

УДК 674.815\_41

В.В.Васильев, Б.В.Рошмаков,  
Е.Е.Комарова, Л.Н.Никанорова  
(Ленинградская лесотехническая академия)

## ВЛИЯНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ ПРОИЗВОДСТВА ДРЕВЕСНО-СТРУЖЕЧНЫХ ПЛИТ НА ИХ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА И ВЫДЕЛЕНИЕ ФОРМАЛЬДЕГИДА

Древесно-стружечные плиты в процессе эксплуатации выделяют формальдегид в количествах, превышающих установленные Минздравом нормы. Количество выделяющегося из плит формальдегида в значительной мере зависит от ряда технологических факторов их производства [1].

Учитывая многообразие технологических факторов, оказывающих влияние на формирование свойств ДСтП, провели исследование, направленное на выявление главных факторов, решающим образом изменяющих выделение формальдегида из готовых плит.

Исследование провели путем постановки отсеивающего эксперимента методом "случайного баланса" [2]. Перечень исследуемых факторов и уровни их варьирования представлены в табл.1. Основной уровень исследуемых факторов установили на оптимальных или близких к ним значениях, принятых в производстве ДСтП. Значения фактора "продолжительность прессования" установили по результатам предварительного эксперимента, в ходе которого прессовали плиты при наименее благоприятных условиях - высокой плотности плиты и влажности стружки, максимальном содержании связующего во внутреннем слое и минимальной температуре (опыт 16, табл.2). В ходе этого исследования установили, что минимальная продолжительность прессования составляет 0,35 мин/мм толщины готовой плиты. В связи с этим для всех опытов определили диапазон фактора "продолжительность прессования" от 0,35 до 0,55 мин/мм.

Таблица 1

Переменные факторы и уровни их варьирования

Факторы	Код	Уровни		
		основной (0)	верхний (+)	нижний (-)
Плотность плиты, кг/м <sup>3</sup>	X <sub>1</sub>	700	800	600
Доля наружных слоев в общем объеме плиты, %	X <sub>2</sub>	35	50	20
Количество связующего в слоях, %:				
	наружных	X <sub>3</sub>	12,5	15
внутреннем	X <sub>4</sub>	8	10	6
Концентрация связующе- го, %	X <sub>5</sub>	55	60	50
Влажность стружки сло- ев, %:				
	наружных	X <sub>6</sub>	4	6
внутреннего	X <sub>7</sub>	3	5	1
Количество отвердителя в слоях, %:				
	наружных	X <sub>8</sub>	1,0	1,5
внутреннем	X <sub>9</sub>	2,0	3,0	1,0
Продолжительность прес- сования, мин/мм	X <sub>10</sub>	0,45	0,55	0,35
Температура прессова - ния, °С	X <sub>11</sub>	170	140	200

Для изготовления плит применяли карбаминоформальдегидную смолу марки КФ-МТ. Смола имела следующие характеристики: сухой остаток - 66%, содержание метилольных групп -

- 17%, содержание свободного формальдегида - 0,32%, время желатинизации при 100°C с 1%  $\text{NH}_4\text{Cl}$  - 67,7 с.

Изготавливали трехслойные древесно-стружечные плиты. Стружку получали из березовых чураков на дисковом стружечном станке, затем проводили дополнительное измельчение ее в молотковой дробилке. Для наружных слоев использовали частицы, прошедшие через сито с размером отверстий 2x2 мм, для внутреннего - частицы фракции 6/2. Стружку сушили до требуемой в соответствии с условиями опыта влажности. Связующее готовили путем смешивания смолы концентрацией 66%, воды для доведения смолы до нужной концентрации и отвердителя в виде 20-процентного раствора хлористого аммония. Связующее наносили на стружку методом пневматического распыления. Прессовали плиты размером 400x400x16 мм при удельном давлении 2,0 МПа. Матрица планирования эксперимента представлена в табл.2.

Определяли физико-механические свойства плит и выделение из них формальдегида. Определение выделяющегося из плит формальдегида проводили эмиссионным термогидролитическим методом на образцах размером 90x45x16 мм, которые помещали в стеклянные банки емкостью 1000 мл с 35 мл дистиллированной воды. Банки с образцами выдерживали в термощкафу при 60°C в течение 4 ч. Затем охлаждали до комнатной температуры в течение часа. Воду с поглощенным формальдегидом сливали в мерную колбу вместимостью 50 мл, ополаскивали банку 15 мл дистиллированной воды, которую также сливали в мерную колбу. Формальдегид определяли фотоколориметрическим методом с использованием ацетилацетона.

Результаты определения физико-механических свойств ДСтП представлены в табл.2. Обработку результатов с целью выявления значимых факторов, оказывающих решающее влияние на формирование изучаемого параметра, проводили путем построения диаграмм рассеяния [2]. Качественную оценку факторов проводили визуально по разности медиан и по числу выделившихся точек. Для количественной оценки эффектов выделенных факторов составляли таблицы с двумя входами. Для оценки значимости эффектов рассчитывали критерий Стьюдента и сравнивали его с табличным.

Таблица 2

Матрица планирования и результаты эксперимента

Номер опыта	Факторы											Прочность при статическом изгибе, МПа	Разбухание по толщине, %	Водопоглощение, %	Выделение СН <sub>4</sub> , мг/100г ДСтП, после изготовления плит через	
	X <sub>1</sub>	X <sub>2</sub>	X <sub>3</sub>	X <sub>4</sub>	X <sub>5</sub>	X <sub>6</sub>	X <sub>7</sub>	X <sub>8</sub>	X <sub>9</sub>	X <sub>10</sub>	X <sub>11</sub>				2 недели	4 недели
1	-	-	+	+	+	-	+	+	+	-	+	26,9	25,0	91,9	21,0	17,2
2	+	-	-	+	-	-	-	-	+	+	-	36,3	32,1	63,3	23,0	18,0
3	-	+	-	+	+	-	+	+	+	+	+	23,4	32,1	99,6	13,9	18,0
4	+	+	+	+	+	-	-	+	+	-	-	41,0	28,3	52,9	16,6	22,3
5	-	-	-	-	-	+	+	-	+	+	+	20,5	42,2	122,0	19,0	16,0
6	+	-	+	-	+	+	-	+	+	+	+	34,8	51,8	85,7	6,3	9,1
7	-	+	+	-	-	+	-	+	+	-	-	22,5	28,3	94,0	27,0	26,2
8	+	+	-	-	-	-	+	-	+	+	+	32,6	55,4	87,6	14,1	13,4
9	-	-	+	-	-	-	+	-	-	+	+	18,9	38,5	109,0	14,2	11,0
10	+	+	-	-	-	+	-	-	-	-	-	32,1	55,2	93,5	14,8	16,0
11	-	-	-	-	+	-	-	+	-	-	-	17,4	35,6	120,3	23,3	28,4
12	+	+	+	-	+	-	-	-	-	-	-	34,8	44,8	70,1	22,4	22,6
13	-	-	-	+	+	+	+	-	+	+	+	23,6	28,8	91,3	11,5	10,9
14	+	-	+	+	-	-	+	+	-	+	+	20,7	27,3	55,0	11,6	11,3
15	-	+	+	+	+	-	+	+	+	+	-	27,2	21,3	82,3	28,9	28,7
16	+	+	-	+	+	+	+	-	-	-	-	33,3	24,7	56,1	18,5	14,0

# Электронный архив УГЛТУ

Учитывая, что аналогичные исследования по выявлению технологических факторов, влияющих на физико-механические свойства плит с близкими уровнями варьирования переменных, были проведены ранее другими авторами [3], мы не приводим здесь процедуру обработки данных. Результаты нужны нам для подтверждения надежности проведенного исследования по оценке токсичности древесно-стружечных плит.

Математическая обработка данных показала, что на прочность плит при статическом изгибе основное влияние в исследованных диапазонах изменения переменных оказывают плотность плиты (значение коэффициента уравнения регрессии +6,7), содержание смолы во внутреннем (+2,6) и в наружных (+1,9) слоях.

На разбухание по толщине решающее влияние оказывают изменение плотности плиты (+4,2), содержания смолы во внутреннем (-8,2) и наружных (-2,4) слоях, температуры прессования (+3,1) и влажности стружки внутреннего слоя (-1,9).

На водопоглощение плит влияют плотность плиты (-15,5), содержание смолы во внутреннем (-12,0) и наружных (-5,8) слоях и температура прессования (+3,1). Полученные закономерности полностью согласуются с известными [3].

Выделение формальдегида определяли через две и четыре недели после их изготовления (см.табл.2). Полученные данные показывают, что выделение формальдегида из готовых плит в значительной мере зависит от изменения технологических факторов их изготовления.

По результатам экспериментов (см.табл.2) построили диаграммы рассеяния, показывающие влияние технологических факторов на выделение формальдегида из плит (рис.1, 2).

После анализа диаграмм эффекты факторов  $X_{11}$  и  $X_1$  были признаны существенно влияющими на выделение формальдегида как через 2, так и через 4 недели после изготовления плит. В результате расчетов получили следующие значения эффектов факторов, влияющих на количество формальдегида, выделяющегося через две недели:  $\Delta X_{11} = -9,4$

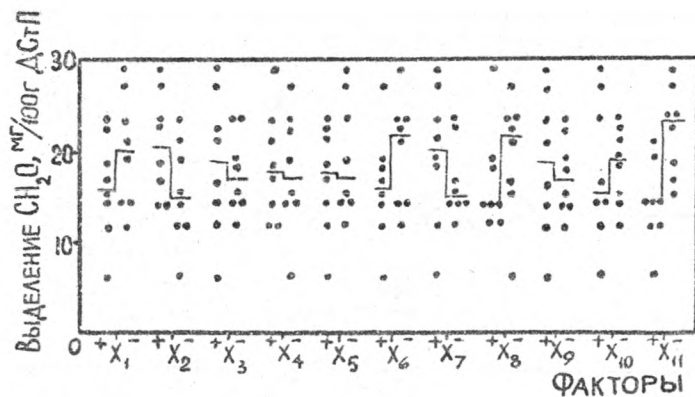


Рис.1 Диаграмма рассеяния результатов экспериментов влияния технологических факторов на выделение формальдегида из ДСтП через две недели после их изготовления

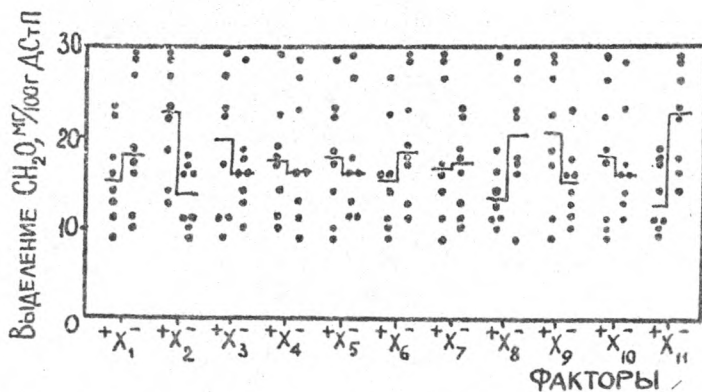


Рис.2 Диаграмма рассеяния результатов экспериментов влияния технологических факторов на выделение формальдегида из ДСтП через 4 недели после их изготовления

$\Delta X_1 = -6,3$ ; и через 4 недели :  $\Delta X_{11} = -10,2$ ,  
 $\Delta X_1 = -6,3$ . Проверка статистической значимости показала, что все эффекты выделенных факторов значимы с 5-процентным уровнем.

На втором этапе обработки результатов исключили влияние выделенных факторов. С этой целью провели корректировку результатов экспериментов, в ходе которой вычитали значения  $\Delta X_{11}$  и  $\Delta X_1$  из всех значений  $Y$ , для которых факторы  $X_{11}$  и  $X_1$  находятся на верхнем уровне (+1). После корректировки результатов снова построили диаграммы рассеяния.

Анализ новых диаграмм позволил выделить эффект фактора  $X_6$ . Расчеты показали, что его влияние на выделение формальдегида через две недели после изготовления плит равен

$\Delta X_6 = -3,9$ , а через 4 недели  $\Delta X_6 = -3,6$ . На выделение формальдегида через 4 недели оказывает влияние и фактор  $X_9$  с эффектом  $\Delta X_9 = +3,1$ . Выделенные эффекты

$\Delta X_6$  и  $\Delta X_9$  значимы с 20-процентным уровнем.

На третьем этапе обработки результатов снова произвели корректировку данных и вновь построили диаграммы рассеяния. Анализ диаграмм показал, что величина эффектов всех оставшихся факторов не превышает ошибки опыта, поэтому их влияние отнесли к "шумовому полю" и на этом закончили обработку результатов эксперимента.

Таким образом, методом "случайного баланса" определили технологические факторы, оказывающие наиболее существенное влияние на количество формальдегида, выделяющегося из плит через 2 и 4 недели после их изготовления, а также значения коэффициентов уравнений регрессии, по величине которых можно судить о степени влияния фактора на исследуемый параметр (табл.3).

Результаты испытания древесно-стружечных плит показали, что выделение формальдегида из плит через 2 и 4 недели после их изготовления зависит от одних и тех же технологических факторов. Наиболее значительное влияние в исследованном диапазоне переменных оказывает температура прессования плит (фактор  $X_{11}$ ). Об этом говорит максимальная по абсолютному значению величина коэффициента регрессии:  $-4,70$  для плит,

# Электронный архив УГЛТУ

Таблица 3

Факторы, выделенные по результатам отсеивающего эксперимента

Исследуемый параметр	Факторы	Оценка коэффициента регрессии
Количество формальдегида, выделяющегося из ДСтП через 2 недели после изготовления плит	$X_{11}$ - температура прессования	-4,70
	$X_1$ - плотность плиты	-3,15
	$X_6$ - влажность стружки наружных слоев	-1,95
Количество формальдегида, выделяющегося из ДСтП через 4 недели после изготовления плит	$X_{11}$ - температура прессования	-5,10
	$X_1$ - плотность плиты	-3,15
	$X_6$ - влажность стружки наружных слоев	-1,80
	$X_9$ - количество отвердителя во внутреннем слое	+1,55

испытанных через две недели после их изготовления, и -5,10 - через 4 недели. Отрицательный знак коэффициентов указывает на то, что при повышении температуры прессования выделение формальдегида из плит снижается. Вторым по оказываемому влиянию технологическим фактором является плотность плиты (фактор  $X_1$ ). Знак коэффициентов этого фактора указывает, что выделение формальдегида из единицы массы плиты понижается с увеличением плотности плиты от 600 до 800 кг/м<sup>3</sup>. Два этих фактора - температура прессования и плотность плиты - оказывают основное влияние на токсичность готовых плит. Оба они выделены достаточно надежно с вероятностью 0,95.

Меньшее влияние и значимость имеют два других выделенных фактора:  $X_6$  - влажность стружки наружных слоев плиты и  $X_9$  - количество отвердителя в связующем внутреннем слоя плиты, причем последний фактор выделен только при испытании



плит через 4 недели после их изготовления. Знаки коэффициентов факторов  $X_6$  и  $X_9$  указывают на то, что снижение выделения формальдегида из плит наблюдается при повышении влажности стружки наружных слоев от 2 до 6% и понижении содержания отвердителя  $NH_4Cl$  в связующем внутреннего слоя от 3 до 1%.

Интересным результатом проведенного отсеивающего эксперимента является незначимость факторов "содержание связующего" на выделение формальдегида из древесно-стружечных плит.

Полученные нами закономерности позволяют предположить, что на выделение формальдегида из готовых плит значительное влияние оказывают процессы, протекающие при горячем прессовании древесно-стружечных плит, и структурные характеристики плиты. Вероятно, из готовых плит в начальный период их эксплуатации в основном выделяется формальдегид, оставшийся в плите после прессования. Количество формальдегида, адсорбированного компонентами плиты, в значительной степени зависит от температуры, при которой происходит адсорбция, причем повышение температуры прессования приводит к снижению адсорбированного формальдегида.

Снижение количества адсорбированного формальдегида будет наблюдаться также при уплотнении древесных частиц плиты, так как уменьшается пористость древесины. Повышая плотность ДСтП, мы снижаем пористость древесных частиц и уменьшаем их адсорбционную способность. Повышение влажности частиц наружного слоя способствует лучшему уплотнению их при последующем горячем прессовании. Кроме того, повышение плотности плиты и особенно наружных ее слоев замедляет процесс диффузии формальдегида в окружающую атмосферу.

Выделенные в ходе отсеивающего эксперимента факторы производства ДСтП будут исследованы в последующих опытах по оптимизации технологии изготовления плит с минимальным выделением формальдегида.

## Литература

1. Шедро Д.А., Семеновская Ю.Г. О выделении формальдегида из древесно-стружечных плит//Деревообрабатывающая промышленность. 1985. № 6. С.8-10.
2. Ахназарова С.Л., Кафаров В.В. Методы оптимизации эксперимента в химической технологии: Учеб.пособие для студентов химико-технологических специальностей вузов.2-е изд., перераб. и доп. М., 1985. 327 с.
3. Рощмаков Б.В., Эльберт А.А., Солечник Н.Я. Определение оптимальных условий получения древесно-стружечных плит с улучшенными гидрофобными свойствами//Изв.вузов. Лесной журнал, 1974. № 5, С.117-122.