

## К ВОПРОСУ УМЕНЬШЕНИЯ ЭНЕРГОЗАТРАТ ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ ТОПЛИВНЫХ БРИКЕТОВ

Канд. техн. наук, доц. **БЕРЕЗОВСКИЙ Н. И.**

*Белорусская государственная политехническая академия*

При получении фрезерного торфа и в дальнейшем топливных брикетов необходимо удалить значительное количество влаги, вследствие чего решающим звеном технологического процесса обогащения торфа является сушка. В подавляющем большинстве случаев она выполняется в естественных условиях за счет прямого использования солнечной радиации и теплоты воздушных масс.

Чем суше исходный материал, тем меньше необходимо удалять воды и тем быстрее торф достигает требуемой влажности. Если учесть, что влажность торфа в эксплуатационном слое после осушения при фрезерном способе равна 75—82 %, а уборочная влажность фрезерной крошки может изменяться до 60 % в зависимости от назначения получаемой продукции, то для получения готовой продукции или сырья для последующей переработки в топливные брикеты потребуется удалить от 1,5 до 4 т воды на 1 т торфа. Поэтому технология получения сырья и готовой продукции направлена на решение задачи удаления воды из торфа наиболее экономичными методами.

На сушку фрезерного торфа влияют три группы факторов: почвенные, метеорологические и технологические. Первые две группы относят к природным (естественным) факторам. К основным почвенным факторам принадлежат: расположение уровня грунтовых вод, влажность сохнувшего слоя, тип и степень разложения и наличие мерзлоты в залежи. К метеорологическим факторам, влияющим на сушку фрезерного торфа, относятся: температура и влажность воздуха, скорость и направление его движения, солнечная радиация, атмосферные осадки.

Параметры влажного воздуха связаны между собой термодинамическими соотношениями, и воздух может содержать разное количество водяного пара — от нуля до максимального значения, определяемого наибольшим парциальным давлением пара в данных конкретных условиях. Величина относительной влажности воздуха характеризует его способность насыщаться влагой: чем меньше  $\phi$ , тем при прочих равных условиях (например параметры  $p$  — атмосферное давление и  $T$  — температура воздуха) больше сушильная способность влажного воздуха. При  $\phi = 100$  % воздух является насыщенным и изменение влажности торфа  $W_1$  идет согласно кривой сушки.

Воздушная масса представляет собой большой объем воздуха, движущийся как одно целое, образуя своеобразное течение в циркуляции атмосферы. Она характеризуется определенным уровнем атмосферного давления (высокое или низкое), температуры, влажности и др. В зоне атмосферных фронтов, которые занимают пространство от 5 до 10 километров, наблюдаются резкие перепады атмосферного давления, температуры, влажности. Если при устойчивой погоде атмосферное давление изменяется на 5—10 миллибар, а температура — на 5—10 градусов

то в зоне атмосферного фронта они изменяются соответственно на 15—25 миллибар и 15—20 градусов.

Быстро нарастая, такие перепады формируют «влажную жару», что создает неблагоприятные условия. Для нахождения более тесных корреляционных связей между влажностью торфа, температурой и относительной влажностью воздуха выбраны заводы, которые находятся ближе в зоне контролируемых факторов (табл. 1). Составление уравнений множественной регрессии позволит более точно определить корреляционные связи между функцией и независимыми аргументами. Используя сгруппированные статистические данные, получим уравнения трехчленной регрессии, где  $\varphi$  и  $T$  являются независимыми переменными:

для брикетного завода «Березинский»

$$W_1 = 10,5 + 0,45 \varphi - 0,25 T; \quad (1)$$

для брикетного завода «Сергеевичский»

$$W_1 = 89,94 + 0,08 \varphi - 3,05 T. \quad (2)$$

Таблица 1

Сгруппированные статистические данные ( $\varphi$ ,  $T$  и  $W_1$ )

Показатель	1993	1994	1995	1996	1997	Среднее значение
Температура воздуха $T$ , °С	15,1	16,0	16,7	16,6	15,3	15,9
Относительная влажность $\varphi$ , %	75	72	69	71	73	72
Влажность торфа по заводу «Березинский» $W_1$ , %	48,6	46,6	45,8	46,5	46,4	46,8
То же, по заводу «Сергеевичский»	44,9	48,3	44,2	50,0	48,7	47,2

Анализ показывает, что наибольшая вариабельность влажности торфа имеет место по брикетному заводу «Сергеевичский», коэффициент вариации величины  $W_1$  в среднем составляет 5 %, по заводу «Березинский» —  $v_w = 2$  %. Коэффициенты вариации по влажности и температуре воздуха составляют соответственно 2,8 и 4,1 %.

Изучение множественных регрессий по брикетному заводу «Березинский» показало, что наиболее тесно с влажностью фрезерованного торфа связана относительная влажность воздуха (коэффициент корреляции  $r_{w\varphi} = 0,8$ ).

Практически функциональна связь влажности торфа с каждым аргументом по брикетному заводу «Сергеевичский» ( $r_{wT} = -0,95$ ;  $r_{w\varphi} = 0,89$ ), причем увеличение влажности воздуха более существенно сказывается на уменьшении влагопереноса из торфа, чем температура воздуха.

В данных условиях по республике колебания атмосферного давления обычно не превышают 5—10 мбар, температура воздуха 10 °С, относи-

тельная влажность воздуха 10 %, что создает определенные сочетания метеорологических факторов. Это может формировать среду, при которой ухудшается сушка торфа. Известно, что понижение температуры сопровождается повышением содержания кислорода в воздухе, а потепление — уменьшением его количества, особенно когда потеплению сопутствуют понижение атмосферного давления и повышение влажности. Все это также приводит к плохим условиям для удаления влаги из торфа.

На изменение влажности торфа большое влияние оказывают относительная влажность воздуха, его температура и атмосферное давление. Между этими факторами существует тесная функциональная связь, используя которую можно прогнозировать по метеоданным периоды и время сушки и уборки торфа для северных и южных областей. Это дает более точный расчет циклового и суточного сборов торфа, а в конечном итоге — составление программы добычи на сезон по каждому региону, что приведет к значительному уменьшению (до 20 %) энергозатрат (топливо, электроэнергия) при добыче и перевозке сырья к месту его переработки.

Следует отметить, что между основными свойствами торфа, его составом существует тесная корреляционная связь, а многообразие характеристик торфа предопределяет возможность его применения в энергетике, сельском хозяйстве, химической промышленности.

Исходя из результатов исследований по энергоемкости добычи и переработки торфа, можно сделать вывод о необходимости проведения корреляционного анализа с целью получения количественных зависимостей, которые могут характеризовать взаимосвязь факторов и служить основой для дальнейшего прогнозирования характеристик исследуемых объектов и регулирования энергозатрат при переработке. Расчетным путем статистические данные могут дать более точную оценку сырья для разных типов сушилок и мест их расположения, что приведет к улучшению технико-экономических показателей, их планирования и прогнозирования при изменении характеристик сырья и условий работы заводов, а также оказать влияние на энергоемкость процесса получения бытового топлива. Результаты исследований позволили выбрать для корреляционного и регрессивного анализов факторы, изменение которых более чувствительно влияет на энергоемкость, производительность и качество брикетов.

Расчет коэффициентов корреляции связи влажности сфрезерованного торфа, его зольности и плотности проведен для торфобрикетных заводов (ТБЗ) республики за 10 лет по всем типам сушилок и областям. При числе наблюдений  $n = 360$  ( $10 \times 36$ ) получены низкие коэффициенты регрессии ( $r$ ), при  $n = 310$   $r_{wac} = 0,54$  и  $r_{wp} = 0,55$ . В табл. 2 представлены результаты корреляционного анализа ТБЗ республики с различными типами сушилок и зонами их расположения. Так, анализ между влажностью торфа, его зольностью ( $A^c$ ) и плотностью ( $P$ ) по типам сушилок показал, что с относительной точностью до 5 % можно использовать уравнение регрессии для пневмогазовых сушилок (ПГ).

Результаты статистических анализов связей свойств торфа  
и технологических показателей по типам сушилок и месту их расположения

Объект исследования	Коррелирующий признак		Уравнение регрессии
	$y$	$X$	
По типам сушилок			
Пневмогазовая	$W$	$P$	$y = 28,1 + 0,04X$
	$Q$	$W$	$y = 0,128X - 3,0$
	$W$	$A^c$	$y = 28,8 + 0,8 X$
Пеко	$Q$	$W$	$y = 0,075X - 1,7$
	$A$	$Q$	$y = X/(0,025X - 0,56)$
Цемаг	$A$	$W, p$	$y = 55,5 + 0,39X_1 - 0,04 X_2$
	$Q$	$W$	$y = 0,114X - 2,86$
По месту расположения			
Брестская обл.	$W$	$A^c$	$y = 35,2 + 0,51 X$
Гродненская обл.	$W$	$P$	$y = 40,8 + 0,018 X$

Хорошая связь  $W(A^c)$  наблюдается по Брестской области. По Гродненской области связь  $W(p)$  имеет функциональную зависимость, что может служить основой для промышленного применения прибора с радиоизотопным источником по определению зольности в потоке и через модели (табл. 2) осуществить переход к расчету влажности сырья, так как влагомеры для измерения влажности в потоке не дали хороших результатов. Проведенные опыты с осоковым, древесно-осоковым и магелланикум торфами показали, что относительная погрешность прибора составляет 5—10 % при определении зольности торфа по сравнению со стандартным.

Характер изменчивости свойств торфа находился по коэффициенту вариации и среднеквадратическому отклонению, а адекватность полученных парной и множественной регрессий — по критерию Фишера, который для приведенных в табл. 2 уравнений не превышал табличного значения.

Анализ корреляционных связей энергоемкости заводской переработки торфа с влажностью сырья и брикетов показал, что наибольшая вариабильность в среднем по годам малая и не превышает 6 %, а по объемам выработки брикетов она больше на заводах с пневмогазовыми сушилками и в среднем составляет 20 %. На заводах с сушилками Пеко коэффициент вариации в среднем равен 7,1 % при колебаниях от 3,7 (ТБЗ «Усяж») до 11,03 % (ТБЗ «Березинский»). Коэффициент вариации выработки на заводах с сушилками Цемаг в среднем равен 9,2 % при колебаниях от 2,7 % (ТБЗ «Ганцевичский») до 20,5 % (ТБЗ «Ляховичский»). Изучение корреляционных связей показало, что наиболее тесно с расходом электроэнергии  $A$  связан объем выработки брикетов  $G$ . В среднем коэффициент корреляции равен 0,74 (ПГ),  $r_{AG} = 0,62$  (Цемаг),  $r_{AG} = 0,73$  (сушилки Пеко). Практически функциональная связь расхода электроэнергии с выработкой брикетов ( $r_{AG} = -0,88$ ), влажностью сырья ( $r_{AW1} = 0,99$ ) и брикетов ( $r_{AW2} = 0,81$ ) на заводе «Ганцевичский». Влажность сырья и брикетов наиболее тесно связана с расхо-

дом электроэнергии на заводах с сушилками Цемаг ( $r_{AW1} = 0,59$  и  $r_{AW2} = 0,82$ ). Причем расход электроэнергии теснее связан с влажностью готовой продукции  $W_2$ , чем с влажностью сырья:

$$A = 1,14W_1 - 0,09; \quad (3)$$

$$A = 2,8 W_2 + 11,0.$$

Как известно, на сушку торфа затрачивается до 80 % количества теплоты, расход которой во многом определяется влажностью поступающего сырья. Были выявлены корреляционные зависимости для всех типов сушилок. Анализ полученных данных показывает, что наибольшее влияние влажности на потери сырья оказывается в пневмогазовых сушилках. Проверка зависимостей для условий текущего времени показала, что сравнение расчетных значений энерго- и теплотрат с фактическими величинами дает относительную погрешность расчетов не более 7 %. С увеличением влажности сырья расход теплоты на сушку растет в сушилках Цемаг сильнее.

Многолетние наблюдения физико-механических свойств торфа позволили получить уравнения множественной регрессии для заводов с сушилками Цемаг, связывающие расход электроэнергии, влажность сырья и его плотность. Из уравнений (табл. 1) следует, что значительное влияние на расход электроэнергии оказывает увеличение влажности сырья и уменьшение насыпной плотности торфа, изменение которых является наиболее существенным возмущающим воздействием процесса сушки и прессования торфа. Они также нарушают связь между сушильным агентом (пар, воздух, вода) и влажностью сушенки, что приводит к уменьшению производительности ТБЗ и ухудшению качества брикетов. Для пневмопароводяных сушилок затраты теплоты меньше, чем для остальных, а с увеличением влажности сырья чувствительность объекта к дисперсии характеристик поступающего сырья возрастает. Эффективность теплоотдачи объясняется предварительным разогревом торфа и частичным удалением из него влаги в корпусах второго эффекта, где сушильным агентом служит вода, предварительно нагретая в теплообменнике.

Приведенные зависимости (табл. 2) получены на основании статистической обработки экспериментальных данных по свойствам торфа, техническим показателям работы заводов и метеоусловиям с помощью разработанных программ на ЭВМ. Работа программы сводится к подбору наименьшей аппроксимирующей модели из трех принятых: линейной ( $y = A + BX$ ), степенной ( $y = A X^B$ ) и экспоненциальной ( $y = A e^{BX}$ ). Постоянные коэффициенты  $A$  и  $B$  определялись методом наименьших квадратов, суть которого сводится к минимизации суммы квадратических отклонений между фактическими данными и расчетными величинами, вычисленными по подобранной модели  $(\sum y_i - y_i)^2 \rightarrow \min$ .

Таким образом, корреляционный анализ статистических данных работы ТБЗ позволяет установить для конкретных условий взаимосвязи между основными параметрами фрезерного торфа. Полученные уравнения регрессии могут использоваться для сокращения числа необходимых анализов технических свойств сырья для брикетирования, что в значительной мере позволит уменьшить трудоемкость работы заводских лабораторий. Также данные уравнений (табл. 1, 2) могут использоваться

при планировании и прогнозировании возможных изменений технико-экономических показателей работы заводов. Методика анализа корреляционных связей и определения уравнений регрессии несложная, и поэтому при переходе на новое сырье не составит труда уточнить расчетные формулы непосредственно в заводских условиях.

Таким образом, при снижении удельного расхода электроэнергии следует учитывать, что на заводах с пневмогазовыми сушилками и Пеко наиболее тесно коррелирует с энергоемкостью величина выработки брикетов, а это значит наиболее чувствительны простои из-за сырья, неисправностей оборудования, коэффициента использования рабочего времени оборудования. На заводах с сушилками Цемаг наиболее тесно энергоемкость брикетирования связана с влажностью готовой продукции. С увеличением конечной влажности растут фактические затраты электроэнергии. Этот факт объясняется тем, что увеличение удельного расхода электроэнергии, связанное с повышением влажности сырья, определяется снижением производительности завода. Следовательно, снизить удельный расход электроэнергии можно, если оптимальным образом использовать производительность сушилок (поступление более влажного торфа превышает возможности сушилки по искусственному испарению расчетного количества влаги, а малая производительность недоиспользует установленную мощность электродвигателей на брикетном заводе). Поэтому залогом минимальных затрат электроэнергии на брикетном заводе служит эксплуатация сушилок при оптимальной производительности по количеству высушенного торфа и при возможно меньшей начальной влажности сырья. Расчеты показывают, что снижение электроэнергии на работу оборудования брикетного цеха при уменьшении влажности сушенки примерно в семь раз меньше, чем рост тепловой энергии на удаление дополнительного количества воды.

Представлена кафедрой  
горных работ

Поступила 15.05.2000

УДК 628.84.24

## **ИСПОЛЬЗОВАНИЕ РЕГЕНЕРАТИВНЫХ КОСВЕННО-ИСПАРИТЕЛЬНЫХ ОХЛАДИТЕЛЕЙ ПРИ КОНДИЦИОНИРОВАНИИ ВОЗДУХА С ОСУШКОЙ**

**Докт. техн. наук ПИСАРЕВ В. Е., инж. КУЗНЕЦОВА Е. А.**

*Институт технической теплофизики НАН Украины*

При технологическом кондиционировании воздуха необходимо его осушать и охлаждать. Представляется перспективным использование для охлаждения воздуха регенеративных косвенно-испарительных воздухоохлаждателей (КИВ) [1, 2], которые малоэнергоёмки и экологически безопасны. Эффективность КИВ особенно повышается с понижением относительной влажности воздуха.