

## Экспериментальная проверка и получение регрессионных зависимостей глубины проникновения пропиточной жидкости от влияющих на процесс факторов

В. А. Новиков<sup>1</sup>

*Петрозаводский государственный университет*

На основании статистической обработки экспериментальных данных зависимости глубины проникновения пропиточной жидкости  $\Delta\delta$  от влияющих на процесс факторов представлены регрессионные уравнения первого и второго порядков исследуемого процесса. Определены суммы остатков отклонения регрессионных моделей от экспериментальных данных, суммы остатков по независимым переменным, остаточные суммы остатков, значения F статистики. Проверены на значимость коэффициенты регрессии первого и второго порядков. Показаны стандартные ошибки коэффициентов регрессии. Сделан вывод о достоверности полученных регрессионных уравнений. Представлены рекомендации по применению уравнений регрессии первого и второго порядков.

**Ключевые слова:** защитная обработка древесины, пропитка древесины, уравнения регрессионного процесса пропитки, важнейшие факторы.

### ВВЕДЕНИЕ

Обеспечение требуемого уровня долговечности заготовок и изделий из древесины на этапе их производства - одно из основных направлений повышения эффективности лесопромышленного комплекса. Способ защитной обработки в упругомеханическом поле [1], представленный на рис. 1, позволяет значительно увеличить сроки службы изделий и заготовок из древесины. Вместе с тем процесс движения жидкости в древесине в результате избыточного давления недостаточно изучен. На наш взгляд, с целью изучения процесса представляет интерес получение регрессионных зависимостей глубины проникновения пропиточной жидкости от влияющих факторов на базе экспериментальных исследований.

### СОДЕРЖАНИЕ

С целью практической проверки на экспериментальной установке было определено влияние основных факторов. Это:  $C$  - коэффициент проницаемости образца;  $P_{max}$  - величина максимального давления в тупиковых отверстиях достигаемая в эксперименте;  $t$  -

время достижения максимального давления;  $t_1$  - время выдержки максимального давления.

Значения ряда факторов, в связи с их изменением в течение эксперимента, контролировались и учитывались. Это:  $E_y$  - значение модуля упругости упругого элемента;  $\Delta h$  - величина деформации упругого элемента в эксперименте.

Остальные, влияемые на процесс параметры, в ходе экспериментальных исследований оставались постоянными. Это: коэффициент воздухоемкости древесины  $B_{\mu} = 0,66$ ; плотность пропитывающей жидкости  $\rho = 10^3 \text{ кг/м}^3$ ; пористость упругого элемента  $\Pi_y = 0,02$ ; толщина упругого элемента  $h = 0,06 \text{ м}$ ; температура пропитывающей жидкости  $T = 20^0 \text{ С}$ ; ускорение силы тяжести  $g = 9,81 \text{ м/с}$ .

Величина капиллярной пропитки  $\Delta\delta_0 = 0,0001 \text{ м}$  была определена в результате предварительных экспериментов.

Экспериментальная установка, методика проведения экспериментальных исследований, методика обработки экспериментальных данных отвечали всем требованиям, предъявляемым к подобного рода исследованиям.

В качестве используемых образцов были приняты заготовки сосны и березы, выпиленные из ядровой части с возможным тангентальным и радиальным направлениями пропитки.

Экспериментальная установка состоит из гидравлического пресса типа ПГПР, позволяющего создавать усилие до 10,0 МПа (рис. 1). Упругий элемент с высверленными глухими отверстиями выполнен из резины типа "резина-пластина" 60 МБ-А-г ГОСТ 7338-65. Упругий элемент помещен в стальной корб с размерами  $0,08 \cdot 0,08 \cdot 0,075 \text{ м}$ . Высота упругого элемента составляет 0,06 м. В зоне контакта упругого элемента с поверхностью древесины высверлены глухие отверстия с диаметром 0,008 м и глубиной 0,012 м. Отверстия расположены на поверхности упругого элемента в шахматном порядке с шагом в рядах 0,019 м и между рядами 0,009 м. При этом значение коэффициента пористости упругого элемента равно двум процентам. Глухие отверстия заполняются пропитывающей жидкостью. При помощи гидравлического пресса к заготовке из древесины, находящейся в контакте с пористой поверхностью упругого элемента, прикладывается повышенное по отношению к атмосферному давление. Имеющийся в комплекте с гидравлическим прессом манометр позволяет производить замер давления с точностью до 0,47 МПа.

Созданная экспериментальная установка для прессового способа пропитки дает возможность получить зависимости глубины проникновения жидкости в поверхность древесины от наиболее влияемых факторов  $C, P_{max}, t, t_1$ .

<sup>1</sup> Автор - ст. преподаватель кафедры промышленного транспорта и геодезии

Заготовки размерами 0,064 · 0,064 · 0,04 м выпилены из одного бруска породы так, чтобы в них не было пороков (сучков, трещин). В таком случае для всех образцов можно принять одинаковое значение коэффициента проницаемости, что имеет важное значение при расчете параметров пропитки по полученным ранее формулам и сравнении результатов.

На основании предварительной серии опытов принято четырехкратное дублирование в основной серии.

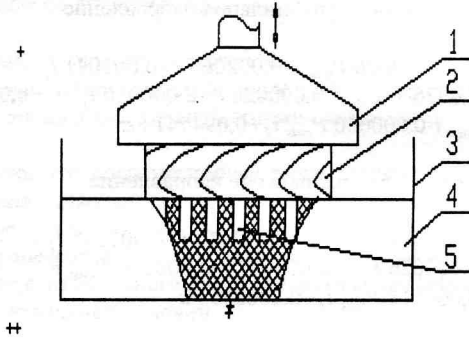


Рис. 1. Схема пропитки при помощи упругого элемента: 1 - толкатель пресса; 2 - пропитываемая деталь; 3 - ванна с пропитывающей жидкостью; 4 - упругий элемент; 5 - тупиковые отверстия.

Результаты статистической обработки экспериментальных исследований для используемых в опытах образцов березы, сосны в тангентальном и радиальном направлениях для прессового способа представлены в таблицах 1, 2, 3, 4.

Регрессионные линейные уравнения, полученные в результате обработки экспериментальных данных для прессового способа, имеют следующий вид:

Береза, ядро, тангентальное направление

$$\Delta\delta = 0,067554 P_{max} + 0,001779 t + 0,001048 t_1 + 0,126031 + \varepsilon \quad (1)$$

Сосна, ядро, тангентальное направление

$$\Delta\delta = 0,067791 P_{max} + 0,001844 t + 0,001029 t_1 + 0,149691 + \varepsilon \quad (2)$$

Береза, ядро, радиальное направление

$$\Delta\delta = 0,083676 P_{max} + 0,002133 t + 0,000738 t_1 + 0,256356 + \varepsilon \quad (3)$$

Сосна, ядро, радиальное направление

$$\Delta\delta = 0,084485 P_{max} + 0,002193 t + 0,000741 t_1 + 0,262537 + \varepsilon \quad (4)$$

Покажем числовые значения суммарных статистик для линейной регрессионной модели зависимости глубины пропитки  $\Delta\delta$  от времени  $t$  достижения максимального давления  $P_{max}$ , времени выдержки максимального давления  $t_1$  и значения максимального давления  $P_{max}$ . Способ пропитки - прессовый.

Таблица 1

Береза, ядро, тангентальное направление

Сумма остатков отклонения регрессионной модели от экспериментальных данных:	0,96461303
Сумма остатков по независимым переменным:	0,93047830
Остаточная сумма остатков:	0,92875462
Значение F статистики:	539,82
Вероятность отвергнуть гипотезу об адекватности модели и линейной регрессии:	$p < 0,0000$
Стандартная ошибка оценки:	0,04398

	Beta-значение.	Ее станд. ошиб.	Знач. коэф. регр.	Станд. ошибка коэф.	Значение t статист.
			0,126	0,0105	11,945
$P$	0,582	0,025	0,067	0,0029	23,203
$t$	0,508	0,025	0,017	0,00008	20,256
$t_1$	0,397	0,025	0,010	0,00006	16,594

Таблица 2

Сосна, ядро, радиальное направление

Сумма остатков отклонения регрессионной модели от экспериментальных данных:	0,96160983
Сумма остатков по независимой переменной:	0,92469346
Остаточная сумма остатков:	0,92282636
Значение F статистики:	495,26
Вероятность отвергнуть гипотезу об адекватности модели и линейной регрессии:	$p < 0,0000$
Стандартная ошибка оценки:	0,04648

	Beta-значение.	Ее станд. ошиб.	Знач. коэф. регр.	Станд. ошибка коэф.	Значение t статист.
			0,149	0,01115	13,4241
$P$	0,575	0,261	0,067	0,00307	22,0317
$t$	0,518	0,261	0,001	0,00009	19,8649
$t_1$	0,384	0,261	0,001	0,00006	15,4257

Таблица 3

Береза, ядро, радиальное направление

Сумма остатков отклонения регрессионной модели от экспериментальных данных:	0,95795519
Сумма остатков по независимым переменным:	0,91767814
Остаточная сумма остатков:	0,91563710
Значение F статистики:	449,61
Вероятность отвергнуть гипотезу об адекватности модели и линейной регрессии:	$p < 0,0000$
Стандартная ошибка оценки:	0,05539

	Beta- зна- чение.	Ее станд. ошиб.	Знач. коэф. регр.	Станд. ошибка коэф.	Значе- ние t статист.
			0,256	0,01329	19,2892
<i>P</i>	0,622	0,027	0,083	0,00366	22,8169
<i>t</i>	0,526	0,027	0,002	0,00011	19,2794
<i>t<sub>l</sub></i>	0,242	0,027	0,000	0,00008	9,27918

Таблица 4

Сосна, ядро, радиальное направление

Сумма остатков отклонения регрессионной модели от экспериментальных данных: 0,95781153  
 Сумма остатков по независимым переменным: 0,91740292  
 Остаточная сумма остатков: 0,91535506  
 Значение F статистики: 447,98  
 Вероятность отвергнуть гипотезу об адекватности модели и линейной регрессии:  $p < 0,0000$   
 Стандартная ошибка оценки: 0,05643

	Beta- зна- чение.	Ее станд. ошиб.	Знач. коэф. регр.	Станд. ошибка коэф.	Значе- ние t статист.
			0,262	0,01353	19,3908
<i>P</i>	0,618	0,027	0,084	0,00373	22,6137
<i>t</i>	0,532	0,027	0,002	0,00011	19,4589
<i>t<sub>l</sub></i>	0,238	0,027	0,000	0,00008	9,14377

Во всех сериях опытов вероятность отвергнуть гипотезу о значимости коэффициентов регрессии близка к нулю.

Линейные уравнения регрессии (формулы 1, 2, 3, 4) в рассмотренных интервалах варьируемых факторов с хорошей достоверностью описывают процесс движения жидкости в древесине в результате избыточного давления. Вероятность отклонения коэффициентов регрессии равна нулю, это говорит о значимости каждого из них. Стандартная ошибка коэффициента регрессии не превышает 5,5% для прессового способа и 6,5% для фронтального, что также говорит о достоверности регрессионных моделей реальному процессу.

Полученные уравнения в исследуемых пределах позволяют делать выводы о характере влияния параметров на выходную величину. Так, наиболее влияющими факторами являются величина максимального давления  $P_{max}$  и значение коэффициента проницаемости  $C$ . Этот вывод подтверждается результатами исследований, сделанными ранее [2, 3].

Однако линейные уравнения регрессии не всегда корректно описывают многие физические процессы. К таким процессам можно отнести и процесс движения жидкости в древесине в результате избыточного давления. И поэтому представляет интерес построение нелинейных уравнений регрессии на основании результатов эксперимента.

Регрессионные уравнения второго порядка, полученные в результате статистической обработки той же самой экспериментальной базы данных, имеют следующий вид:

Береза, ядро, тангентальное направление

$$\Delta\delta = 0,053978 P_{max} + 0,001946 t + 0,003046 t_l - 0,000017 t^2 - 0,000010 t_l^2 + 0,000640 P_{max} t - 0,000054 P_{max} t_l + 0,086561 + \varepsilon \quad (5)$$

Сосна, ядро, тангентальное направление

$$\Delta\delta = 0,067060 P_{max} + 0,002066 t + 0,003041 t_l - 0,002686 P_{max}^2 - 0,000020 t^2 - 0,000010 t_l^2 + 0,000748 P_{max} t - 0,000050 P_{max} t_l + 0,094741 + \varepsilon \quad (6)$$

Береза, ядро, радиальное направление

$$\Delta\delta = 0,068998 P_{max} + 0,002915 t + 0,002649 t_l - 0,000026 t^2 - 0,000010 t_l^2 + 0,000876 P_{max} t - 0,000118 P_{max} t_l + 0,206849 + \varepsilon \quad (7)$$

Сосна, ядро, радиальное направление

$$\Delta\delta = 0,086448 P_{max} + 0,002835 t + 0,002898 t_l - 0,002656 P_{max}^2 - 0,000026 t^2 - 0,000009 t_l^2 + 0,000892 P_{max} t - 0,0000134 P_{max} t_l + 0,188587 + \varepsilon \quad (8)$$

Уравнения регрессии второго порядка точнее описывают процесс движения пропиточной жидкости в древесине в результате избыточного давления. Это объясняется тем, что они более приближены к реальному процессу [2].

В уравнениях (5, 7) отсутствуют значения коэффициентов  $P_{max}^2$  и  $t$ ,  $t_l$ , а в уравнении (6) - только  $t$ ,  $t_l$ . В результате статистической обработки эти значения были признаны незначимыми и исключены из соответствующих уравнений. Вместе с тем в уравнении (8) значение коэффициента  $P_{max}^2$  имеет меньшую степень значимости, что косвенным образом подтверждает правомерность исключения этого коэффициента из показанных выше уравнений как незначимых.

Уравнения регрессии второго порядка (формулы 5, 6, 7, 8) в рассмотренных интервалах с большей достоверностью, чем уравнения регрессии первого порядка, описывают процесс движения жидкости в древесине в результате избыточного давления. Об этом говорит и более корректная оценка значимости коэффициентов регрессии.

Вероятность отклонения коэффициентов регрессии, оставленных в уравнениях после проверки на значимость, достигает 13%. Стандартная ошибка коэффициентов регрессии не превышает 1,8%. Для сравнения, стандартная ошибка коэффициентов регрессии линейных уравнений достигает 7,8%. В целом значения стандартных ошибок коэффициентов регрессии

уравнений первого порядка имеют большее значение, что опять же подтверждает вывод о большей достоверности уравнений второго порядка по сравнению с линейными для решаемой задачи.

Полученные нелинейные уравнения регрессии в исследуемых пределах позволяют точнее делать выводы о степени влияния различных параметров на выходную величину, давать численную оценку того либо иного параметра. Выводы о влиянии параметров на выходную величину подтверждают и общие выводы, сделанные по линейным уравнениям регрессии.

Линейные уравнения регрессии рекомендуется использовать в тех случаях, когда достаточно лишь получения приблизительной оценки зависимости.

Очевидно, что представленные выше регрессионные уравнения позволяют решать различного рода вариационные и оптимизационные задачи по исследованию процессов движения жидкости в древесине в результате избыточного давления исходя из поставленных начальных условий.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Новиков В. А. Определение выходных параметров при защитной обработке изделий из древесины в упругомеханическом поле. // Тр. лесотехнического факультета ПетрГУ. Вып. 1. Петрозаводск, 1996.
2. Оснач Н. А. Проницаемость и проводимость древесины. М., 1964. 128 с.
3. Базаров С. М., Евдокимов Л. И., Новиков В. А. К вопросу пропитки древесины в упругомеханическом поле / ЛЛТА. Л., 1990. 13 с.