

УДК 662.641.047:552.577:542.67

Э.А. Кремчев, А.Е. Афанасьев

## ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ГРАВИТАЦИОННОГО ОБЕЗВОЖИВАНИЯ СЫРЬЯ ПРИ КОМПЛЕКСНОЙ МЕХАНИЗАЦИИ КРУГЛОГODOVOЙ ДОБЫЧИ ТОРФА

*Проведено теоретическое обоснование и экспериментальные исследования, позволившие оценить процесс обезвоживания слоя торфа нарушенной структуры в результате гравитационных и капиллярно-осмотических сил без учета испарения влаги в зависимости от высоты слоя и эффективного радиуса пор. Показана возможность оценки равновесного состояния влаги и коэффициентов влагопроводности через изменение коэффициентов фильтрации и интенсивности влагопереноса, что позволило выбрать оптимальную толщину слоя обезвоживания.*

*Ключевые слова:* обезвоживание торфа, влагопроводность, равновесное состояние влаги.

**К** инновационным технологиям добычи и переработки торфа можно отнести интенсивно разрабатываемые в последние годы различные варианты круглогодочных способов добычи торфяного сырья, а также, способы расширения сезона добычи. В большинстве случаев предлагаемые технико-технологические решения предполагают экскавацию переувлажненной торфяной залежи одноковшовой выемочно-погрузочной машиной с последующим обезвоживанием в полевых и (или) цеховых условиях [27, 28]. В связи с этим, актуальной становится задача оптимизации энергетических затрат на обезвоживание торфяного сырья, что может быть достигнуто всесторонним изучением процесса обезвоживания переувлажненного торфяного сырья с влагой  $W = (84 \div 90)\%$  под действием гравитационных  $P_g$  и капиллярно-осмотических  $P_k$  сил. Действие последних определяется по окончании фильтрации влаги. При решении поставленной задачи процессы сопутст-

вующего испарения влаги из слоя торфа не учитывались.

Следующим этапом исследования изменения свойств торфяного сырья в процессе обезвоживания является учет испарения влаги и сравнение конечных результатов путем оценки критической толщины слоя  $H_{кр}$  при уравнивании гравитационных и капиллярно-осмотических сил ( $P_k = P_g$ ). Критической толщиной называется величина, при которой в круглогодочной технологической схеме последующее удаление влаги из слоя торфа нарушенной структуры возможно лишь применением механического отжатия с последующей досушкой сырья термическими методами в заводских условиях. Перечисленные этапы обезвоживания рассматриваются как один из технологических приемов изменения свойств торфяного сырья (влаги –  $W$ , плотности –  $\gamma$ , пористости –  $n$ , интенсивности влагопереноса –  $i_i$ , степени разложения –  $R_T$ , полной влагоемкости –  $W_{пв}$ , прочности –  $R_i$ , и др.), определяю-

щих качество разноплановой продукции на основе торфа [1-6].

Сушка в заводских условиях является одной из завершающих стадий производства торфяной продукции в метеонезависимых технологиях добычи и переработки торфа. Реализация данного процесса в заводских условиях без предварительной сушки в полевых условиях может быть обоснованной с энергетической точки зрения при условии, если на этом этапе при  $W = (82 \div 84)\%$  ввести механическое отжатие торфа [5]. Следует отметить, что полевой этап обезвоживания торфа повышенной влажности значительно дешевле заводского, но несколько продолжительнее по времени технологического цикла. Вопросы физики процесса в значительной степени изучены В.М. Наумовичем, Л.С.Амаряном, В.И. Горячевым и др.

Поскольку вне зависимости от технологии переработки торфяного сырья повышенной влажности имеет место процесс гравитационного обезвоживания торфа, в настоящем исследовании проведено обоснование влагопереноса в слое торфа нарушенной структуры с позиции гравитационного и капиллярно-осмотического удаления влаги на основе применения модели, обеспечивающей определение максимального значения коэффициентов влагопереноса через коэффициенты фильтрации и толщину слоя обезвоживания, подверженного осадке до критической величины. При оценке фильтрационных процессов, как правило, используют результаты экспериментальных и теоретических исследований [7-17], построенных на применении различных моделей [9-12, 15]. Анализ последних можно найти в работах [9, 11, 14, 15]. Что касается торфяных систем,

то они изучались в [7, 9, 10, 13, 16, 17, 18] с использованием теоретико-экспериментальных исследований на основе потенциальной теории влагопереноса с учетом согласованных моделей движения влаги по пленкам и капиллярам, дающим наиболее приемлемые результаты в сравнении с экспериментом [9, 11, 14, 16]. Наибольший интерес представляют работы по исследованию фильтрационных свойств торфа с помощью радиоактивных изотопов, выполненных в радиохимической лаборатории КПИ [2, 18, 22] и научном центре Радченко-торф, а также с применением солевых меток в ВНИИГиМе им. А.Н. Костякова.

#### **Теоретический анализ**

Вода встречается в различных физических состояниях в девяти устойчивых изотопных видах. В молекуле воды атомы водорода и кислорода создают диполи, которые объединяются в ассоциаты с общей формулой  $H_2O$  и образуют циклическое, цепочное и ветвистое строение (тетраэдрический ассоциат) с ковалентными и водородными связями. Имеется и другое деление структуры молекул воды: угловая, шаровая, тетраэдрическая [19].

Вода взаимодействуя с твердой фазой и воздухом, изменяет свои физико-технологические свойства, которые различны для свободной и связанной воды [2, 20]. Так, вода в свободном состоянии подчиняется силам тяжести, передает гидростатическое давление, мало сжимается [21], в связанном же состоянии на структуру и плотность воды влияет минералогический состав торфа, обусловленный первичной (<15 %) и привнесенной (вторичной) золой, состоящими из окислов  $SiO_2$ ,  $CaO$ ,  $Fe_2O_3$ ,  $Al_2O_3$  (около 80% золы) и ионов  $Ca$ ,  $Fe$ ,

$Mg, K, Na, S$ . В этом случае плотность связанной воды  $\rho_{ж}$  в зависимости от температуры  $T$  проходит через максимум при  $T \cong 310,5 \text{ K}$  для каждого периода структурообразования и отличается от  $\rho_{ж} = 1 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$  ( $T = 277,14 \text{ K}$ ) тем больше, чем выше степень разложения торфа или его дисперсность [20].

С позиции пористой структуры поры радиусом  $r > 10^{-5} \text{ м}$  не являются капиллярными и поэтому по данным Н.Н. Федякина [2,20], вода в порах будет приближаться к свободной по значениям коэффициента поверхностного натяжения  $\sigma$  и вязкости  $\eta$ . Таким образом, для пористого торфяного тела с размером  $l = 0,1 \text{ м}$  поры можно считать капиллярными если их радиус  $r \leq 10^{-5} \text{ м}$  (А.В. Лыков). Для тела больших размеров, например  $l = 1,0 \text{ м}$  капиллярные поры уменьшаются. Их радиус должен быть  $r < 1 \cdot 10^{-6} \text{ м}$ . Жидкость образует непрерывную трубку высотой  $h = l_i$ . Это обстоятельство приводит к гипотезе С.Н. Нерпина и Е.М.и Хлопотенкова о неразрывности в почве пор одного диаметра [11] и дифференциальному распределению водопроводящих пор (С.В. Лундин, Л.Б. Свердлова), что указывает на наличие в почве минимальных объемов, поровая характеристика которых не изменяется независимо от его расположения или ориентации. Для торфяных систем это условие касается самих пористых частиц с порами меньшего диаметра по сравнению с межчастичными (крупными). Капиллярность можно определить и по соотношению давлений,  $P_g \ll P_k$ . В этой связи в торфяных телах нарушенной структуры можно выделить

как крупные (не капиллярные), так и узкие (капиллярные) поры [2,18,22], которые будут определять начальные условия обезвоживания, при котором  $P_g > P_k$ , и интенсивность влагопереноса  $i_g$  определяется действием сил гравитации до тех пор, пока высота  $h_i$  навала переувлажненного торфа нарушенной структуры не достигнет, за счет осадки, критической  $H_{кр}$ , при которой  $P_g = P_k$ ,  $h_i = H_{кр}$ ,  $i_g = 0$ .

### Решение задачи

При подготовке торфяного сырья происходит нарушение структуры торфяной залежи и ее переход в трехфазное состояние, в котором наряду с силами гравитации  $P_g = \rho_{ж}gh_i$

действуют капиллярные  $P_k = \frac{2\sigma \cos \Theta}{r}$

так, что они направлены в противоположные стороны (рис. 1). Согласно законам термодинамики [23,24] прирост энтропии  $dS/d\tau$  во времени, вызванный внешними  $dS_e/d\tau$  и внутренними  $dS_i/d\tau$  условиями тепло-массопереноса определяется как:

$$\frac{dS}{d\tau} = \sum_{i=1}^n J_i X_i, \quad (1)$$

где  $J_i$  - плотность потока  $i$ -той субстанции,  $X_i$  — термодинамическая движущая сила.

Экспериментально установлено, что  $J_i$  пропорциональна  $X_i$ :

$$J_i = L_i X_i, \quad (2)$$

где  $L_i$  - коэффициент пропорциональности. Для случая переноса влаги при  $T = const$  зависимость (2) можно представить в виде уравнения Фика для случая испарения воды с обводненной поверхности:

$$i_u = -D \frac{\partial c}{\partial x}, \quad (3)$$

Которое, после преобразования [23], принимает вид:

$$i = -a_m \gamma_c \frac{\partial W}{\partial x}, \quad (4)$$

где  $\partial c / \partial x$ ,  $\partial W / \partial x$  - соответственно градиенты концентрации паров воды и влаги в торфе;  $D$ ,  $a_m$  - коэффициенты диффузии пара через воздух и влаги в торфе. Причем  $c = \gamma_c \cdot W$ ,  $\gamma_c$  - плотность сухого вещества торфа при  $W = W_i$ . Использование уравнений (3) и (4) в нашем случае затруднительно, поскольку имеется неопределенность движущих сил  $X_i$  в связи с осадкой торфяного сырья в навале. В тоже время использование уравнения Дарси в различном виде [7, 8, 11, 13, 15, 17] не представляется возможным из-за невозможности учета капиллярных сил и вертикального напора  $h/l$  [7] при оценке влагопроводности торфяного сырья.

Поэтому использование уравнения (2) позволяет выбрать в качестве движущей силы при оценке влагопроводности торфа  $i_g$  перепад давлений  $P_i = P_k - P_g$ , отнесенный к разности  $\Delta x$  координат  $\Delta x_i = x_i - x_{i+1}$  (рис. 1). Без учета испарения влаги с поверхности или попутного внутреннего испарения, уравнение влагопроводности будет:

$$i_g = -k_B \frac{d}{dx} (P_k - P_g) = -k_B \frac{dP_i}{dx}, \quad (5)$$

где  $k_B$  - коэффициент влагопроводности, характеризующий поток влаги при  $(dP/dx) \rightarrow 1$ , выражается в секундах;  $i_g$  - интенсивность потока

влаги,  $кг(в)/м^2с$ . После подстановки в (5) выражений для  $P_k$  и  $P_g$  получим, что

$$i_g = -k_B \frac{d}{dx} \left( \frac{2\sigma \cos \Theta}{r} - \rho_{ж} gh \right) \quad (6)$$

и, при условии  $dh/dx = 1$  (рис. 1), формула (6) может быть записана в виде:

$$i_g = -k_B \left( \frac{2\sigma \cos \Theta}{rh} - \rho_{ж} g \right) \quad (7)$$

Откуда, зная  $k_B$ ,  $r$ ,  $h$ , при прочих равных условиях, можно определить интенсивность влагопроводности торфяного сырья нарушенной структуры.

Анализ формулы (7) показывает, что на начальном этапе обезвоживания сырья можно принять при содержании влаги  $W \geq (82 \div 88)\%$  в качестве термодинамической движущей силой преимущественно является гравитационная. Тогда, уравнение (7) примет вид:

$$i_g \cong -k_B \rho_{ж} g, \quad (8)$$

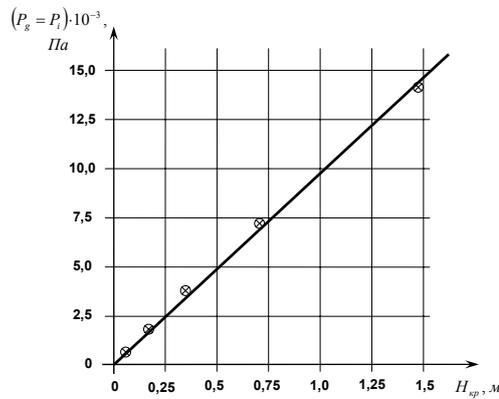
которое, согласно (6) будет:

$$i_g \cong -k_B \frac{dP_g}{dx}. \quad (9)$$

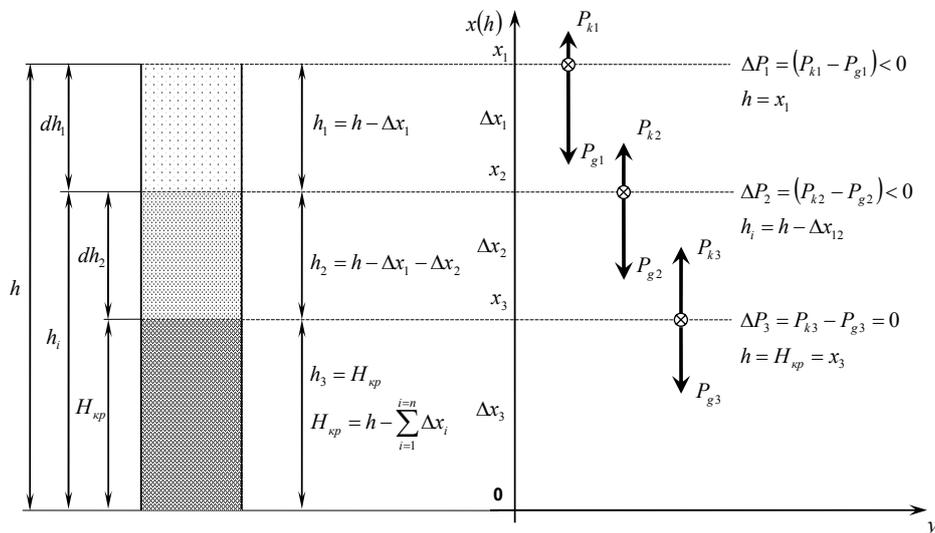
Сравнение уравнений (8) и (9) приводит к условию:

$$\frac{dP_g}{dx} = \rho_{ж} g. \quad (10)$$

Значит, если  $\rho_{ж} g = const$ , то  $dP_g/dx = const$ . Это условие является приближенным, так как по данным А.Е. Афанасьева, А.С. Ефремова  $\rho_{ж} = var$  и, в зависимости от температуры принимает значения в диапазоне  $\rho_{ж} = (0,81 \div 1,32) \cdot 10^3 \text{ кг}/\text{м}^3$ , соответственно, при  $T = 273 \div 311 \text{ К}$ , т.е. в каждом из периодов структурообразования имеется свой максимум,



**Рис. 1.** Изменения перепада давления  $\Delta P = P_{ki} - P_{gi}$  и высоты слоя при обезвоживании торфяного сырья до  $h = H_{кр}$  при  $T = 273$  К

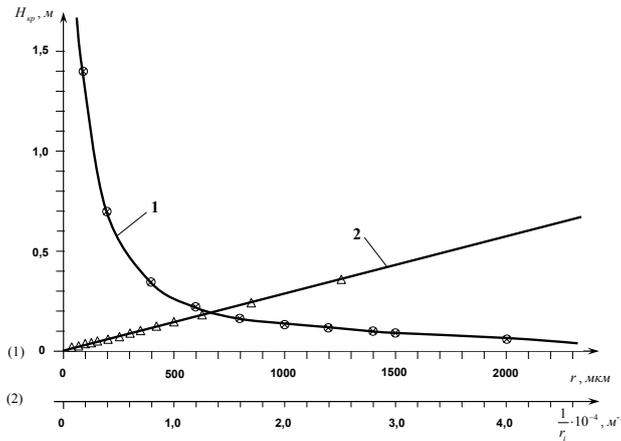


определяемый видом взаимодействия и степенью переработки торфа.

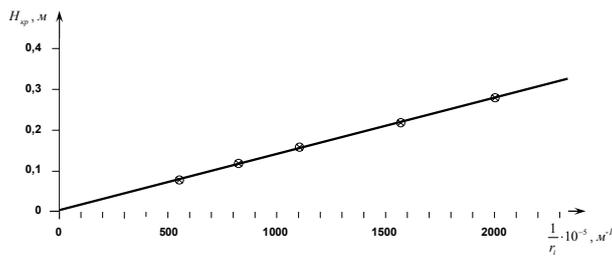
С уменьшением степени переработки  $S_o$  и ростом влагосодержания плотность жидкости уменьшается, а с ростом степени разложения,  $S_o$  и уменьшением влагосодержания  $W$  плотность растет по сравнению со свободной водой [2, 20, 25, 26]. Тогда по известным  $i_g$  можно найти значения коэффициентов влагопереноса  $k_b$  из формулы (8), при условии:  $P_k \ll P_g$ ,  $h_i > H_{кр}$ .

При  $h_i = H_{кр}$  поток влаги как бы зависит и в соответствии с исследованиями Л.И. Кутаиса [7] система переходит в фильтрационное равновесие. По С.С. Корчунову [9] это состояние определяется равенством полного потенциала  $\Pi = 0$  за счет одинаковых значений капиллярного  $\Phi_k = P_k / \rho_{ж}$  и гравитационного  $\Phi_g = gH$  потенциалов,

$$\Phi = \frac{P_k}{\rho_g} - gH \rightarrow 0. \quad (11)$$



**Рис. 2.** Теоретические зависимости критической высоты слоя  $H_{кр}$  от радиуса пор  $r$



**Рис. 3.** Экспериментальная зависимость критической высоты слоя  $H_{кр}$  от радиуса пор  $r$  для шейхсциериево-сфагнового торфа (верховой тип)

$R_T = (22 - 25)\%$  при  $T = 295 \text{ K}$ ,  $\varphi = 0,47$

Из последних условий

$$P_g = P_k, \quad i_g = 0, \quad h_i = H_{кр}, \quad (12)$$

найдем связь между эффективным радиусом пор  $r$  и высотой (толщиной) слоя торфа нарушенной структуры) навала торфа. Из уравнения (7) следует, что

$$\frac{2\sigma \cos \Theta}{rh} = \rho_{ж} g. \quad (13)$$

Тогда,

$$h = H_{кр} = \frac{2\sigma \cos \Theta}{r\rho_{ж} g}. \quad (14)$$

Внешне уравнение (14) напоминает формулу Жюрена [21] по капиллярному подъему жидкости. Оценим  $h$  воспользовавшись полученным уравнением (14) для средних летних условий сушки в торфяной промышленности.

Пусть сушке подвергается верховой пушицево-сфагновый торф степенью разложения

$R_T = (20 \div 25)\%$ , угол смачивания  $\Theta = 0^\circ$ ,  $\cos \Theta = 1$ ,

$T = 293 \text{ K}$ ,  $\sigma = 73 \cdot 10^{-3} \text{ Н/м}$ ,  $g = 9,81 \text{ м/с}^2$ . Плотность жидкости (воды) принимаем по [20, 26]

$\rho_{ж} = 1,075 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$ . Значения  $r$  задаем в пределах  $r = (0,01 \div 2000) \cdot 10^{-6} \text{ м}$ . С

учетом предложенных данных расчетная формула принимает вид:

Значения  $r$  задаем в пределах  $r = (0,01 \div 2000) \cdot 10^{-6} \text{ м}$ . С учетом предложенных данных расчетная формула принимает вид:

Значения  $r$  задаем в пределах  $r = (0,01 \div 2000) \cdot 10^{-6} \text{ м}$ . С учетом предложенных данных расчетная формула принимает вид:

$$H_{кр} = \frac{2 \cdot 73 \cdot 10^{-3} \cdot 1}{1,075 \cdot 10^3 \cdot 9,81} \cdot \frac{1}{r_i} =$$

$$= 13,84 \cdot 10^{-6} \frac{1}{r}, \text{ м.} \quad (15)$$

Результаты сводим в таблицу. Анализ табличных данных и рис. 2 показывает, что зависимость  $H_{кр} = f(r)$  имеет гиперболический вид и соответствует формуле (14). А в координатах  $H_{кр} = f(1/r_i)$  выполняется линейная зависимость. Таким образом, с увеличением толщины слоя  $H_{кр}$  уменьшается эффективный радиус пор, и это обстоятельство подтверждается в работах по фильтрации [9, 11, 14].

Экспериментальная проверка зависимости (14) велась путем исследования процесса обезвоживания вер-

хового шейхцерииво-сфагнового торфа, как наиболее распространенного, и имеющего малую водоотдачу [29, 30]. Степень разложения торфа  $R_T = 22-25\%$ . В комнатных условиях  $T = 295\text{ K}$ ,  $\sigma = 72,58 \cdot 10^{-3}\text{ Н/м}$ ,  $\rho_{ж} = 1,09 \cdot 10^3\text{ кг/м}^3$  [25] исследовались образцы торфяного сырья при различной высоте слоя  $h$  (см. таблицу). В ходе эксперимента контро-

лировалась высота образцов  $h_i$  и  $H_{кр}$ , при которой  $i_g = 0$ . Опыт проводился по схеме, представленной на рис. 1. Затем строилась зависимость:  $H_{кр} = f(1/r_i)$  (рис. 3). Далее определялись угловые коэффициенты  $k_r = dH_{кр}/d(1/r_i)$  и сравнивались между собой для теоретической  $k_{rT} = dH_T/d(1/r_i)$  и эксперименталь-

Таблица

**Зависимость эффективного радиуса пор от критической толщины навала торфяного сырья нарушенной структуры**

Теоретический анализ		
$\frac{1}{r}, \text{ м}^{-1}$	$r \cdot 10^6, \text{ м}$	$H_{кр}, \text{ м}$
0,05·10 <sup>4</sup>	2000	0,007
0,10·10 <sup>4</sup>	1000	0,014
0,14·10 <sup>4</sup>	700	0,020
0,20·10 <sup>4</sup>	500	0,028
0,25·10 <sup>4</sup>	400	0,035
0,29·10 <sup>4</sup>	350	0,040
0,40·10 <sup>4</sup>	250	0,055
0,50·10 <sup>4</sup>	200	0,069
0,60·10 <sup>4</sup>	150	0,092
0,71·10 <sup>4</sup>	140	0,099
0,83·10 <sup>4</sup>	120	0,115
1,0·10 <sup>4</sup>	100	0,138
1,25·10 <sup>4</sup>	80	0,173
1,66·10 <sup>4</sup>	60	0,230
2,5·10 <sup>4</sup>	40	0,346
5,0·10 <sup>4</sup>	20	0,692
10,0·10 <sup>4</sup>	10	1,384
20,0·10 <sup>4</sup>	5	2,768
100,0·10 <sup>4</sup>	1	13,84
1000,0·10 <sup>4</sup>	0,1	138,4
10000,0·10 <sup>4</sup>	0,01	1384

Продолжение таблицы

Экспериментальные исследования			
$h_{\text{слой}}, \text{ м}$	$\frac{1}{r}, \text{ м}^{-1}$	$r \cdot 10^6, \text{ м}$	$H_{кр}, \text{ м}$
0,10	5452·10 <sup>4</sup>	183,40	0,074
0,15	8103·10 <sup>4</sup>	123,40	0,110
0,20	10471·10 <sup>4</sup>	95,50	0,142
0,30	15470·10 <sup>4</sup>	64,64	0,210
0,40	19892·10 <sup>4</sup>	50,27	0,270

ной  $k_{r\varnothing} = dH_{\varnothing}/d(1/r_i)$  зависимостей.

Полученные угловые коэффициенты  $k_{rT} = 13,72 \cdot 10^{-6}$  и  $k_{r\varnothing} = 13,95 \cdot 10^{-10}$ , составляют отношение коэффициентов  $\beta = \frac{dH_{\varnothing}/d(1/r_i)}{dH_T/d(1/r_i)} = 1,016 \cdot 10^{-4}$  раз,

которое характеризует отличие процессов переноса влаги в реальных средах по сравнению с модельными. Таким образом, можно сделать вывод, что коэффициент  $\beta$  характеризует сопротивление переносу влаги в реальных средах. В нашем случае эффективный радиус пор, определялся по

экспериментально полученным значениям  $H_{кр\varnothing} (r_i = 13,575 \cdot 10^{-6} \frac{1}{H_{кр\varnothing}})$ . По

известным величинам интенсивности влагопереноса  $i_g$  можно рассчитать коэффициенты влагопроводности по формуле (7) при  $h_i > H_{кр}$ , и сравнить их с коэффициентом фильтрации влагонасыщенных сред.

После достижения  $h_i = H_{кр}$ , дальнейшее обезвоживание возможно за счет сушки или механического отжатия с последующей досушкой в заводских условиях.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Семенский Е.П. Качество кускового тора в зависимости от вида строения торфяной залежи и переработки торфа-сырца. М.: Инсторф, вып. 18, 1939, с. 89-116.
2. Афанасьев А.Е., Чураев Н.В. Оптимизация процессов сушки и структурообразования в технологии торфяного производства. М.: Недра, 1992. - 288 с.
3. Смирнов В.И. Практическое руководство по организации добычи фрезерного торфа: учебное пособие /В.И. Смирнов, А.Н. Васильев, А.Е. Афанасьев, А.Н. Болтушкин: под ред. В.И. Смирнова. 1-е изд. Тверь: ТГТУ, 2007. - 392 с.
4. Афанасьев А.Е. Технология и комплексная механизация разработки торфяных месторождений: учебное пособие для вузов/ А.Е. Афанасьев, Л.М. Малков, В.И. Смирнов [и др.]. М.: Недра, 1987. - 311 с.
5. Справочник по торфу: под ред. А.В. Лазарева и С.С. Корчунова. М.: Недра, 1982. - 760 с.
6. Шахматов К.Л. Обоснование круглогодичной добычи торфяного сырья и технология производства композиционных теплоизоляционных материалов. Автореферат на соискание ученой степени кандидата технических наук. Тверь: ТГТУ, 2011. - 15 с.
7. Кутаис Л.И. Курс гидротехники в торфяном производстве. 4-е изд. Часть 1. М.-Л.: ГЭИ, 1955. - 400 с.
8. Вахромеев И.И. Гидротехника в нефтяной и горной промышленности: учебное пособие для вузов /И.И. Вахромеев, Т.П. Бебенина, С.И. Часс. М.: Недра, 1984. - 303 с.
9. Корчунов С.С., Могилевский И.И., Абакумов О.Н. Изучение водного режима осушенных торфяных залежей. // Труды ВНИИТП. Вып. 17, М.-Л.: ГЭИ, 1960.
10. Судницын И.И. Закономерности передвижения почвенной влаги. М.: Наука, 1964. - 64 с.
11. Нерпин С.Н., Хлопотенков Е.М. Обобщение закона Дарси для случаев нелинейной фильтрации в ненасыщенных и насыщенных грунтах. // Доклады ВАСХНИЛ. М.: Урожай, 1970, №11, с. 3-17.
12. Кашенко Н.М. Фрактальная модель фильтрации в условиях работы дренажа. // Вестник РГУ им. Канга. 2010, Вып. 4. Калининград. Сер. Физико-математические науки, с. 158-162.
13. Амарян Л.С., Базин Е.Т. Исследование водопроницаемости деформированного торфа. // Изв. МВиССО СССР, сер. «Строительство и архитектура, 1965, №1.
14. Кашенко Н.М., Ковалев В.П. Расчет влагопереноса в почве при расчете параметров дренажа польдерных систем. // Инновационные технологии в мелиорации (Костяковские чтения). М.: Изд. ВНИИА, 2011, с. 80-86.
15. Витков Г.А., Холпанов Л.П., Шерстнев С.Н. Гидравлическое сопротивление и тепломассообмен. М.: Наука, 1994. - 280 с.

16. Гамаюнов Н.И., Миронов В.А., Гамаюнов С.Н. Теплообмен в органических материалах: Процессы обезвоживания. Тверь: ТГТУ, 1998. - 272 с.
17. Базин Е.Т., Копенкин В.Б., Косов В.И. и др. Технический анализ торфа. М.: Недра, 1992. - 431 с.
18. Воларович М.П., Чураев Н.В. Изучение процессов передвижения воды в торфяной залежи методом радиоактивных индикаторов. // Сборник статей «Новые физические методы исследования торфа» М.-Л.: ГЭИ, 1960. с. 192-204.
19. Химический энциклопедический словарь / гл. ред. И.П. Кнунянц. М.: Сов. Энциклопедия, 1983. с. 57.
20. Афанасьев А.Е., Ефремов А.С. Взаимосвязь структурообразования с плотностью жидкости коллоидных капиллярно-пористых тел при сушке. // ГИАБ, №7, 2010. с. 307-314.
21. Горная энциклопедия / Гл. ред. Е.А. Козловский. Т.1. М.: Сов. Энциклопедия, 1984.
22. Чураев Н.В. Методы исследования водных свойств и структуры торфа с помощью радиоактивных индикаторов. // Сб. статей «Новые физические методы исследования торфа» М.-Л.: ГЭИ, 1960. с. 125-137.
23. Антонов В.Я., Малков Л.М., Гамаюнов Н.И. Технология полевой сушки торфа. М.: Недра, 1981. - 239 с.
24. Гамаюнов Н.И. Процессы переноса энергии и вещества. Тверь: ТГТУ, 2004. - 206 с.
25. Афанасьев А.Е., Ефремов А.С. Способ определения средней плотности связанной жидкости коллоидных и капиллярно-пористых тел. Патент, RU № 2380683. Опубликовано 27.01.2010 г. Бюл. №3.
26. Афанасьев А.Е., Ефремов А.С. Влияние структурообразования на плотность жидкости коллоидных капиллярно-пористых тел. // ТОХТ, 2011. Том 46. №1. с. 119-125.
27. Михайлов А.В., Кремчев Э.А., Нагорнов Д.О., Большунов А.В. Перспективы развития новых технологий добычи торфа. // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). Москва: «Горная книга», 2010. № 9. стр. 189-194.
28. Кремчев Э.А., Нагорнов Д.О. Технологические аспекты обеспечения круглогодичной полевой сушки торфа для нужд малой энергетики. // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). Москва: «Горная книга», 2010. № 12. стр. 260-265.
29. Базин Е.Т., Косов В.И., Миняев С.В. Влияние технологических и физикохимических воздействий на фодопроницаемость и структуру торфа. // Торфяная промышленность, 1981. №7, с. 17-20.
30. Лиштван И.И., Король Н.Т. Основные свойства торфа и методы их определения. — Минск: Наука и техника, 1975. — 320 с. **ГИАБ**

#### **КОРОТКО ОБ АВТОРАХ**

Кремчев Э.А., Афанасьев А.Е. — Санкт-Петербургский государственный горный университет, e-mail:rectorat@spmi.ru.



#### **ПРОГРАММНЫЕ ДОЗУНГИ, СПОСОБНЫЕ ОБЪЕДИНИТЬ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКУЮ ИНТЕЛЛИГЕНЦИЮ**

Обширные знания и инженерная смекалка помогут организовать умный и сложный бизнес, недоступный рейдерам, и, таким образом, спасут экономику от развала.