \quad (4)$$

Значения коэффициента для лабораторных условий сушки показаны в таблице 3. Значения ξ_h изменяются незначительно, от 1,22 до 4,30%. Таким образом, при инженерных расчетах можно принимать средние значения коэффициента масштабного эффекта $\xi_h \rightarrow 1$. Для более жестких полевых условий и искусственной сушки торфа значения ξ_h будут расти с увеличением отношения $H_{кр}/h_i$ и коэффициента $k_{кр}$.

Таблица 3

Зависимость экспериментальных значений $H_{кр}/h_i$ в функции высоты навала торфа h_i

$h_i \cdot 10^{-3}$, м (факт)	$H_{кр} \cdot 10^{-3}$, м	$H_{кр}/h_i$, б/р	$r \cdot 10^6$, м (по форм. 1)	$1/h_i$, м ⁻¹	ξ_h , б/р	$h_i \cdot 10^3$, м (по форм. 3)	$(h_\phi - h_p) \cdot 10^3$, м
100	74	0,74	135,8	10	0,0122	97,9	+2,1
150	110	0,73	90,5	6,7	0,0180	166,7	-16,7
200	142	0,71	67,9	5,0	0,0232	181,0	+19,0
300	210	0,70	45,3	3,3	0,0340	265,0	+35,0
400	270	0,68	33,9	2,5	0,0430	416,0	-16,0

Примечание: торф верховой пушицево-сфагновый, $R_T = (20 \div 25)\%$, $T = 293$ К.

Оценка высоты навала по формуле (3) дает сопоставимые результаты с экспериментальными данными с относительной погрешностью, не превышающей 5%.

Например: $H_{кр} = 74 \cdot 10^{-3}$ м, $k_{кр} = 6$ м, $A_0 = 0,67$, $\xi_h = 0,0122$, подставляем данные для пушицево-сфагнового торфа $R_T = (20 \div 25)\%$ в формулу (3) (данные табл. 3),

$$h_i = \frac{74 \cdot 10^{-3} - 6 \cdot 0,0122}{0,67 \cdot 0,0122} = 97,9 \cdot 10^{-3} \text{ м.}$$

Полученное значение мало отличается от экспериментального $h_i = 100 \cdot 10^{-3}$ м (первая строка табл. 3). В этой связи можно оценить средний радиус пор (1), из которых удаляется влага при $h_i = h_{нав} \geq H_{кр}$.

Основные выводы

Анализ данных, приведенных в таблице 3, показывает, что с уменьшением высоты навала за гравитационное обезвоживание отвечают преимущественно крупные поры [3; 4].

Причем полученные размеры пор оказались несколько выше ($r = (135,8 \div 33,9) \cdot 10^{-6}$ м) диаметров пор (табл. 2). При этом размеры навалов торфа (при исследованиях в лабораторных условиях) в обоих случаях были в сравнимых перекрывающихся диапазонах. В первом случае высота навала составляла от 100 до 400 мм (табл. 3), во втором случае от 300 до 600 мм (табл. 2).

Следовательно, оценка высоты навалов торфа по среднестатистическим размерам пор и данные экспериментальных исследований (рис. 2 а, б) отличаются незначительно и могут быть использованы при решении инженерных задач оценки и прогноза высоты навала торфа $h_{нав}$ для одинаковых типа и вида торфа нарушенной структуры, выкладываемого в расстил сушки или в штабель промежуточного обезвоживания.

Список литературы

1. Афанасьев А.Е., Чураев Н.В. Оптимизация процессов сушки и структурообразования в технологии торфяного производства. - М. : Недра, 1992. - 288 с.
2. Горячев В.И. Искусственное обезвоживание торфа. – Тверь : ТГТУ, 2012. - 184 с.
3. Кремчеев Э.А., Афанасьев А.Е., Ефремов А.С. Гравитационное обезвоживание навала торфяного сырья с учетом испарения влаги // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). - 2013. - № 3. - С. 93-103.
4. Кремчеев Э.А., Афанасьев А.Е. Оценка эффективности гравитационного обезвоживания сырья при комплексной механизации круглогодичной добычи торфа // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). - 2012. - № 4. - С. 50-58.
5. Навесное оборудование для попутного получения кондиционной торфяной продукции при проведении строительных работ на заторфованных участках Санкт-Петербурга и Ленинградской области : отчет о НИР. Направление: «Энергосберегающие технологии» / Э.А. Кремчеев; Национальный минерально-сырьевой университет «Горный». – СПб., 2014. – 61 с.
6. Нагорнов Д.О. Обоснование параметров ковшевой дробилки торфяного погрузочно-перерабатывающего агрегата : автореф. ... дис. к.т.н. – СПб. : Горный университет, 2012. - 20 с.
7. Научное обеспечение использования местных торфяных топливно-энергетических ресурсов и органических отходов для производства окускованных твердых топлив : отчёт о НИР (заключит.) № ГР 01201175903 / Ковшов С.В., Кремчеев Э.А., Нагонов Д.О. [и др.]. - СПб. : Горный университет, 2013. - 87 с.
8. Расширение использования торфа в малой энергетике в рамках реализации ЭС 2030, как перспективного местного вида топлива для развития систем теплоснабжения изолированных потребителей на уровне муниципальных образований в торфообеспеченных регионах РФ: отчёт о НИР (заключит.) № ГР 01201062471 / Михайлов А.В., Кремчеев Э.А., Нагорнов Д.О. [и др.]. - СПб. : Горный университет, 2012. - 85 с.

9. Технологическое обеспечение круглогодичного производства качественного торфяного топлива для региональных кластеров малой энергетики : отчёт о НИР (заключит.) № ГР 01201062473 / Кремчеев Э.А., Нагорнов Д.О., Кремчеева Д.А. [и др.]. - СПб. : Горный университет, 2012. - 84 с.

Рецензенты:

Пашкевич М.А., д.т.н., профессор, директор ЦКП, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Национальный минерально-сырьевой университет «Горный», г. Санкт-Петербург;

Иванов С.Л., д.т.н., профессор кафедры машиностроения, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Национальный минерально-сырьевой университет «Горный», г. Санкт-Петербург.