

УДК 53:51-73

Д. Л. Овсянников, А. С. Бобров, В. М. Фролов

**МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ
ЭКСТРЕМАЛЬНОГО ЭКСПЕРИМЕНТА
ПРИ РАЗРАБОТКЕ ОПТИМАЛЬНЫХ РЕЖИМОВ СУШКИ**

В статье предлагается методика расчёта относительного критерия оптимизации сушки на любом её этапе и для всего процесса влагоудаления в целом. С помощью данной методики возможно объективное, полное, детальное и поэтапное сравнение проводимых экспериментов. Применение методов вычислительного моделирования позволит определить экстремальные (по различным параметрам) эксперименты и прогнозировать изменение ключевых параметров процесса.

Ключевые слова: сушка, оптимизация, критерии оптимизации.

При испытании новых и доводке действующих сушильных камер, при разработке новых и усовершенствовании существующих режимов сушки возникает необходимость максимально объективного, полного, детальное и поэтапное сравнения проводимых экспериментов, как отдельно по *ключевым параметрам процесса* (интенсивности сушки, качеству, себестоимости, КПД), так и целиком по некоторой совокупности данных параметров [1], [2].

Анализ существующей литературы и, прежде всего [3] позволяет сделать вывод о том, что данный вопрос недостаточно хорошо освещён.

В статье предлагается методика расчёта *относительного критерия оптимизации сушки* на любом её этапе и для всего процесса влагоудаления в целом. С помощью данной методики возможно объективное, полное, детальное и поэтапное сравнение проводимых экспериментов. Применение методов вычислительного моделирования позволит определить *экстремальные (по различным*

параметрам) эксперименты и прогнозировать изменение ключевых параметров процесса.

Для расчёта весь процесс сушки разбивается на n – этапов [4], удовлетворяющих следующим условиям при заданной точности:

а) на каждом этапе *ключевые параметры* процесса (i , η , S_b) считаются величинами постоянными;

б) пренебрегается свойством инертности материала и разгонными характеристиками камеры;

в) предполагается, что к началу сушки материал находится в равновесном состоянии с окружающей средой, т.е. потенциал влагопереноса равен нулю

$$\left(\frac{\partial \theta}{\partial \tau} = 0 \right).$$

Рассмотрим сначала методику расчёта *относительного критерия оптимизации* на произвольном j – ом этапе процесса влагоудаления в k – ом эксперименте.

В предыдущих работах [4] рассматриваются методики расчёта K_j , η , S_b на произвольном этапе процесса. Кроме того для расчёта *относительного критерия оптимизации* нам нужно знать интенсивность сушки на j – ом этапе процесса влагоудаления в k – ом эксперименте:

$$i_j^k = \frac{W_{j-1}^k - W_j^k}{S}, \quad (1)$$

где W_{j-1}^k - средняя влажность материала перед началом j – ого этапа;

W_j^k - средняя влажность материала после окончания j – ого этапа;

S – площадь поверхности материала.

Далее вычисляются следующие величины:

a) *относительное изменение интенсивности процесса сушки в сравнении со значением интенсивности по нормативному режиму (критерий интенсивности)*

$$X_1 = A_j^k = \frac{i_j^k - i_j^*}{i_j^*}; \quad (2)$$

b) *относительное изменение параметра качества процесса сушки в сравнении со значением параметра качества по нормативному режиму (критерий качества)*

$$X_2 = B_j^k = \frac{K_j^k - K_j^*}{K_j^*}; \quad (3)$$

c) *относительное изменение себестоимости процесса сушки в сравнении со значением себестоимости по нормативному режиму (критерий себестоимости)*

$$X_3 = C_j^k = \frac{C\bar{\sigma}_j^k - C\bar{\sigma}_j^*}{C\bar{\sigma}_j^*}; \quad (4)$$

d) *относительное изменение КПД процесса сушки в сравнении со значением КПД по нормативному режиму (критерий КПД)*

$$X_4 = D_j^k = \frac{\eta_j^k - \eta_j^*}{\eta_j^*}; \quad (5)$$

где $i_j^*, K_j^*, C\bar{\sigma}_j^*, \eta_j^*$ - интенсивность, параметр качества, себестоимость и коэффициент полезного действия при сушке материала с аналогичными данными по нормативному режиму в этом же интервале влагосодержания. Данные величины, так же как и $i_j^k, K_j^k, C\bar{\sigma}_j^k, \eta_j^k$, рассчитываются по методикам, изложенным в [4]. В случае отсутствия для объекта сушки нормативного режима, в качестве последнего принимается наилучший из ранее рассчитанных экспериментальных режимов.

Каждый из критериев А, В, С, D имеет свой вес - V_A, V_B, V_C, V_D . Веса определяются методом экспертной оценки [1],[5]. Для них выполняется условие нормировки $V_A + V_B + V_C + V_D = 1$.

Далее вводятся следующие обозначения:

a) приведённое (взвешенное) значение критерия интенсивности

$$Y_1 = V_A \cdot A_j^k$$

b) приведённое (взвешенное) значение критерия качества $Y_2 = V_B \cdot B_j^k$

c) приведённое (взвешенное) значение критерия себестоимости

$$Y_3 = V_C \cdot C_j^k$$

d) приведённое (взвешенное) значение критерия КПД $Y_4 = V_D \cdot D_j^k$

Строятся графики $X_m = f_1(m), Y_m = f_2(m)$. Находятся экстремумы.

Используя (2),(3),(4),(5) относительное изменение (критерий оптимизации) процесса сушки в k – ом эксперименте на j – ом этапе изменения \bar{u} в сравнении с j – ым этапом нормативного режима может быть представлено следующим образом:

$$O.K.^k_j = Optima^k_j = V_A \cdot A_j^k + V_B \cdot B_j^k + V_C \cdot C_j^k + V_D \cdot D_j^k \quad (6)$$

Методы вычислительного моделирования позволят прогнозировать поведение функций $X_m = f_1(m), Y_m = f_2(m)$ (для всех m) и $Optima^k$ на последующие этапы в k – ом эксперименте процесса сушки. Для этого функции $X_m = f_{2+m}(\bar{u}), X_m = f_{6+m}(\tau), Y_m = f_{10+m}(\bar{u}), Y_m = f_{14+m}(\tau)$, для всех m ; $Optima^k = f_{19}(\bar{u})$ и $Optima^k = f_{20}(\tau)$ представляются в графической и аналитической форме и экстраполируются на последующие этапы процесса. С учётом расчётных данных последующих этапов процесса влагоудаления аналитические и графические зависимости уточняются и по завершению процесса представляются в окончательной форме. Затем определяются экстремумы полученных функций.

По результатам всех испытаний строятся графики зависимости X_m, Y_m (для всех m) и $Optima$ (на j – ом этапе изменения \bar{u}) от номера эксперимента – k : $X_m = f_{20+m}(k), Y_m = f_{24+m}(k)$, и $Optima_j = f_{29}(k)$. Находятся их экстремумы.

Методика расчёта *критерия оптимизации* для всего процесса сушки в *k*-ом эксперименте производится независимо от методики расчёта *критерия оптимизации* на произвольном этапе процесса влагоудаления.

По окончании процесса сушки производится расчёт *абсолютного суммарного показателя (коэффициента) качества высушиваемого материала* – *K* [4], *КПД* – η [4], себестоимости сушки – *Cб* [4] и интенсивности процесса – *i*:

$$i^k = \frac{W^k - W^k}{S}, \quad (7)$$

где W^k – средняя влажность материала вначале процесса;

W^k – средняя влажность материала по окончании процесса.

Далее вычисляются следующие величины:

$$a) \text{ критерий интенсивности } - X_1 = A^k = \frac{i^k - i^*}{i^*}; \quad (8)$$

$$b) \text{ приведённый (взвешенный) критерий интенсивности } Y_1 = V_A \cdot A^k; \quad (9)$$

$$c) \text{ критерий категории качества } - X_2 = B^k = \frac{K^k - K^*}{K^*}; \quad (10)$$

$$d) \text{ приведённый (взвешенный) критерий категории качества } Y_2 = V_B \cdot B^k; \quad (11)$$

$$e) \text{ критерий себестоимости } - X_3 = C^k = \frac{Cб^k - Cб^*}{Cб^*}; \quad (12)$$

$$f) \text{ приведённый (взвешенный) критерий себестоимости } Y_3 = V_C \cdot C^k; \quad (13)$$

$$g) \text{ критерий КПД } - X_4 = D^k = \frac{\eta^k - \eta^*}{\eta^*}; \quad (14)$$

$$h) \text{ приведённый (взвешенный) критерий КПД } Y_4 = V_D \cdot D^k. \quad (15)$$

Строятся графики $X_m = f_{30}(m), Y_m = f_{31}(m)$. Определяется $X_{\max}, Y_{\max}, X_{\min}, Y_{\min}$.

Используя (8),(10),(12),(14) рассчитывается критерий оптимизации для всего процесса сушки в k – ом эксперименте:

$$O.K.^k = Optima^k = V_A \cdot A^k + V_B \cdot B^k + V_C \cdot C^k + V_D \cdot D^k \quad (16)$$

По результатам всех экспериментов строится график $Optima = f_{32}(k)$.

По полученным графическим и аналитическим функциям, а так же по экстремумам исследуемых функций производится полное, детальное, поэтапное сравнение и анализ рассматриваемых экспериментов. Делаются соответствующие выводы, в том числе об экстремальных экспериментах и об экстремальных этапах экспериментов на заданных интервалах влажности материала.

Данная методология позволяет проводить сравнение различных способов сушки и (или) сушильных камер, применяемых для удаления влаги из материала с заданными свойствами. Так же она позволяет сравнить процессы удаления влаги из материалов с различными свойствами [6].

Список литературы

1. Пижурин А. А., Розенблит М. С. Основы моделирования и оптимизации процессов деревообработки М.: Лесная промышленность, 1988. 293 с.
2. Сергеев В. В. Повышение эффективности сушки пиломатериалов в камерах малой мощности: автореф. дис. ... д-ра техн. наук. СПб., 1999. С. 36.
3. Руководящие технические материалы по технологии камерной сушки древесины. Архангельск: ЦНИИМОД, 1985. 144 с.
4. Овсянников Д. Л., Кузьмин В. А. Краткое описание методологии математического моделирования экстремального эксперимента при испытании сушильных камер // Наука ПРОТЭК-2001: сб. матер. Всероссийской НТК. Киров: ВятГУ, 2001. Т. 3. С. 10–11.
5. Гухман А. А. Применение теории подобия к исследованию процессов тепло и массообмена. М.: Высш. шк., 1974.

6. *Попов А. М., Сергеева С. В., Сергеев В. В., Тракало Ю. И.* Опыт эксплуатации камер с теплоэлектронагревателями для сушки пиломатериалов // *Деревообрабатывающая промышленность.* 1997. № 2. С. 19–21.

ОВСЯННИКОВ Дмитрий Леонидович – старший преподаватель кафедры инженерной физики, Вятский государственный университет. 610000, г. Киров, ул. Московская, 36.

E-mail: tor1945@mail.ru

БОБРОВ Александр Сергеевич – кандидат технических наук, доцент кафедры Инженерной физики, Вятский государственный университет. 610000, г. Киров, ул. Московская, 36.

E-mail: asb.06@mail.ru

ФРОЛОВ Вениамин Михайлович – кандидат технических наук, доцент кафедры инженерной физики, Вятский государственный университет. 610000, г. Киров, ул. Московская, 36.

E-mail: Veniamin_frolov@mail.ru