

УДК 634.02

Н.П. Вырко, профессор;

Г.И. Касперов, доцент

ПРОЕКТИРОВАНИЕ СОСТАВОВ ТЕПЛОИЗОЛЯЦИОННЫХ ПРОСЛОЕК НА ОСНОВЕ ГИДРОЛИЗНОГО ЛИГНИНА

The article contains the results of experimental and theoretical work and research aimed at achieving the mathematical model of the process of strengthening of hydrolytic lignin and compositions made on its basis. The model can be used in designing various structures of heat-insulating layers.

Для оценки влияния большого количества факторов, оказывающих воздействие на конечный результат эксперимента, с использованием обычных статистических методов требуется выполнение большого объема расчетных работ. При этом не всегда можно учесть влияние взаимодействия отдельных параметров исследуемого процесса между собой.

В этих условиях наиболее целесообразным является применение многофакторного метода планирования эксперимента, при котором все факторы изменяются одновременно. Проведенный по определенному плану эксперимент дает возможность получить математическую модель исследуемого процесса с требуемой точностью.

Нами ставилась цель получить математическую модель процесса укрепления гидролизного лигнина и композиций на его основе.

Необходимое количество опытов определяли по формуле

$$n = 2 \cdot \Phi^{-2}(\beta) \cdot v^2 \cdot \varepsilon^{-2}, \quad (1)$$

где $2\Phi^{-2}(\beta)$ - обратная функция Лапласа; v - коэффициент вариации; ε - показатель точности исследований.

Необходимое количество опытов было равно 22 - 26 для $P = 0,85$ и оптимальное количество опытов для $P = 0,90$ в пределах 30 - 37. На основании табл. 2.2 [6] для первого случая находили, что необходимое количество опытов равно 24. После проведения требуемого количества опытов были установлены примерные границы дозировок вяжущего, при которых укрепление гидролизного лигнина имеет практический смысл для целей дорожного строительства.

Для определения области оптимальных дозировок вяжущих спланировали и осуществили эксперимент по ротабельному методу [1, 3]. В качестве функции отклика принимали предел прочности водонасыщенных образцов при сжатии в возрасте 7 суток. В качестве влияющих факторов принимали дозировку извести, вяжущего, минерального наполнителя. Другие влияющие факторы (влажность материала, давление и продолжи-

тельность уплотнения и т.д.) устанавливались на определенном уровне и не учитывались в математическом описании, чтобы снизить общее число опытов и не усложнять математическую модель. Влажность гидролизного лигнина поддерживали в пределах 60...70 %, что соответствует оптимальной. Условия изготовления образцов определялись заранее и для оптимальных значений были равны: давление при уплотнении 20 МПа, время уплотнения 3 мин, температура вяжущего 55...60°C. Хранение и испытание проводились одним испытателем и на одном и том же оборудовании. Это обеспечивало соблюдение условия об однородности дисперсии, обязательного при использовании методов математического планирования эксперимента [2].

Область исследований по результатам поисковых опытов устанавливали следующую: известь $X_1 = 6...7\%$, вяжущее $X_2 = 6...9\%$, минеральный наполнитель $X_3 = 12...22\%$. Составляли матрицу планирования в кодированных и натуральных переменных согласно табл. 6 [3] и осуществляли опыт в соответствующих точках плана. Результаты эксперимента представлены в табл. 1.

Для получения математической модели, описывающей процесс укрепления гидролизного лигнина, использовали стандартные программы по регрессионному анализу [4, 5]. Расчеты проводили на ЭВМ. В качестве функции отклика были выбраны алгебраические полиномы, обеспечивающие адекватность и простоту модели [1].

$$y = a_0 + a_1x_1 + a_2x_2 + a_3x_3 \quad (2)$$

$$y = a_0 + a_1x_1 + a_2x_2 + a_3x_3 + a_{11}x_1^2 + a_{22}x_2^2 + a_{33}x_3^2 \quad (3)$$

$$y = a_0 + a_{11}x_1^2 + a_{22}x_2^2 + a_{33}x_3^2 \quad (4)$$

$$y = a_0 \cdot e^{a_1x_1 + a_2x_2 + a_3x_3} \quad (5)$$

$$y = a_0 + a_{111}x_1^3 + a_{222}x_2^3 + a_{333}x_3^2 \quad (6)$$

$$y = a_0 + a_1x_1 + a_2x_2 + a_3x_3 + a_{12}x_1x_2 + a_{13}x_1x_3 + a_{23}x_2x_3 + \\ + a_{11}x_1^2 + a_{22}x_2^2 + a_{33}x_3^2 \quad (7)$$

$$y = a_0 + a_1x_1 + a_2x_2 + a_3x_3 + a_{12}x_1x_2 + a_{13}x_1x_3 + a_{23}x_2x_3 + \\ + a_{11}x_1^2 + a_{22}x_2^2 + a_{33}x_3^2 + a_{111}x_1^3 + a_{222}x_2^3 + a_{333}x_3^3 \quad (8)$$

При обработке опытных данных на ЭВМ, в соответствии с положениями регрессивного анализа при оценке математической модели процес-

са укрепления гидролизного лигнина, приняты следующие предпосылки [2]: 1) полученная математическая модель процесса (равна) должна объяснить не менее 80% вариации; 2) стандартная ошибка прочности на сжатие по уравнению - менее 5% предсказываемого признака; 3) оценки значимости коэффициентов регрессионного уравнения по критерию Стьюдента производились с вероятностью $P = 95\%$; остатки от регрессии должны быть без заметной автокорреляции ($R > 0,300$) и без систематической составляющей.

При рассмотрении уравнений (2 - 8) следует отметить, что уравнения (3, 7, 8) в 96 - 99% объясняют вариацию прочности (табл.1). Применение при анализе исследуемого процесса алгебраических полиномов более высоких порядков, выше рассматриваемых, приводит к тому, что $R^2 \rightarrow 1$. Однако, как показывают исследования [5], при увеличении связи между независимыми переменными снижается точность оценивания коэффициентов регрессионного уравнения. Это следует из соотношения [5]

$$S^2 \{bj\} = \frac{S^2_{ост}}{N(1 - R^2)}, \quad (9)$$

где $S^2 \{bj\}$ - дисперсия оценок коэффициентов регрессионного уравнения; $S^2_{ост}$ - дисперсия остатков при приближении коэффициента множественной регрессии к единице, $S^2 \{bj\} \rightarrow \infty$. Это обстоятельство объясняет низкую работоспособность регрессионной модели.

Уравнения (2, 4 - 6) имеют коэффициент множественной регрессии менее 0,65 и в дальнейшем нами не учитываются, так как по принятым предпосылкам $R^2_{расч} < 0,80$.

Оценку коэффициентов уравнения множественной регрессии производили по вычисленному значению t_j - критерия Стьюдента (табл. 2).

$$t_j = \frac{|bj|}{S\{bj\}}, \quad (10)$$

где $|bj|$ - абсолютная величина коэффициента регрессии; $S\{bj\}$ - стандартное отношение коэффициента регрессии.

Как следует из табл. 1, все коэффициенты уравнения (3 и 8) значимы, так как по таблице t - распределения Стьюдента (табл. 2) для числа степеней свободы $\nu = \eta - 1 = 20 - 1 = 19$ и значения доверительной вероятности $P = 0,95$ значения t -статистики $t_{\nu}(1 - \alpha/2)$; $t_{19}(0,975) = 2,09$.

В уравнении (7) свободные члены a_{12} , a_{13} , a_{23} являются недостоверными, т.к. $t_{выч} < t_{табл}$, и для экспериментальных данных могут быть исключены из математической модели.

Табл.1. Показатели оценки уравнений множественного регрессионного анализа

№ уравнения	Коэффициент множественной регрессии	Стандартная ошибка множественной регрессии	Относительная ошибка оценки множественной регрессии	Сумма квадратов отклонений от линии регрессии	Среднеквадратичное отклонение от линии регрессии	Максимальное отклонение опытных значений от линии регрессии	Критерий Фишера	Диапазон варьирования параметра
2	0.63	0.1594	16.54	0.406	0.02542	0.292	3.57	
3	0.96	0.0567	6.09	0.42	0.00322	0.120	32.97	
4	0.64	0.1577	16.94	0.398	0.02488	0.304	3.76	0.840-
5	0.60	0.1780	19.42	0.507	0.3170	0.361	2.98	1.350
6	0.65	0.1555	16.77	0.387	0.02419	0.258	4.03	
7	0.96	0.0577	6.21	0.032	0.00328	0.077	21.92	
8	0.99	0.0056	0.60	0.0002	0.00003	0.104	1756.30	

Табл. 2. Вычисление t- критерия Стьюдента

№ уравнения	Свободные члены регрессии	Коэффициенты регрессии	Стандартное отклонение коэффициента регрессии	Значение критерия Стьюдента	
				вычисленное	табличное P=0.95
3	a ₁	1.240	0.207	5.982	2.09
	a ₂	1.257	0.241	5.198	
	a ₃	0.446	0.052	8.431	
	a ₁₁	0.092	0.015	5.826	
	a ₂₂	0.076	0.016	4.768	
	a ₂₂	0.013	0.001	8.450	
7	a ₁	0.994	0.321	3.090	2.09
	a ₂	1.044	0.303	3.438	
	a ₃	0.414	0.077	5.334	
	a ₁₁	0.092	0.016	5.788	
	a ₂₂	0.076	0.016	4.729	
	a ₃₃	0.013	0.001	8.381	
	a ₁₂	0.038	0.026	1.425	
	a ₁₃	0.002	0.002	0.801	
	a ₂₃	3.734	0.008	0.309	
	a ₂₃	3.734	0.008	0.309	
8	a ₁	3.734	0.224	16.656	2.09
	a ₂	5.099	0.421	12.110	
	a ₃	1.857	0.125	14.825	
	a ₁₁	0.645	0.034	18.572	
	a ₂₂	0.628	0.057	10.942	
	a ₃₃	0.100	0.007	13.292	
	a ₁₁₁	0.037	0.001	21.257	
	a ₂₂₂	0.024	0.002	9.607	
	a ₃₃₃	0.001	0.0001	11.582	
	a ₁₂	0.039	0.002	14.875	
	a ₁₃	0.002	0.0002	7.896	
	a ₂₃	0.002	0.0008	3.013	

Для оценки работоспособности математической модели, ее эффективности при описании выборочных данных может быть использовано соотношение [5]

$$F = \frac{S^2_{\text{общ}}\{y\}}{S^2_{\text{общ}}}, \quad (11)$$

показывающее, во сколько раз происходит снижение общего рассеяния наблюдений зависимой переменной при использовании выбранной модели. Эти значения, называемые критерием Фишера, табулированы для доверительных вероятностей $P = 0,75... 0,99$ и числом степеней свободы числителя ν_1 и знаменателя ν_2 . Вычисленные значения F - критерия для уравнений (3, 7, 8) - больше табличного: при $P = 0,95$ которые соответственно равны:

$$F_{(3)} = 3,96; \quad F_{(7)} = 3,14; \quad F_{(8)} = 2,91.$$

Стандартная ошибка (S) оценки прочности на сжатие по уравнениям (3, 6, 7) составляет соответственно 0,0567 МПа, или 6,09 %; 0,0577 МПа, или 6,21 %; 0,0056 МПа, или 0,60 % среднего значения предсказываемой прочности от линии регрессии по исследованным. Максимальные отклонения (Δ_{max}) опытных значений прочности от линии регрессии по исследуемым уравнениям составляют 0,077 - 0,120 МПа. Уравнение (8) характеризуется наименьшей суммой квадратичных отклонений ($\Sigma\Delta^2$) от линии регрессии $\Sigma\Delta^2_{(8)} = 0,00023$. Для уравнений (3,7) соответственно $\Sigma\Delta^2_{(3)} = 0,04189$; $\Sigma\Delta^2_{(7)} = 0,03276$.

Уравнение алгебраического полинома третьего порядка (8) характеризуется коэффициентом детерминации ($R^2=0,99983$), наименьшей относительной ошибкой оценки регрессии ($=0,60$) и суммой квадратичных отклонений ($=0,00023$), остатки распределены относительно линии «ноль» нормально. Поэтому в качестве модели связи прочности на сжатие водонасыщенных образцов из гидролизного лигнина от параметров укрепления рекомендуется применять алгебраический полином третьего порядка:

$$R = 4,566 - 3,734x_1 + 5,099x_2 - 1,857x_3 + 0,646x_1^2 - 0,628x_2^2 + + 0,100x_3^2 - 0,038x_1x_2 + + 0,024x_1x_3 - 0,001x_2x_3 + 0,039x_1x_2 - - 0,002x_1x_3 - 0,002x_2x_3, \quad (12)$$

где R - предел прочности на сжатие, МПа; x_1 - содержание извести в композиции, %; x_2 - содержание вяжущего в композиции, %; x_3 - содержание минерального наполнителя в композиции, %.

Для инженерных расчетов при проектировании составов теплоизоляционных прослоек на основе гидролизного лигнина нами рекомендуется следующая математическая модель:

$$R = -4,54 + 1,24x_1 + 1,26x_2 - 0,45x_3 - 0,10x_1^2 - 0,08x_2^2 + 0,01x_3^2. \quad (13)$$

ЛИТЕРАТУРА

1. Адлер Ю.П., Маркова Е.В., Грановский Ю.В. Планирование экспериментов при поиске оптимальных условий. - М.: Наука, 1976.
2. Дрейпер Н., Смит Г. Прикладной регрессионный анализ. - М., 1977.
3. Методика планирования экспериментов и обработки их результатов при исследовании технологических процессов в лесной и деревообрабатывающей промышленности. Ч. I и III. Учебное пособие для ФПК и аспирантов. /Под ред. А. А. Пижурин - М.: МЛТИ, 1972.
4. Петрович М.Л. Регрессионный анализ и его математическое обеспечение на ЕС ЭВМ. Практическое руководство. - М.: Финансы и статистика, 1982.
5. Плескунин В.И., Воронина Е.Д. Теоретические основы организации и анализа выборочных данных в эксперименте. - Л.: Ленингр. ун-т, 1979.
6. Шор Я.Б., Кузьмин Ф.И. Таблицы для анализа контроля надежности. - М.: Советское радио, 1968.

УДК630.261

П.С. Бобарыко, доцент;
С.Ф. Рапинчук, доцент;
Г.С. Корин, ассистент;
С.В. Ращупкин, студент;
А.М. Лось, студент

ХАРАКТЕРИСТИКА ТЕРМИНАЛОВ И ЛЕСНЫХ ГРУЗОВ

In this article a looking the questions about organization freight traffic. A given characteristic a forest freights and terminals .

Эффективное функционирование индустрии грузоперевозок невозможно без учета прогноза грузопотоков, совершенствования парка транспортных средств, сочетания комбинированных перевозок различными видами транспорта, унификации требований, предъявляемых к транспортировке лесных грузов.

Рассмотрим основные элементы транспортной системы. В нее входят транспортные пути, терминалы, тяговые средства и подвижной состав. Основное назначение транспортных путей состоит в обеспечении переме-