

П. А. Кайнов, П. М. Мазуркин, Ш. Р. Мухаметзянов

ВЫЯВЛЕНИЕ ЗАКОНОМЕРНОСТЕЙ ТЕРМОДИНАМИКИ ДРЕВЕСИНЫ

Ключевые слова: модификация, температура, теплопроводность.

В статье показаны методики факторного анализа и идентификации устойчивых закономерностей изменения коэффициента теплопроводности от температуры модифицируемой древесины сосны.

Keywords: modification, temperature, heat conductivity.

In article techniques of the factorial analysis and identification of steady regularities of change of coefficient of heat conductivity from temperature of modified wood of a pine are shown.

Введение

Во всём мире технология термомодифицирования древесины находится в основном на стадии разработки и оптимизации, поэтому актуальным становится итерационное уточнение математической модели динамики полей температур и концентрации древесины. Уточнение выполняется включением в модель дополнительных эмпирических закономерностей, выявленных статистической обработкой результатов экспериментов.

Однако существующая математическая статистика дает только полиномиальные эмпирические закономерности, составные части которых, кроме первых двух для образования линейной модели, не имеют физико-химического смысла. При решении каждой научно-технической задачи приходится возвращаться к исходным дифференциальным уравнениям с поиском новых ограничений, допущений и граничных условий. В итоге сложные процессы термодинамики древесины не могут достаточно полно осознаваться экспериментатором, и это сдерживает развитие науки о термической обработке древесины при глубокой переработке древесных материалов и модифицировании полуфабрикатов и изделий.

Исходные данные [1] приведены в таблице 1.

Таблица 1 - Параметры термомодифицированной древесины сосны

Влияющие		Зависимые	
T, °K	ρ , кг/м ³	T _м , °K	λ , Вт/(м·°K)
453	426	324	0.080
453	426	334	0.069
453	426	340	0.055
473	408	318	0.079
473	408	331	0.065
473	408	339	0.041
493	387	318	0.071
493	387	328	0.059
493	387	333	0.039
513	370	322	0.068
513	370	339	0.041
513	370	342	0.033

В ней приняты следующие условные обозначения: T- температура обработки, °K; ρ - плотность древесины, кг/м³; T_м- температура материала, °K; λ - коэффициент теплопроводности, Вт/(м·°K).

Всего в таблице 1 содержатся четыре параметра, которые для факторного анализа [3] разделяются

на две группы: влияющие (объясняющие переменные x) и зависимые параметры (показатели y). Подробное на сквозных примерах методология факторного анализа и структурно-параметрической идентификации по устойчивым законам и биотехническим закономерностям лана в книге [4].

По примеру из таблицы 1 оказалось, что полный факторный анализ возможен, потому что исходные значения параметров T и ρ виртуально зависят от выходных факторов T_m и λ процесса модифицирования древесины. Иначе говоря, в термодинамическом процессе все параметры изменчивые.

Общая детерминированная закономерность. Полученные данные из таблицы 1 обрабатывали в программной среде типа CurveExpert по обобщенной трендовой модели

$$y = a_1 x^{a_2} \exp(-a_3 x^{a_4}) + a_5 x^{a_6} \exp(-a_7 x^{a_8}), \quad (1)$$

где y - показатель или зависимый фактор, в примере параметры по таблице 1; x - объясняющая переменная или влияющий фактор, также в таблице 1; $a_1 \dots a_8$ - параметры модели (1), получаемые в программной среде CurveExpert. Эта двухчленная формула была получена на десятках тысяч примеров идентификацией устойчивых законов.

Уровни адекватности. Далее примем правила отбора тех или иных бинарных факторных связей типа (1) для последующего математического и графического анализа. Однако существующая шкала квантификации тесноты связи является очень грубой. Поэтому нами была предложена для технических экспериментов, в которых погрешность измерений не превышает 5%, другая шкала. Но для биотехнических объектов пришлось ввести еще два интервала, что нами было достигнуто только при моделировании распределений рядов простых чисел [4]. Это указывает на высокий уровень проявления закономерности (1) на параметрах деревьев и древесины.

Факторный анализ и рейтинг факторов. В таблице 2 приведены результаты факторного анализа [3] и рейтинга двух групп влияющих и зависимых факторов, приведенных в таблице 1. В диагональных клетках ранговые распределения не рассматриваются.

На первом месте как влияющая переменная и как зависимый показатель оказался коэффициент теплопроводности. На втором месте по влиянию оказалась плотность древесины. Как зависимый показатель на втором месте находится температура обработки.

Таблица 2 - Факторный анализ параметров модифицируемой древесины по трендовым формулам

Параметр термомодифицирования (влияющий фактор x)	Зависимый фактор (показатель y)				Сумма коэфф. корр.	Место I _к
	T, °K	ρ, кг/м ³	T _м , °K	λ, Вт/(м·°K)		
T- температура обработки, °K	1	0,99 92	0,27 55	0,48 12	2,755 9	3
ρ- плотность древесины, кг/м ³	0,99 92	1	0,37 32	0,47 64	2,848 8	2
T _м - температура материала, °K	0,26 07	0,01 77	1	0,81 66	2,095 0	4
λ- теплопроводность, Вт/(м·°K)	0,63 11	0,62 13	0,82 57	1	3,078 1	1
Сумма коэффициента корреляции	2,89 1	2,63 82	2,47 44	2,77 42	10,77 7	-
Место I _y показателя	2	3	4	1	-	0,67 36

Коэффициент коррелятивной вариации для всего множества влияния $4^2 = 16$ отношений между факторами будет равен $10,7778 / 16 = 0,6736$. Этот критерий (термин «коррелятивная вариация» по Ч. Дарвину) применяется при сравнении отдельных экспериментов и различных объектов исследования, в данном случае термического процесса модифицирования древесины в пиломатериалах.

Волновая термодинамика. Она выявляется идентификацией закономерности

$$Y = \sum_{i=1}^m Y_i,$$

$$Y_i = a_{1i} x^{a_{2i}} \exp(-a_{3i} x^{a_{4i}}) \cos(\pi x / (a_{5i} + a_{6i} x^{a_{7i}}) - a_{8i}), \quad (2)$$

где Y - показатель, в нашем примере любой из четырех показателей из таблицы 4, i - номер члена общей формулы (2), m - количество составляющих общей формулы, шт., x - любой из четырех влияющих переменных процесса термомодифицирования, $a_1 \dots a_8$ - параметры формулы (2), физически представляемого как асимметричный вейвлет-сигнал с переменными амплитудой и частотой колебательного возмущения древесины при обработке теплом.

Волновыми оказались четыре закономерности или $4 \times 100 / 16 = 25\%$. Их коэффициенты корреляции выделены полужирным шрифтом. Среди влияющих переменных на первом месте уверенно сохранилась теплопроводность древесины. А вот волновые закономерности поменяли первые два места у рейтинга показателей. На первом месте как надежный индикатор термодинамического процесса оказывается исходная температура обработки древесины. А на второе место встала плотность древесины. При этом коэффициент коррелятивной вариации возрос до 0,7257 или на 7,73%. При этом резко возрастает объем понятий или

эвристический смысл апостериорной информации от анализа закономерностей.

Сильные факторные связи. Моделирование показало, что линейные отношения между факторами T и ρ относятся к жесткому планированию эксперимента. Поэтому в будущих опытах нужно проводить эволюционное планирование эксперимента, чтобы получить более объективные взаимные отношения между температурой обработки и плотностью древесины. При этом нужно помнить, что исходная температура обработки «плавает», то есть меняет свои значения в процессе термического модифицирования. Тогда получается, что и плотность древесины меняется в динамике процесса от исходного значения до плотности модифицированной древесины.

Неравновесная термодинамика. Итак, термические процессы в ходе процесса модификации древесины находятся в динамическом равновесии, то есть в каждый момент времени они не равновесны по состоянию.

Циклические термохимические реакции, происходящие с волновой динамикой в модифицируемой древесине, могут быть описаны многовариантно. Для примера рассмотрим один вариант проведения эволюционного эксперимента по схеме $(T_m \rightarrow \lambda) \wedge (T; \rho; T_m)$. В этом случае первый опыт заключается в тщательном изучении бинарной связи $T_m \rightarrow \lambda$ с идентификацией закономерностей типа $\lambda = f(T_m)$. После этого эта закономерность помещается в математическую модель в виде условия для решения дифференциальных уравнений, затем составляется эволюционное планирование второго опыта по выявлению закономерностей у бинарных связей типа $T = f(\lambda)$, $\rho = f(\lambda)$, и $T_m = f(\lambda)$. Эти формулы снова вставляются в математическую модель. Причем по ходу моделирования в реальном режиме времени с процессом основного эксперимента происходит итерационный перерасчет всех четырех переменных свойств модифицируемой древесины в цикле программной среды.

Биотехнические закономерности. Запишем четыре формулы с тремя членами с показом их графического представления в программной среде типа CurveExpert на рисунках.

Влияние коэффициента теплопроводности λ (рис.1) на температуру материала T_m имеет явно выраженную оптимальную область коэффициента теплопроводности.

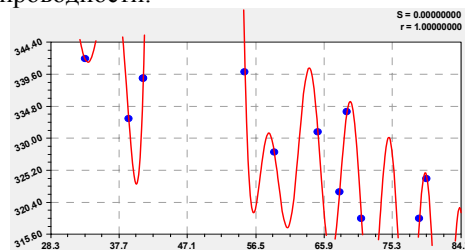


Рис. 1 - Влияние коэффициента теплопроводности λ на температуру материала T_m сосны

При этом для удобства моделирования по шкале абсцисс приняты значения коэффициента теплопроводности, умноженные на 1000. Как пример,

покажем влияние температуры материала T_M (рис. 2) на коэффициент теплопроводности λ по уравнению

$$\lambda = \lambda_1 + \lambda_2 + \lambda_3, (3)$$

$$\lambda_1 = 0,46155 \exp(0,0018652 T_M^{1,03555})$$

$$\lambda_2 = -0,0012160 T_M^{1,14432},$$

$$\lambda_3 = A \cos(\pi T_M / p + 4,11660),$$

$$A = 1,59506 \cdot 10^{-6} T_M^{1,52481}, p = 1,61613.$$

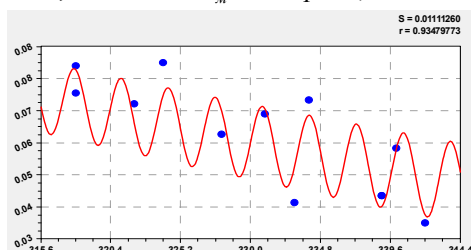


Рис. 2 - Влияние температуры материала T_M на коэффициент теплопроводности λ сосны

По видимому, такая нарастающая по амплитуде волна возмущения теплопроводности объясняется структурной динамикой медленного обрушения клеток древесины, а плавное снижение теплопроводности по двум первым законам можно пояснить изменением лигнина. Такая гипотеза позволяет разделить на отдельные научно-технические решения изучение свойств специально обработанной до модификации древесины.

Влияние коэффициента теплопроводности λ (рис. 3) на плотность древесины ρ характеризуется двумя этапами изменения влияющей переменной.

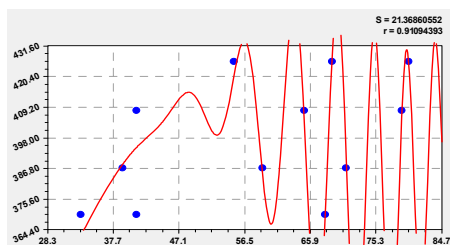


Рис. 3 - Влияние коэффициента теплопроводности λ на плотность древесины ρ сосны

Две асимметрично расположенные точки на левой стороне графика указывают на возможную ошибку при записи измерений. Поэтому в интервале 0-50 (умножение значений по таблице 1 на 10^3) колебание отсутствует. Но оно должно быть и это покажут новые опыты. На втором интервале 50 и более происходит сильная флуктуация плотности, то есть происходит ступенчатое обрушение клеточных структур из древесинного вещества.

Влияние коэффициента теплопроводности λ (рис. 4) на температуру обработки T (корреляция 0,8816) происходит с интересным физическим эффектом.

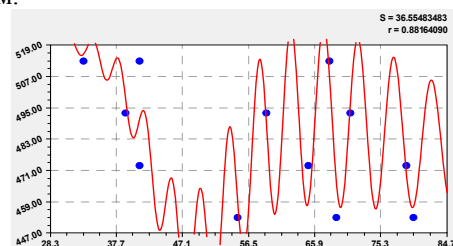


Рис. 4 - Влияние коэффициента теплопроводности λ на температуру обработки T сосны

Но четкой уверенности нет снова из-за двух противоположно расположенных относительно оси абсцисс точек, то есть погрешность температуры исходной большая. И это снова приводит к необходимости планирования эволюционного эксперимента с плавающими управляемыми параметрами процесса термической модификации древесины. Однако заметно, что в интервале коэффициента теплопроводности 0,040-0,060 происходит снижение потребной температуры обработки.

Заключение

Высокая адекватность и, что гораздо важнее, содержательная интерпретация выявленных закономерностей из-за их физического смысла по математическим конструктам и их параметрам модели, позволяет сделать вывод о том, что существующая технология аппроксимации не способна удовлетворять запросы современных и бурно развивающихся технологий, в частности термического модифицирования древесины в пиломатериалах.

Литература

1. Кайнов П.А., Разумов Е.Ю. Математическое описание процессов тепломассопереноса внутри древесины при ее термомодифицировании // Материалы научной сессии. Казань: КГТУ, 2009. С.290.
2. Хасаншин Р.Р., Данилова Р.В. Предварительная термическая обработка древесного наполнителя в производстве ДПКМ // Вестник Казан. техн. ун-та. – 2012. – Т. 15, №7. – С. 62-63.
3. Мазуркин П.М., Евдокимова Е.Ю. Факторный анализ загрязнения речной воды. Йошкар-Ола: МарГТУ, 2011. 56 с.
4. Мазуркин П.М. Закономерности простых чисел. Германия: Palmarium Academic Publishing, 2012. 280с.
5. Грачев А.Н. Исследование термического разложения одиночной частицы древесины / А.Н. Грачев // Вестник Казан. техн. ун-та.- 2012. №20 С.116-122.