

УДК 622.271

*Л.А. Смородинова*

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ЗАТРАТ  
В ТЕХНОЛОГИЧЕСКОМ ПРОЦЕССЕ НА КАРЬЕРАХ  
СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ**

Семинар № 16

**Н**евозобновляемость минеральных ресурсов в масштабах физического времени или продолжительности существования человеческого общества и ограниченность их в пределах доступных глубин литосферы создали проблему рационального использования природных богатств к началу второго тысячелетия.

Мировое хозяйство 20-го столетия характеризовалось быстрыми темпами потребления топлива, которое использовалось для получения тепла, электроэнергии, для функционирования транспортных средств и т.д.

Во время энергетического кризиса 70-х гг. прошлого века стало очевидным, что следует всячески уменьшать долю энергетических затрат в себестоимости продукта.

В настоящее время при выборе технологического процесса на открытых горных работах важное внимание уделяется денежным затратам и величине ущерба, наносимого окружающей среде.

Основными направлениями повышения эффективности работы на карьерах являются рациональная структура технических средств, оснащение более совершенными машинами и механизмами, оказывающими наименьшее воздействие на окружающую среду и имеющими наименьшие удельные денежные затраты для производства единицы продукции (ткм).

Характерное для различных отраслей разнообразие типов бурового, экскавационного и транспортного оборудования, а также вспомогательных технических средств, широкий диапазон природных условий, мощностей предприятий явились причиной существования на производстве большого числа вариантов технологических процессов. В большинстве случаев они не отвечают рациональной структуре технических средств, зачастую не учитывая природных факторов и комплексности оборудования. Это приводит к занижению коэффициента использования оборудования и не является ресурсосберегающим мероприятием.

В технологическом процессе задействованы машины и механизмы, создание и эксплуатация которых требуют разного количества энергии. Работа технических средств оказывает негативное воздействие на окружающую среду, и восстановление ее до исходного состояния также требует затрат энергии.

Таким образом, наиболее важной характеристикой применения различных технологических процессов и разных машин и механизмов являются совокупные энергетические затраты, включающие добычу полезных ископаемых, получение необходимых материалов, электроэнергию, топлива, изготовление машин и механизмов, последующую их эксплуатацию, нейтрализацию их воздействия на окружающую среду, экс-

плуатацию трудовых ресурсов и отнесенные к объему конечной продукции.

Дефицит энергетических ресурсов обусловил энергетический подход к выбору технологического процесса на карьерах строительных материалов.

В настоящее время таких исследований на открытых горных работах не проводилось.

При формировании структуры технических средств на открытых горных работах важное значение имеют удельные энергетические затраты.

Энергетические затраты складываются из энергозатрат на изготовление технических средств, задействованных в транспортно-добычном комплексе на открытых горных работах, а также сопутствующей инфраструктуры, выполнения непосредственно технологического процесса и восполнения экологического ущерба, нанесенного окружающей среде.

В свою очередь энергетические затраты, идущие на создание технических средств и сопутствующей инфраструктуры, определяются суммой энергозатрат, затрачиваемых на получение соответствующих компонентов.

Энергетические затраты на получение используемого металла ( $E_{мет.}$ ) определяются по формуле:

$$E_{мет.} = k(E_{доб.} + E_{пот.} + E_{обог.}) + E_{пл.} + E_{мех.обр.},$$

где  $k$  – коэффициент, обусловленный содержанием искомого компонента в руде;  $E_{доб.}$  – энергетические затраты, необходимые для добычи руды, Дж/т;  $E_{пот.}$  – энергетические затраты, связанные с потерей полезного ископаемого при добыче, Дж/т;  $E_{обог.}$  – энергетические затраты, необходимые для обогащения руды, Дж/т;  $E_{пл.}$  – энергетические затраты, идущие на выплавку металла, Дж/т;  $E_{мех.обр.}$  – энергетические затраты меха-

нической обработки металлоизделий, Дж/т.

Помимо этого возможны затраты энергии на прокат, рафинирование или еще какие-либо промежуточные операции.

При изготовлении различных технических средств используются разные материалы, на получение которых затрачивается энергия.

Энергетические затраты, пошедшие на изготовление машин и механизмов, ( $E_{т.ср.}$ ) являются суммой энергозатрат  $i$ -х компонентов технического средства:

$$E_{т.ср.} = \sum_{i=1}^n E_i,$$

Где  $n$  – количество компонентов.

Энергетические затраты изготовления технического средства необходимо отнести к сроку его службы ( $t_{т.ср.}$ ):

$$E_{т.ср. уд.} = \frac{E_{т.ср.}}{t_{т.ср.}}$$

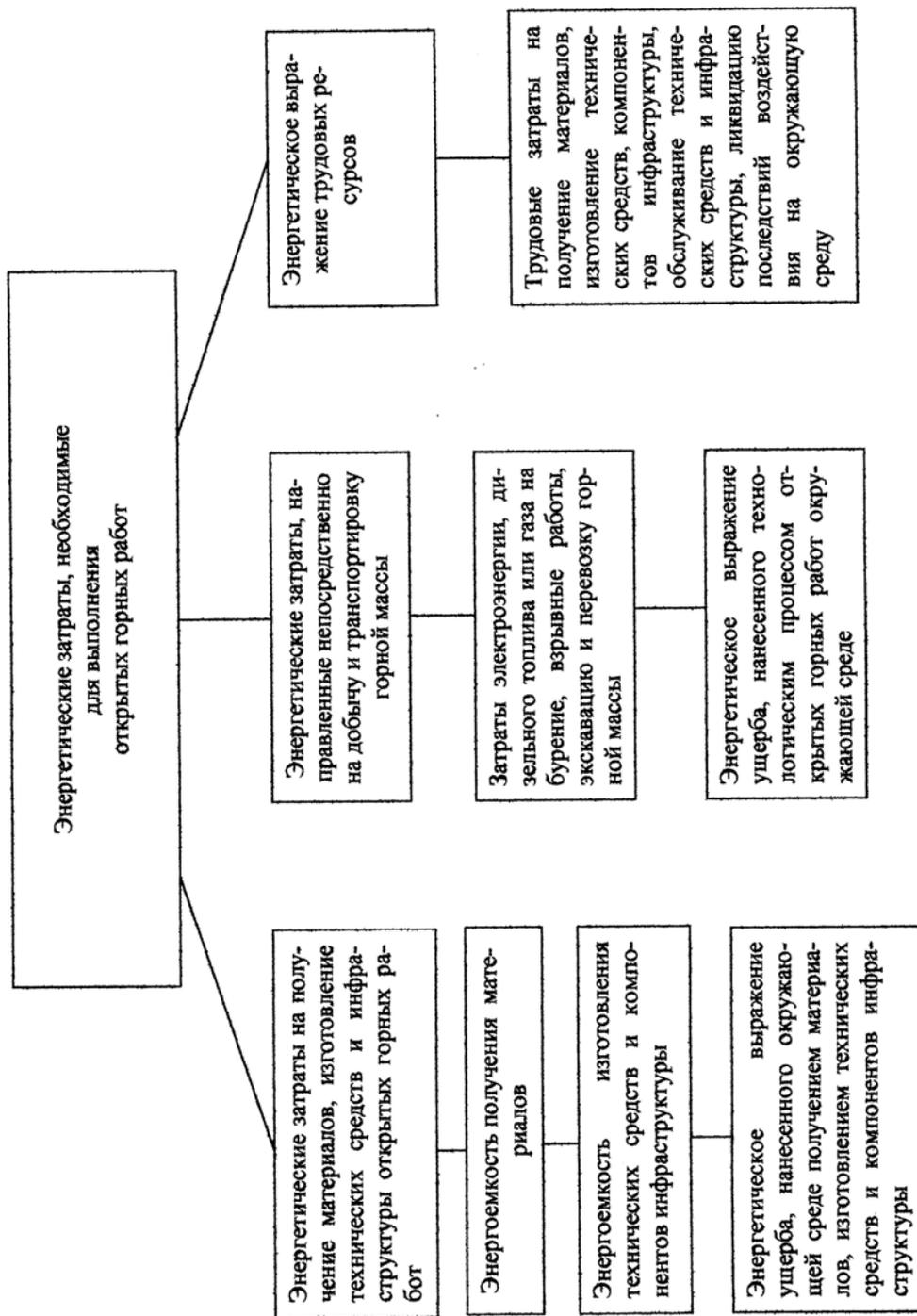
Энергетические ресурсы ( $E_{инфр.}$ ), затрачиваемые при сооружении элементов сопутствующей инфраструктуры, суммируются из энергозатрат, идущих на изготовление соответствующих компонентов и относятся к сроку службы каждого из них ( $t_{инфр.}$ ):

$$E_{инфр.} = \sum_{i=1}^m E_i.$$

$$E_{инфр. уд.} = \frac{\sum_{i=1}^n E_{инфр.i}}{t_{инфр.}}$$

При получении различных материалов, технических средств и компонентов инфраструктуры наносится ущерб окружающей среде.

При изготовлении каждой единицы парка технических средств или элементов инфраструктуры определяются энергетические затраты, позволяющие



нейтрализовать воздействие ущерба окружающей среде, которые затем относятся к сроку службы искомого технического средства или элемента инфраструктуры.

Энергетические затраты, идущие на выполнение технологического процесса, определяются расходом энергоресурсов (электроэнергии, дизельного топлива, газа, угля и т.д.) на добычу и перевозку горной массы.

Энергетические затраты, компенсирующие или предотвращающие вредное воздействие открытых горных работ на окружающую среду, складываются из энергозатрат, ликвидирующих загрязнение техническими средствами атмосферы, водных источников и почвы. Атмосфера загрязняется выбросами из трубы в случае эксплуатации транспортных и погрузочно-разгрузочных средств, работающих на дизельном топливе. Загрязнение водных источников происходит при сбросах загрязняющих веществ в водоемы. Размещение твердых отходов способствует загрязнению почвы.

При выполнении горных работ затрачиваются трудовые ресурсы. Их величину также можно оценить с точки зрения энергетики.

На рисунке представлена последовательность определения удельных энергетических затрат на 1 тонну готовой

продукции, которой в данном случае является горная масса.

Самой важной задачей народного хозяйства страны является обеспечение уровня жизни человека. Для ее выполнения энергетические ресурсы затрачивались на строительство жилых домов, получения продуктов питания, одежды, обуви и т.д., защиты жизненных ценностей трудящегося. В целом это соответствует отношению энергоресурсов, затраченных народным хозяйством, к численности населения. В 2002 году в Российской Федерации было потреблено 878,4 млрд кВт-ч. электроэнергии и использовано 277,9 млн т условного топлива природных топливных ресурсов на переработку в другие виды топлива. 277,9 млн. т условного топлива составляют 2262,4 млрд. кВт-ч. Суммарные энергетические ресурсы, использованные в 2002 году, составили 3140,8 млрд. кВт-ч. Население в 2002 году составляло 145,2 миллиона человек. На 1 одного человека в 2002 году было затрачено 21630,854 кВт-ч. в год или 10,86 кВт-ч на 1 час рабочего времени 1 трудящегося.

Просуммировав все выше указанные энергетические затраты и отнеся их к годовой производительности карьера получим энергоемкость 1 тонны продукции. По этому критерию целесообразно выбирать вариант освоения и оснащения карьера.

### ***Коротко об авторах***

*Смординова Л.А.* – Проектно-изыскательский и научно-исследовательский институт промышленного транспорта.



УДК 532.6:542.47

А.Е. Афанасьев, В.С. Дорогов, Ю.Л. Ковальчук,  
Ю.С. Денисова

**ИЗМЕНЕНИЕ ФИЗИКО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ  
ХАРАКТЕРИСТИК ПРИ СУШКЕ  
КРОШКООБРАЗНОГО ТОРФА**

Семинар № 16

Сложные рыночные отношения современной России выдвигают новые требования к любому научному исследованию. Приоритетными направлениями становятся те, которые ориентированы на создание новых, экономически целесообразных технологий или совершенствование старых с учетом минимальных затрат. В любой области промышленности выделяются ключевые моменты, по которым и ведутся научные изыскания. Для торфяной отрасли наиболее актуальными является вопросы, связанные с созданием оптимальной толщины расстила, позволяющей реализовать главную задачу торфяного производства – удаление максимального количества воды.

Получение крошкообразного торфа предусматривает создание рыхлого слоя толщиной  $h \approx 33...44$  мм, достигающего конечной влажности по нормативам за двое суток за счет использования тепловой энергии Солнца. Толщина сушимого слоя  $h$  определяет интенсивность удаления из торфа воды, а, следовательно, цикловые и сезонные сборы и, в итоге, себестоимость единицы продукции (о чем было сказано выше).

Многие годы уделялось большое внимание интенсификации процесса сушки крошкообразного торфа путем снижения толщины слоя  $h$  до 4 мм, что

нашло широкое отражение в научных статьях и диссертациях.

Ранее выполненные исследования на кафедре торфяных месторождений показали наличие степенной зависимости длительности сушки от начальной толщины слоя  $h_n$  или удельной загрузки  $P_c$  [1]:

а)  $\tau = f(h_n^{1,67})$  в слоях низинного и верхового торфа толщиной 8 – 20 мм;

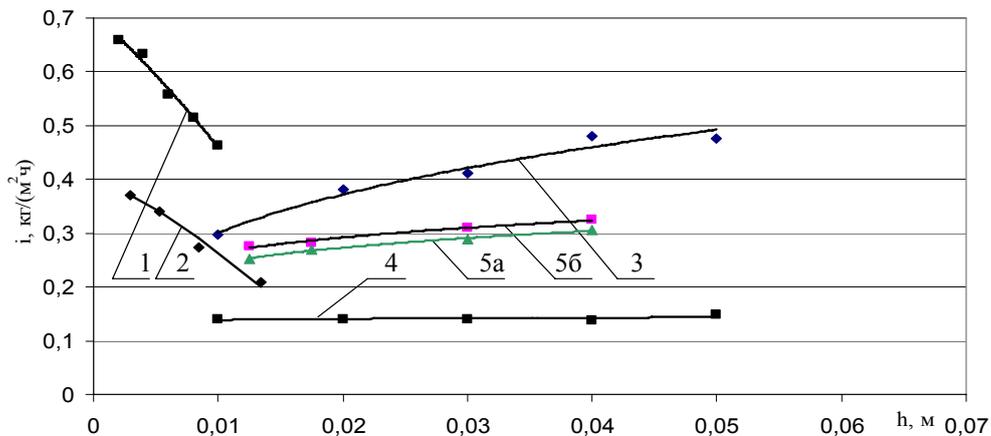
б)  $\tau = f(h_n^{1,2})$  – для низинной залежи при уборке торфа пониженной влажности;

в)  $\tau = f(h_n^{1,36})$  – для верховой залежи в слоях, применительно к однодневному циклу и менее.

В общем виде зависимость имеет вид  $\tau = C \cdot h_n^b$ , (1)

где  $C$  - коэффициент, учитывающий тип торфа, толщину, начальное и конечное влагосодержание и другие факторы.

Анализ этих формул свидетельствует о безусловной эффективности сушки крошкообразного торфа при снижении  $P_c$ , т.е. при уменьшении глубины фрезерования (рис. 1, кривые 1, 2). Однако ряд исследователей отмечал обратную закономерность указанной выше зависимости  $i = f(h)$  (рис. 2). При этом характерным является наличие



**Рис. 1. Кривые интенсивности сушки:** 1 - в КИК (влагоизолированно),  $d_{ср} = 2$  мм; 2 - в крупногабаритной КИК,  $d_{ср} = 2$  мм; 3 - полевые опыты (июнь); 4 - полевые опыты (сентябрь); 5 - сушка в сосудах с дном из марли, 5а - среднее из 4-х; 5б - среднее из 3-х опытов

максимума, на вероятность появления которого уже указывалось ранее [2].

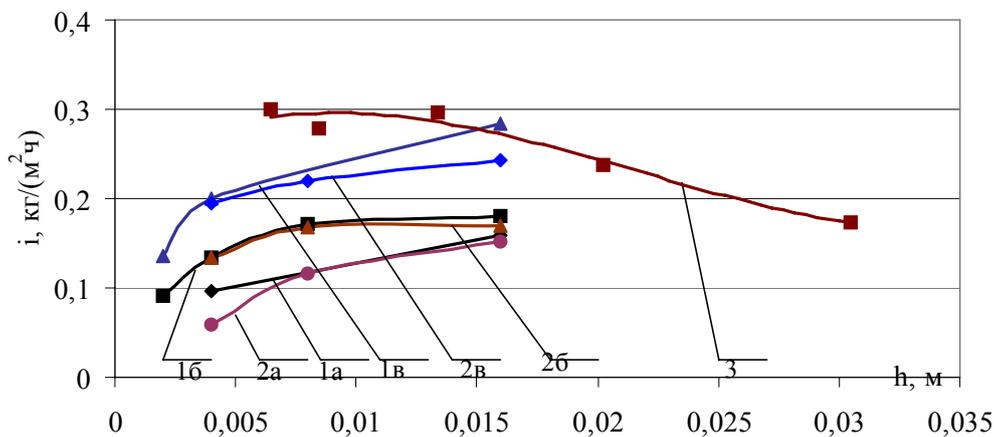
Для линеаризации подобных экстремальных зависимостей, для упрощения обработки и интерпретации данных нами предлагалась следующая модель (рис. 3) [3]:

$$\lg\left(\frac{i}{h_n}\right) = f(\lg h_n), \quad (2)$$

где  $i$  - интенсивность сушки крошкообразного торфа,  $\text{кг}/(\text{м}^2\text{ч})$ ;  $h$  - толщина расстила, м.

Тогда (из рис. 3)  $\lg\frac{i}{h} = k \lg h + a$ . Пусть

$$a = \lg A = \lg\left(\frac{i}{h}\right)_0,$$



**Рис. 2. Кривые интенсивности сушки:** 1 - в КИК,  $d_{ср}=2$ мм; 1а -  $q=0,25$ ; 1б -  $q=0,5$ ; 1в -  $q=0,86$ ; 2 -  $d_{ср}=4$ мм, 2а -  $q=0,25$ ; 2б -  $q=0,5$ ; 2в -  $q=0,86$   $\text{кВт}/\text{м}^2$ ; 3 - полевые опыты

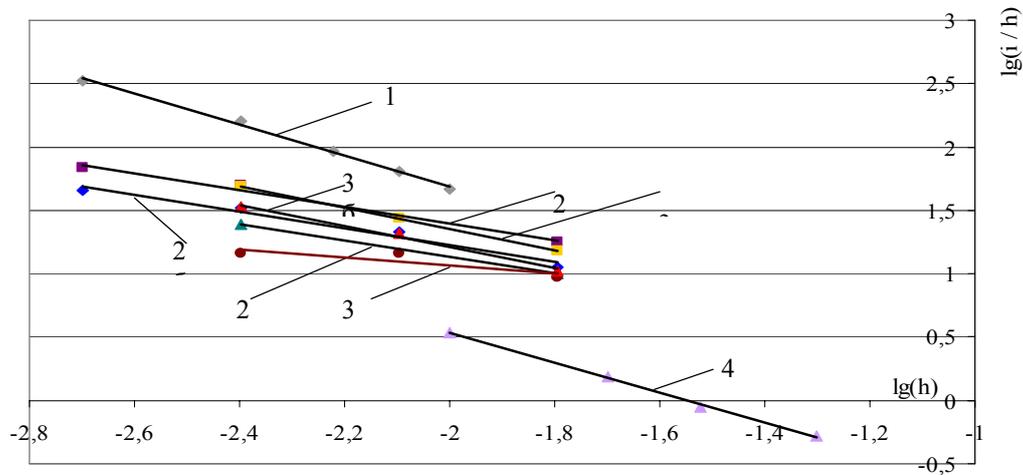


Рис. 3. Зависимость  $\lg(i/h)=f(\lg/h)$  для разных условий сушки: 1 - в КИК,  $d_{cp} = 2$  мм; 2 -  $d_{cp} = 2$  мм; 2а -  $q = 0,25$ ; 2б -  $q = 0,5$ ; 2в -  $q = 0,86$ ; 3 -  $d_{cp} = 4$  мм, 3а -  $q = 0,25$ ; 3б -  $q = 0,5$ ; 3в -  $q = 0,86$  кВт/м<sup>2</sup>; 4 - в комнатных условиях

Условия опыта	A	k	Источник
КИК, влагоизолированно, $h=2...10$ мм	0,179019	-1,22	[4]
Конвективный режим, $h=10...50$ мм	0,015171	-1,17	[3]
Крупногабаритная КИК, $h=3...14$ мм	0,042335	-1,38	[4]
Полевые исследования, $h=7...30$ мм	0,063694	-1,32	[4]
Полевые исследования, $h=10...50$ мм	1,233389	-0,69	[5]
В сосудах с дном из марли (а), $h=12...40$ мм	0,520116	-0,85	[5]

тогда  $\lg \frac{i}{h} = k \lg h + \lg A$ . После потенцирования  $\frac{i}{h} = A \cdot h^k$ .

Отсюда  

$$i = A \cdot h^{k+1} \quad (3)$$

Расчеты показали, что предложенная модель описывает зависимость  $i = f(h)$  с максимальным относительным отклонением  $E = 12$  %, при этом в 60 % случаев отклонение не превышало 7 %. Коэффициент  $k$  в большинстве опытов принимал отрицательные значения (рис. 3, таблица).

Длительность цикла добычи можно определить как

$$\tau = \frac{P_c}{i} (W_n - W_k) \quad (4)$$

где  $P_c$  - загрузка торфа по сухому веществу, кг/м<sup>2</sup>;  $W_n$  и  $W_k$  - соответственно начальное и конечное влагосодержание сушеной продукции, кг/кг.

Тогда с учетом (3)

$$\tau = \frac{P_c}{A \cdot h^{k+1}} (W_n - W_k) \quad (5)$$

Выразив  $P_c$  через толщину расти-ла  $h_n$  и насыпную плотность торфа по абсолютно сухому веществу  $\gamma_c$ , получим

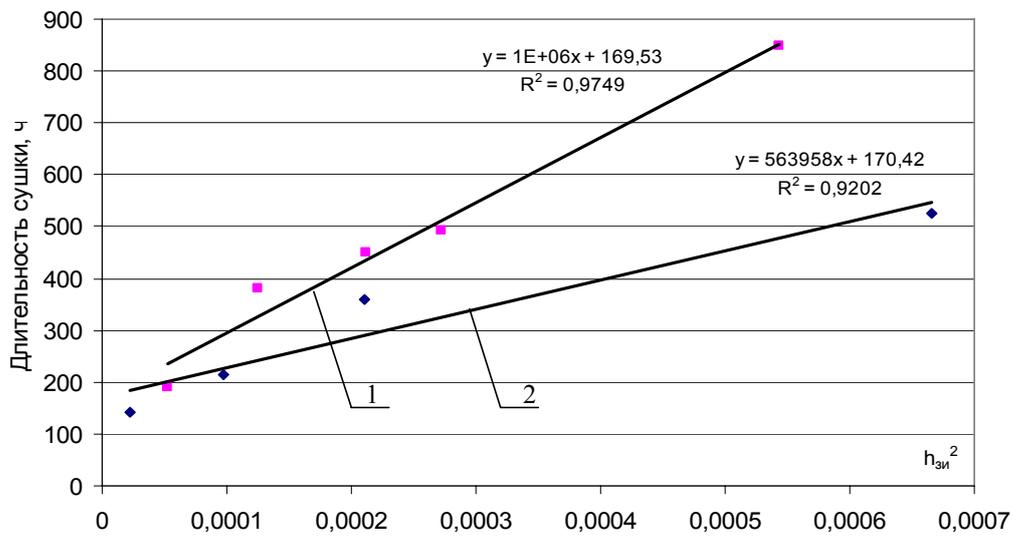


Рис. 4. Проверка линейности зависимости  $\tau = f(h_{3и}^2)$ : 1, 2 – конвективные условия сушки (комнатные условия)

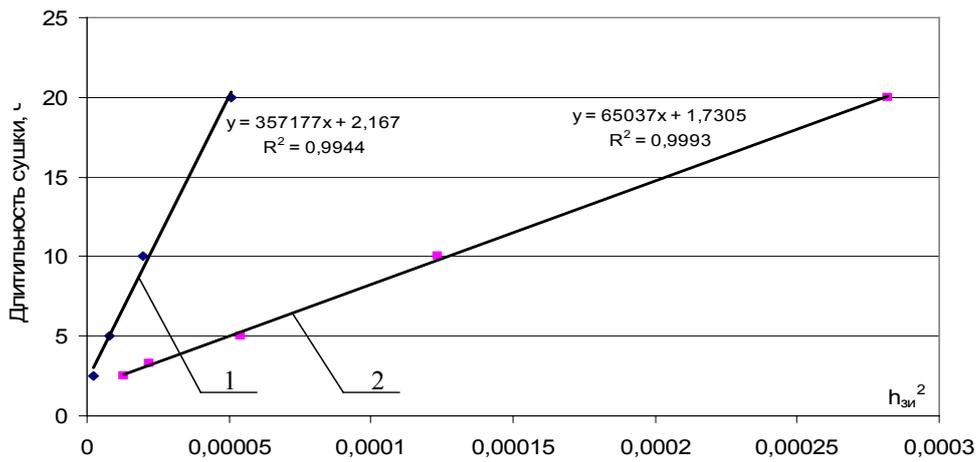


Рис. 5. Проверка линейности зависимости  $\tau = f(h_{3и}^2)$ : 1, 2 – радиационно-конвективные условия сушки (в камере искусственного климата)

$$\tau = \frac{P_c}{A} (W_H - W_K) h_H^{-(1+k)} =$$

$$= h_H \gamma_c (W_H - W_K) h_H^{-(1+k)} / A = \frac{\gamma_c (W_H - W_K)}{A} h_H^{-k}$$

Обозначив  $\frac{\gamma_c \cdot (W_H - W_K)}{A} = C^*$ ,

$(-k) = b^*$ , получим уравнение (1) с учетом применяемой модели:

$$\tau = C^* \cdot h_H^{b^*}. \quad (6)$$

Проведенные нами исследования зависимости длительности цикла от толщины  $\tau = C^* \cdot h_n^b$  для конвективных и радиационно-конвективных условий позволили выявить, что коэффициент  $b$  меняется от 0,7 до 1,4, определяя возрастающую ( $b < 1$ ) или убывающую ( $b > 1$ ) ветвь зависимости  $i = f(h_n)$ .

Таким образом, ключевым вопросом торфяного производства является повышение интенсивности испарения влаги  $i$  за счет наиболее полного использования солнечного тепла и тепла воздушных масс. В свою очередь,  $i$  определяется той частью толщины расстила, из всех слоев которой испаряется влага, так называемой зоной испарения  $h_{zu}$  ( $h_{zu} = 10 \div 30 \text{ мм}$ ) [1, 2, 4].

Для технологических расчетов  $h_{zu}$  можно воспользоваться формулой [2]:

$$h_{zu} = h_n \cdot \sqrt{\frac{1}{1+W}}, \quad (7)$$

где  $W$  - текущее влагосодержание, кг/кг.

Интерес представляет функция вида  $\tau = f(h_{zu}^2)$ . Задаваясь одинаковым начальным влагосодержанием  $W_n$  для разных толщин, получим следующие результаты (рис. 4, 5). При этом зависимость, построенная по полученным значениям, для радиационно-конвективных условий сушки стремится к линейной с коэффициентом корреляции  $R^2 \approx 1$ . Для конвективных условий из-за изменения режима сушки разброс точек наблюдается в большей степени. На подобный, прямолинейный характер зависимости  $\tau = f(h_{zu}^2)$  указывалось ранее [2, 3].

Таким образом, исследования по определению оптимальной толщины расстила крошкообразного торфа с позиций максимального испарения являются актуальными и ведут к увеличению сборов продукции, и, соответственно, к повышению конкурентоспособности предприятий.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Смирнов В.И. Исследование сушки фрезерного торфа при послыном расстиле крошки // Тр. КПИ. – 1968. – Вып. 2(15). – С. 61-67.
2. Афанасьев А.Е. Структурообразование коллоидных и капиллярно-пористых тел при сушке: Монография. Тверь: ТГТУ, 2003. – 189с.
3. Афанасьев А.Е., Дорогов В.С. Методика расчета характеристик сушки фрезерного торфа // Вестник ТГТУ. Научный журнал. Тверь: ТГТУ. – 2005. – Вып. 6 – С. 142-146.
4. Столбикова Г.Е. Исследование процессов сушки низинного фрезерного торфа в тонком расстиле при коротких циклах производства: Дис. ... канд. техн. наук. Калинин: КПИ, 1969. – 144с.
5. Варенцов В.С., Горенштейн А.Б., Преображенский В.А., Чубаров Н.Д. Фрезерный торф. М.-Л.: Госэнергоиздат, 1955. – С. 41.

## Коротко об авторах

Афанасьев А.Е. – академик ПАНИ, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Технология и комплексная механизация разработки торфяных месторождений»,  
 Дорогов В.С. – аспирант кафедры «Технология и комплексная механизация разработки торфяных месторождений»,  
 Ковальчук Ю.Л. – соискатель кафедры «Технология и комплексная механизация разработки торфяных месторождений»,  
 Денисова Ю.С. – студентка 5-го курса специальности «Открытые горные работы»,  
 Тверской государственной технической университет.

