

Удобство и быстрота данного метода позволяют рекомендовать его для определения качества склеивания слоистых древесных материалов.

УДК 674.816.2

Л.В.Гольцева, П.А.Чемлева, В.И.Кучерявый, М.Л.Лернер
(Московский лесотехнический институт)

ОПТИМИЗАЦИЯ СОСТАВА ВЯЖУЩЕГО ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ ЦЕМЕНТОСТРУЖЕЧНЫХ ПЛИТ

Качество древесно-цементных материалов существенно зависит от исходных характеристик их составляющих, основными из которых являются минеральное вяжущее и органический наполнитель. Наличие в стружке экстрактивных веществ древесины (ЭВД) отрицательно влияет на схватывание традиционного вяжущего — портландцемента.

В данной экспериментальной работе была поставлена задача выявить влияние ЭВД на известково-хлоркальциевое вяжущее (ИХКВ) и, варьируя количественные соотношения компонентов, найти составы цементностружечных плит (ЦСП), качество которых удовлетворяет требованиям ГОСТ 26816-86 "Плиты цементностружечные. Технические условия" [1].

Зависимости изменения физико-механических характеристик материала от варьируемых факторов строились в виде эмпирических математических моделей в форме полинома. Предполагалась возможность аппроксимации полиномами второго порядка

$$y^{(l)} = b_0^{(l)} + \sum_{i=1}^n b_i^{(l)} x_i + \sum_{1 \leq i < j \leq n} b_{ij}^{(l)} x_i x_j + \sum_{i=1}^n b_{ii}^{(l)} x_i^2, \quad (1)$$

где b — численные оценки коэффициентов;
 n — количество варьируемых переменных;
 l — номер выходной характеристики.

Такое предположение было сделано на основе анализа литературы по математическому моделированию физико-механических

свойств строительных материалов [2]. Эксперименты планировались в соответствии с симметричным планом второго порядка.

Расчет численных значений оценок коэффициентов $b^{(e)}$ проводился по методу наименьших квадратов на ЭВМ БЭСМ-6 НИИ МГУ.

Для полученных моделей определялся множественный коэффициент корреляции R , а также проверялась адекватность по критерию Фишера F .

На первом этапе исследований для изучения влияния ЭВД на известково-гидроксидное вяжущее эксперименты ставились на образцах-кубах размерами $7 \times 7 \times 7$ см. Для приготовления вяжущего применялись следующие материалы:

- цемент М-400 Михайловского завода;
- известь молотая активностью 72,8% Люберецкого завода;
- хлористый кальций технический (ГОСТ 450-77);
- экстракт, полученный из стружки свежесрубленной осины.

Для извлечения водорастворимых экстрактивных веществ древесины 1 кг стружки влажностью 30% заливался 6 л воды и после нагревания в течение трех часов при $T = 70^\circ\text{C}$ выдерживался двадцать часов при комнатной температуре $T = 20^\circ\text{C}$. Экстракт отфильтровывался и с водой затворения вводился в смесь. Образцы вяжущего испытывались в семисуточном возрасте.

Эксперименты реализовывались в соответствии с планом второго порядка B_3 , содержащим 15 экспериментальных точек [3]. При этом варьировались 3 фактора:

- x_1 - расход извести в вяжущем;
- x_2 - содержание экстрактивных веществ;
- x_3 - расход хлористого кальция.

Матрица планирования и результаты экспериментов приведены в табл.1.

В результате обработки экспериментальных данных была получена математическая модель, описывающая воздействие экстрактивных веществ древесины на ИХКВ при различных соотношениях компонентов:

Таблица 1

Номер опыта	Кодированные значения			Натуральные значения			Прочность на изгиб, МПа
	Z ₁	Z ₂	Z ₃	X ₁	X ₂	X ₃	
1	-1	-1	-1	90	0	30	3,84
2	+1	-1	-1	240	0	30	2,55
3	-1	+1	-1	90	1	30	3,47
4	+1	+1	-1	240	1	30	2,58
5	-1	-1	+1	90	0	80	5,76
6	+1	-1	+1	240	0	80	3,59
7	-1	+1	+1	90	1	80	3,94
8	+1	+1	+1	240	1	80	2,79
9	-1	0	0	90	0,5	55	3,94
10	+1	0	0	240	0,5	55	2,33
11	0	-1	0	165	0	55	2,83
12	0	+1	0	165	1	55	2,96
13	0	0	-1	165	0,5	30	17,6
14	0	0	+1	165	0,5	80	27,5
15	0	0	0	165	0,5	55	3,32

$$\begin{aligned}
 R = & 5,1963 - 0,047x_1 - 1,793x_2 + 0,0793x_3 + \quad (2) \\
 & + 0,00012x_1^2 + 1,702x_2^2 - 0,00033x_3^2 + 0,0097x_1x_2 - \\
 & - 0,00008x_1x_3 - 0,0228x_2x_3.
 \end{aligned}$$

Полученная модель адекватно аппроксимирует результаты экспериментов, так как рассчитанное значение

$$F = \frac{S^2_{мод}}{S^2_{ост}} = 6,2$$

больше табличного значения $F_{\text{ТАБЛ}}(0,05)=4,8$ при $f_1=9$ и $f_2=5$.
 Графическая интерпретация данной модели представлена на рис.1.

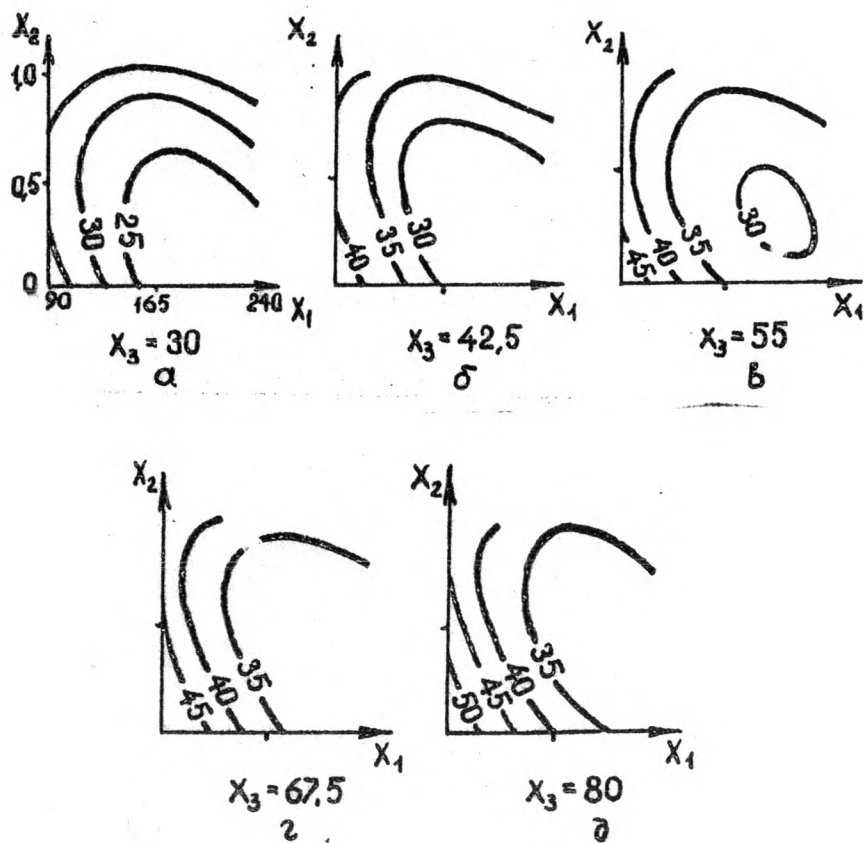


Рис.1. Зависимости прочности вяжущего различного состава от содержания экстрактивных веществ

Анализ графиков позволяет сделать основные выводы (в пределах диапазонов варьирования факторов):

- максимальная прочность при сжатии затвердевшего ИХКВ достигается при малом (90...120 г) расходе извести и большом (70...80 г) расходе хлористого кальция (рис. 1, д),
- при расходе извести 90...120 г, хлористого кальция 40...70 г наблюдается наименьшая зависимость прочности вяжущего от наличия экстрактивных веществ древесины (рис. 1, б, в, г). Следует заметить, что прочность при сжатии затвердевшего вяжущего недостаточно полно характеризует поведение композиционного материала.

В связи с этим на втором этапе изготавливались образцы цементно-стружечных плит - конечный материал исследования- по технологии, принятой в производстве, и следующему составу:

- расход вяжущего 770 кг/м³;
- расход стружки из свежесрубленной осины 280 кг/м³ (абс. сухой);
- влажность смеси 43%.

Варьировались факторы:

x_1 - расход извести в вяжущем;

x_2 - расход хлористого кальция в вяжущем.

Контролируемым фактором x_3 являлось содержание экстрактивных веществ в стружке, %. Количество ЭВ в стружке принималось равным сумме определенных инвертных сахаров и танинов. В процессе проведения экспериментов оказалось, что исходная влажность стружки существенным образом влияет на качество плит. Было решено рассматривать величину влажности древесины как контролируемую переменную x_4 . В качестве выходных характеристик моделей приняты следующие показатели ЦСП:

y_1 - плотность плит;

y_2 - прочность при изгибе;

y_3 - водопоглощение за 24 ч;

y_4 - разбухание за 24 ч.

Матрица планирования эксперимента и полученные результаты приведены в табл.2.

При обработке результатов использовалась программа шагового регрессионного анализа, основанного на методе последовательного включения в модель наиболее информативных членов в порядке убывания их значимости.

Процедура включения заканчивалась, если любой из невошедших в модель членов описывал не более 0,3% общей вариации выходной характеристики. В качестве меры вариации рассматривалась сумма квадратов отклонений выходной характеристики от ее среднего:

$$S\sum y^{(l)} = \sum_{n=1}^N (y_n^{(l)} - \bar{y}^{(l)})^2, \quad (3)$$

где N - число экспериментальных точек;

$l = 1...4$ - индекс выходной характеристики.

В табл.3 приведены рассчитанные значения оценок коэффициентов для всех четырех моделей, а также значения критерия Фишера F и множественного коэффициента корреляции R . Все построенные модели адекватно описывают полученные экспериментальные данные.

На основании найденных математических моделей были построены графики изменения выходных характеристик в зависимости от варьируемых переменных в виде изолиний на двумерных сечениях x_1-x_2 четырехмерной области исследования при фиксированных двух переменных x_3 и x_4 (рис.2,а). На этих графиках штриховкой отмечены области недопустимых с точки зрения соответствия ГОСТ 26816-86 значений выходных характеристик.

Совмещением на одной общей диаграмме полученных графиков можно найти области оптимальных составов цементно-стружечных плит в зависимости от количества ЭВД и величины исходной влажности заполнителя (рис.2, б). Определенные таким образом области оптимальных составов приведены на рис.3. Диаграммы расположены в порядке увеличения влажности древесины слева направо и количества экстрактивных веществ сверху вниз.

Таблица 2

Матрица планирования и результаты экспериментов

Номер опыта	Кодированные значения				Натуральные значения				У ₁ кг/м ³	У ₂ МПа	У ₃ %	У ₄ %
	Z ₁	Z ₂	Z ₃	Z ₄	X ₁	X ₂	X ₃	X ₄				
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
1	-	-	-	-	90	30	0,31	5	1095	14,9	19,8	2,7
2	+	-	-	-	240	30	0,31	5	1265	9,8	8	1,65
3	-	+	-	-	90	80	0,31	5	1122	7,8	18,2	4,8
4	+	+	-	-	240	80	0,31	5	1134	7,7	19,9	1,75
5	-	-	+	-	90	30	0,57	5	1130	16	17,3	4,3
6	+	-	+	+	240	30	0,57	5	1130	13,2	6,6	4,0
7	-	+	+	-	90	80	0,57	5	1185	9	12,3	7,0
8	+	+	+	-	240	80	0,57	5	1230	11,1	14	6,0
9	-	-	-	+	90	30	0,31	100	1155	16,5	21,1	0,85
10	+	-	-	+	240	30	0,31	100	1250	13,5	19	1,0
11	-	+	-	+	90	80	0,31	100	1140	7,4	24,7	1,6
12	+	+	+	+	240	80	0,31	100	1075	9,4	35,7	1,1
13	-	-	+	+	90	30	0,57	100	1190	13,4	19,7	2,5
14	+	-	+	+	240	30	0,57	100	1315	12,7	17,6	3,4
15	-	+	+	+	90	80	0,57	100	1200	4,4	18,8	5,1
16	+	+	+	+	240	80	0,57	100	1170	8,7	29,8	5,4
17	-	0	0	0	90	55	0,44	53	1190	11,2	18,5	1,3
18	+	0	0	0	250	55	0,44	53	1260	10,8	18,3	0,9
19	0	-	0	0	165	30	0,44	53	1245	13,5	16	0,5
20	0	+	0	0	165	80	0,44	53	1185	8,2	21,5	1,9

Окончание табл. 2

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
21	0	0	-	0	165	55	0,31	53	1210	10,9	18,6	0,7
22	0	0	+	0	165	55	0,57	53	1280	11,1	14,9	2,2
23	0	0	0	-	165	55	0,44	5	1250	11,2	10,9	3,1
24	0	0	0	+	165	55	0,44	100	1250	10,7	18,6	1,9
25	0	0	0	0	165	55	0,44	53	1250	11	16,7	0,74

Таблица 3

Значения оценок коэффициентов математических моделей

Коэффициент	Входные характеристики			
	У1	У2	У3	У4
В 0	23,9	44,1	6,1	665,2
В 1	-0,0723	-0,2282	-0,03	3,207
В 2	-0,198	-0,433	-0,098	8,16
В 3	-	4,98	-	-
В 4	0,0683	-	-0,109	1,38
В 11	-	0,000294	0,0000574	-0,00506
В 22	-	0,00325	0,000692	-0,0575
В 44	-	-0,000664	0,000775	-
В 12	0,000661	0,00174	-0,000089	-0,02107
В 13	0,0579	-	0,02	0,8266
В 14	0,000145	0,00065	0,0000853	-0,00543
В 23	-	-0,345	0,146	2,091
В 24	-0,000424	0,000994	-	-0,00866
В 34	-0,168	-	-	-
F	5,5	5,1	5,9	2,94
K	0,94	0,96	0,97	0,94

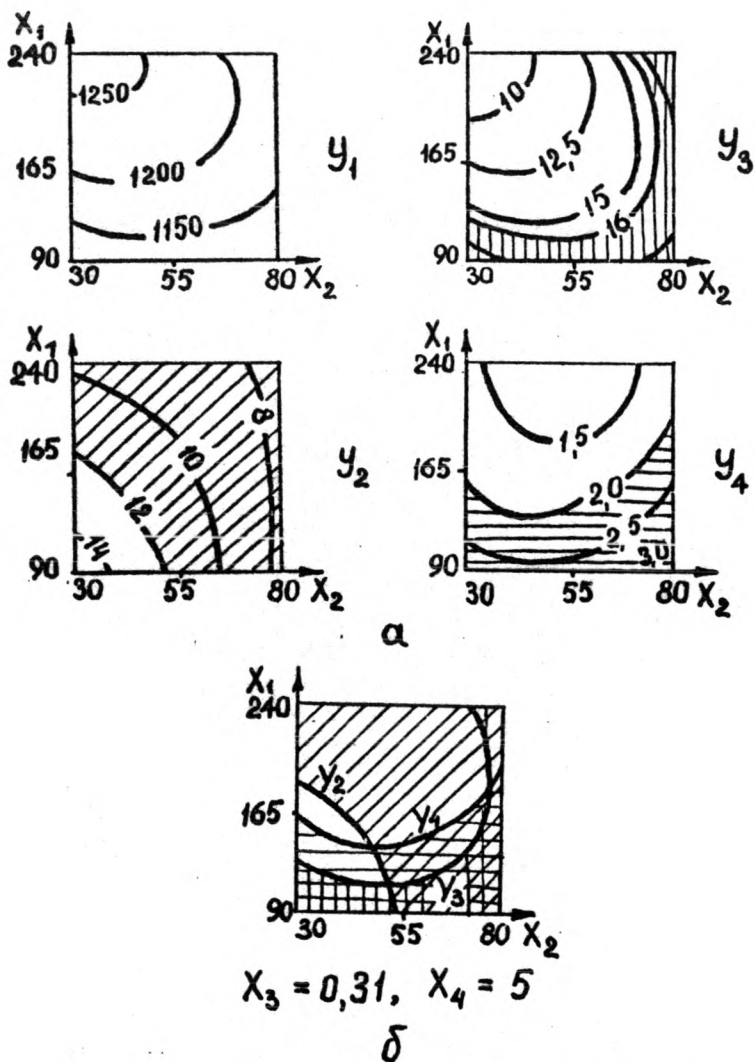


Рис.2. Определение области оптимальных составов вяжущего

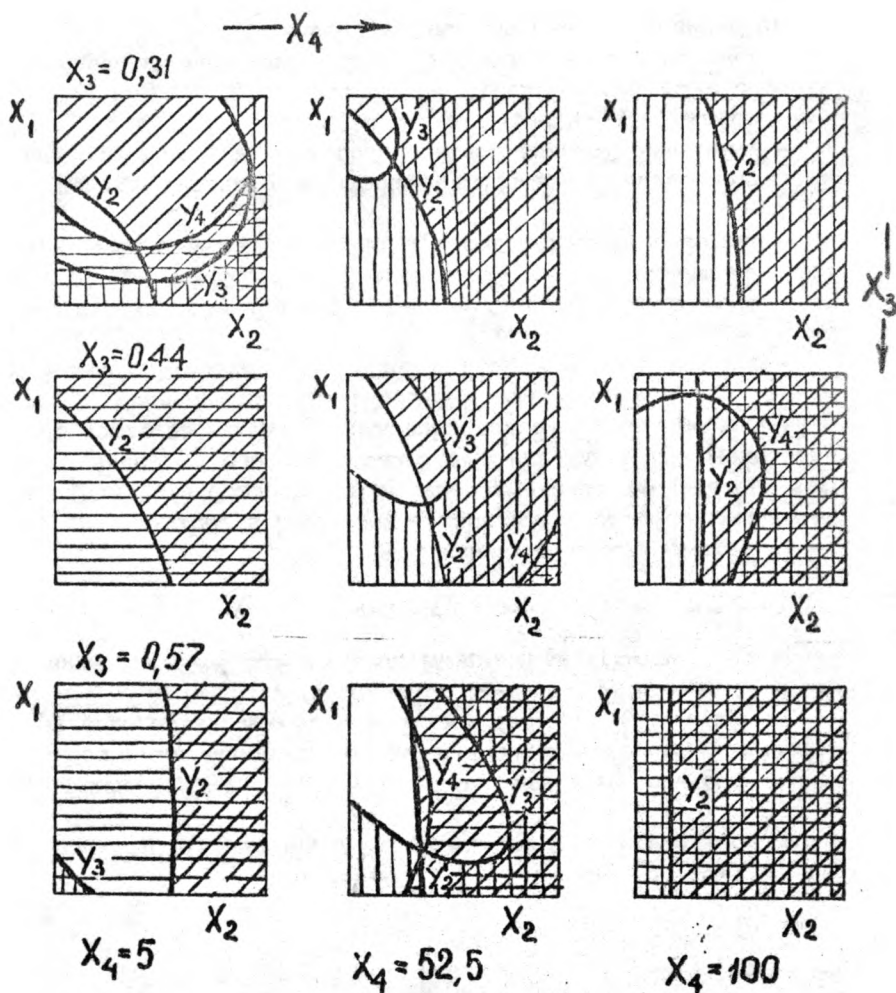


Рис.3. Области оптимальных составов вяжущего:
 X_1 - известь (90...240 кг/м³), X_2 - хлористый кальций (30...80 кг/м³), X_3 - экстрактивные вещества (0,31...0,57%), X_4 - влажность стружки (5...100%)

Из анализа полученных данных следует:

- область рекомендуемых составов известковохлоркальциевого вяжущего находится в границах, кг/м^3 : CaCl_2 20...45, известь - 160...240,
- наилучшие условия для производства ЦСП высокого качества обеспечиваются при влажности заполнителя, равной 35...70%,
- низкая влажность заполнителя положительно влияет на водопоглощение (U_3) и отрицательно на разбухание (U_4) цементно-стружечных плит (особенно при большом количестве ЭВД),
- при высокой влажности заполнителя невозможно получение ЦСП с допустимым значением водопоглощения.

Таким образом, высокое содержание ЭВД не является препятствием для получения высококачественного материала. Для обеспечения требуемых выходных характеристик ЦСП необходимо корректировать состав вяжущего в соответствии с результатами данных исследований.

ЛИТЕРАТУРА

1. ГОСТ 26816-86. Плиты цементно-стружечные, Технические условия. М.: Изд-во стандартов, 1986. 16 с.
2. Бутерин В.М. Исследование и оптимизация влияния некоторых химических добавок на интенсификацию роста прочности арболита // Научные труды МТИ. М., 1982. Вып.121. С.150.
3. Голикова Т.И., Панченко Л.А., Фридман М.З. Каталог планов второго порядка. М., 1974. 2 т.