

УДК 662.641.047.011

Н.П. Воронова, доцент, канд. техн. наук,**С.М. Грибкова, аспирант***Белорусский национальный технический университет,**пр-т Независимости 65, г. Минск, Беларусь, 220013**E-mail: svetlanagribkova@rambler.ru***ОПТИМИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА СУШКИ ТОРФА**

Рассматривается решение численными методами задач выбора режимных параметров процесса сушки торфа. Предлагается общая постановка задачи оптимизации энергосбережения при производстве торфяных брикетов.

Ключевые слова: искусственная сушка, торф, влагосодержание, энергозатраты.

Методы искусственной сушки широко используются во многих отраслях народного хозяйства. В настоящее время трудно найти такое производство, где бы материалы в процессе технологической обработки не подвергались сушке [1]. Техника сушки начала развиваться в 70-х годах XIX века, когда русский исследователь Н.П. Булыгин предложил метод сушки перегретым паром и бескалориферную сушку топочными газами. Основные положения механизма процесса сушки были впервые сформулированы и опубликованы учеными П.С. Коссовичем, А.В. Лебедевым и Л.К. Рализиным. Широкое исследование процессов сушки твердых топлив и конструирование сушилок проведены И.М. Федоровым, Н.М. Михайловым, М.Ю. Лурье, А.В. Лыковым.

Как научная дисциплина теория сушки основана на учении о переносе энергии и вещества, на основных положениях физической и коллоидной химии. Теория сушки вскрывает закономерности процесса переноса теплоты и влаги во влажных материалах при взаимодействии их с источниками тепловой энергии.

Сушка торфа, как и других важных материалов, является теплофизическим процессом, в котором удаление влаги происходит в результате термического воздействия. Этот процесс сопровождается нарушением связи влаги с материалом, что в большей степени определяет характер его протекания. Поэтому для раскрытия механизма сушки следует знать как свойства торфа, так и формы связи влаги с сухим веществом.

Кроме теплофизического характера, сушка влажных материалов является так же технологическим процессом, при котором изменяются структурно-механические и тепловые свойства. Так при сушке топливного торфа повышается его теплота сгорания и температура горения, сушка торфяных субстратных плит сопровождается упрочнением структуры и снижением теплопроводности.

Основными задачами технологии сушки является выбор наиболее эффективной сушильной установки для данного материала и нахождение оптимального режима. Правильно выбранный режим сушки должен обеспечить высокую интенсивность процесса при минимальных энергетических затратах и получение материала оптимальных технологических свойств.

Основные затраты энергии (до 80 %) в производстве топливных брикетов связаны с искусственной сушкой в заводских условиях. Анализ статистических данных показал, что с увеличением средней влажности на 1 %, производительность завода снижается на 3,5...5,0 %, а расход электроэнергии на 1 т брикетов возрастает на 3,5...4,5 %. Как известно, колебания влажности во времени на брикетных заводах достигают 15 %. С увеличением дисперсии влажности сырья с 1 % до 12 % выработка брикетов падает в среднем на 15...20 %, а удельный расход энергии при этом возрастает на 15...30 %. Поэтому одной из актуальных задач совершенствования брикетного производства является разработка рациональных режимов сушильного процесса. Рассмотрим технологию сушки торфа применительно к заводам с пневмопароводяными сушилками.

Целью данного исследования является математическая постановка и решение численными методами задач выбора режимных параметров процесса сушки торфа, что позволило бы рассчитать, как должна изменяться температура контролируемой среды для получения желаемого распределения влаги по глубине слоя торфа.

Общую задачу оптимизации энергосбережения можно представить в виде:

$$y = K_o (P_z - \mathcal{E}_z) = f(x_1; x_2; x_3 x_4) \rightarrow \min. \quad (1)$$

Здесь y – показатель энергопотребления; тонн условного топлива (т у.т.);

K_o – комплексный обобщающий показатель;

P_z – потребление энергоресурсов до выполнения комплексной программы энергосбережения, т у.т.;

$\mathcal{E}_z$ – экономия энергоресурсов, достигаемых в ходе выполнения мероприятий комплексной программы энергосбережения;

x_1 – капитальные затраты на внедрение новых энерготехнологий;
 x_2 – капиталзатраты на модернизацию и реконструкцию оборудования;
 x_3 – капиталзатраты на оптимизацию режимов энергопотребления, внедрение систем автоматического регулирования и контроля повышения надежности;
 x_4 – капиталзатраты на дополнительную утилизацию вторичных энергоресурсов.

Анализ современного состояния вопроса по энергоемкости технологических операций производства показал, что снижение энергоемкости (Δq) и улучшение качества сырья можно добиться следующими способами:

- а) при производстве фрезерного торфа за счет оптимального планирования его вывозки ($\Delta q \approx 15\%$);
- б) за счет оптимального распределения технологического оборудования на производственном участке;
- в) уменьшением дисперсии влажности и зольного торфа;
- г) улучшением фракционного состава, снижением влажности сырья, увеличением его плотности ($\Delta q \approx 15\%$);
- д) при переработке торфа в брикеты ($\Delta q \approx 20\%$).

В последнем случае эффект достигается за счет изменения насыпной плотности и состава сырья в подготовительное отделение брикетного завода; дополнительного уплотнения сушенки и увеличения ее температуры в сушильном и прессовом отделениях.

Все стадии процесса обогащения (добычи и переработки) можно оценить критерием оптимизации, характеризующимся отношением

$$K = \frac{Q_n}{\sum Q_1 + \sum Q_2} \rightarrow \max, \quad (2)$$

где Q_n – потребление энергии топливных брикетов;

$\sum Q_1$ – суммарные энергозатраты на подготовке, добыче, погрузке и транспорте торфа;

$\sum Q_2$ – суммарные энергозатраты на переработку торфа в подготовительном, сушильном и прессовом отделениях, включающие расходы топлива, сырья, тепла и электроэнергии.

Коэффициент энергетической эффективности

$$R_i = \frac{e_i}{\mathcal{E}_i}, \quad (3)$$

где e_i – энергосодержание (энергетическая ценность) i -й продукции, МДж/т; $\mathcal{E}_i$ – полная энергоемкость (полные удельные затраты техногенной энергии), МДж/т.

Коэффициент R_i целесообразно использовать для характеристики эффективности по производству новых энергоносителей (биогаза, топлива из рапса и других органических материалов).

Для сравнительной оценки различных технологий важно определить коэффициент энергозатрат новой технологии (Н) относительно базовой (Б):

$$K_3 = \frac{\mathcal{E}_{i(Н)}}{\mathcal{E}_{i(Б)}}. \quad (4)$$

Полные энергозатраты $\mathcal{E}_i = \mathcal{E}_{inp} + \mathcal{E}_{io}$, где $\mathcal{E}_{inp}$, $\mathcal{E}_{io}$ – прямые и овеществленные удельные энергозатраты, МДж/т, определяемые из выражений

$$\mathcal{E}_{inp} = \frac{1}{q_i} \left(\sum_k \sum_j q_{kj} e_k \right); \quad \mathcal{E}_{io} = \frac{1}{q_i} \left(\sum_k \sum_j q_{kj} \alpha_k \right), \quad (5)$$

где q_{kj} – удельный расход ресурса k -го вида при выполнении j -го процесса (операции) по технологии кДж/т;

e_k , α_k – энергосодержание k -го энергоносителя и энергетический эквивалент k -го ресурса, МДж/т;

q_i – производительность завода, т/ч.

Расход тепловой энергии на сушильные агенты (вода + пар + воздух) с достаточной точностью ($\approx 25\%$) по всем типам сушилок (Пеко, Цемаг, пневмогазовые) принимаются 2,1 ГДж/т, расход электроэнергии – 67,5 Квт·ч/т, расход топлива – 0,09 т у.т./т. При расчетах суммарных показателей расхода энергоносителей (тепло + топливо + электроэнергия) учитывалась годовая программа производства брикетов (2,11 млн. т), а также расчетная площадь нетто торфяных полей ($3 \cdot 10^5$ га), с которых убирается торф для производства топливных брикетов (средний цикловой сбор 15 т/га при $w_i = 48...50\%$). Суммарная энергоемкость на производство брикетов за год составляет $8,5 \cdot 10^6$ ГДж. Тепло, которое можно получить за год от сжигания брикетов ($Q_n^p = 17,29$ МДж/кг), составляет

$3,8 \cdot 10^7$ ГДж, что на порядок превышает общие расходы. Также остается существенная разница между солнечной энергией ($q_c = 4,3 \cdot 10^9$ ГДж) и расходом энергии, идущей на производство брикетов, которая равна $\Delta q = 4,2 \cdot 10^9$ ГДж.

Результаты исследований энергетических балансов показывают, что имеются реальные возможности снижения расходов топливно-энергетических ресурсов как в виде прямых затрат, так и за счет структурных изменений (например, расход электроэнергии на добычу торфа составляет 15...20 кВт·ч/т при технически возможном уровне до 15 кВт·ч/т, расход электроэнергии на брикетных заводах составляет 70...110 кВт·ч/т при возможном снижении на 10...15%). Это может осуществляться за счет улучшения физико-механических свойств сырья, увеличения производительности оборудования, снижения его мощности, применения искусственного обезвоживания для снижения влажности при добыче и переработке торфа.

Обозначим через $W(x, \tau)$ распределение влагосодержания в весовых процентах на расстоянии x от поверхности в момент времени τ . Процесс изменения влагосодержания описывается уравнением

$$\frac{\partial W}{\partial \tau} = \frac{\partial}{\partial x} \left[D(W, \tau) \frac{\partial W}{\partial x} \right], \quad x > 0, \quad \tau > 0, \quad (6)$$

где $D(W, \tau)$ – эффективный коэффициент диффузии, который можно определить с помощью методики, предложенной в [2]. Для торфа эта зависимость имеет вид

$$D(W, \tau) = 0,08 + 1,4W e^{-0,02T}. \quad (7)$$

Начальное условие для уравнения (6) запишется как:

$$W(x, 0) = W_0, \quad (8)$$

где W_0 – начальное влагосодержание, определяемое типом торфа (верховой, переходный, низинный).

Граничное условие примем в виде

$$D(W, \tau) \frac{\partial W}{\partial x} (0; \tau) = \beta [W^o(\tau) - W(0; \tau)]. \quad (9)$$

где $W^o(\tau)$ – атмосферная влажность, β – коэффициент массопереноса (м/с). Обозначим влагосодержание, которое нужно получить, в поверхностном слое $W^*(x)$, тогда отклонение полученного в результате процесса сушки распределения влаги от желаемого оценивается с помощью функционала

$$I = \int_0^{x_0} [W^*(x) - W(x, \tau)]^2 dx, \quad (10)$$

где x_0 – глубина поверхностного слоя. В качестве управляющих функций процесса выберем $W^o(\tau)$ и $T(\tau)$, ограниченные своими минимальными и максимальными значениями:

$$W_{\min}^o(\tau) \leq W^o(\tau) \leq W_{\max}^o(\tau), \quad (11)$$

$$T_{\min}(\tau) \leq T(\tau) \leq T_{\max}(\tau), \quad (12)$$

все функции заданы на отрезке продолжительности процесса $\tau \in [0; \tau_0]$.

Поставим задачу оптимизации следующим образом: выбрать функции $W^o(\tau)$, $T(\tau)$ и продолжительность процесса τ_0 таким образом, чтобы функционал (10) достигал минимума на решениях краевой задачи (6) – (9) при выполнении ограничений (11), (12).

Численное решение поставленной задачи в общем виде представлено в работе [3].

В результате решения конкретной задачи по оптимизации процесса сушки торфа на торфобрикетном заводе «Усяж» по предложенной методике, была разработана технология, позволившая на основании рассчитанного оптимального времени сушки, уменьшить продолжительность процесса в сушилке «Пеко» на 5...8 %, что привело к увеличению производительности сушилки. По формулам (1) – (5) были рассчитаны экономические характеристики предложенной технологии, которая приводит к уменьшению удельного расхода теплоты на 5...7 %, уменьшению расхода теплоносителя и снижению расхода электроэнергии до 7,5 %, увеличению срока службы матричного канала на 150 часов (расчеты произведены путем корректировки калькуляции себестоимости тонны топливных брикетов, производимых на ПРУТП «Усяж»).

Библиографический список использованной литературы

1. Лыков А.В. Теоретические основы строительной теплофизики /А.В. Лыков. — Минск: Изд-во АН БССР, 1961. — 520 с.
2. Воронова Н.П. Математическое моделирование энергосберегающих режимов нагрева, сушки и термообработки: монография / Н.П. Воронова. — Минск: Изд-во БНТУ, 2006. — 86 с.
3. Воронова Н.П. Математическое моделирование и управление теплотехнологиями промышленных производств: монография / Н.П. Воронова. — Минск: Изд-во БНТУ, 2009. — 260 с.

Поступила в редакцию 18.07.2012 г.

Воронова Н.П., Грибкова С.М. Оптимізація процесу сушки торфу

Розглянуто рішення чисельними методами завдань вибору режимних параметрів процесу сушіння торфу. Запропонована загальна постановка завдання оптимізації енергозбереження під час виробництва торф'яних брикетів.

Ключові слова: штучна сушка, торф, вологовміст, енерговитрати.

Voronova N.P., Gribkova S.M. Optimization of the process of peat drying

The solution of problems by numerical methods of regime parameters of the process of drying peat. A general formulation of the problem of optimizing energy efficiency in the production of peat briquettes.

Keywords: artificial drying, peat, water content, energy.