

# ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ОБЛИЦОВЫВАНИЯ ЩИТОВЫХ МЕБЕЛЬНЫХ ЗАГОТОВОК С ЦЕЛЬЮ ИССЛЕДОВАНИЯ ВЫДЕЛЕНИЯ СВОБОДНОГО ФОРМАЛЬДЕГИДА

**SIMULATION OF THE PROCESS  
OF VENEERING THE PANELS,  
FURNITURE BLANKS, IN ORDER  
TO STUDY THE RELEASE OF FREE  
FORMALDEHYDE**

**V. Romanov  
B. Pruss  
Ya. Prozorov**

*Summary.* The article describes the developed software for the simulation of the process of veneering of panel board furniture blanks in order to study the release of free formaldehyde. The structure of the developed software is described. An example of using software to perform research is given.

*Keywords:* simulation, software, veneering furniture panels, free formaldehyde emission, research.

**Романов Виктор Александрович**

*К.т.н., доцент, ФГБОУ ВО «Брянский государственный инженерно-технологический университет», г. Брянск  
vromanov62@mail.ru*

**Прусс Борис Наумович**

*К.т.н., доцент, ФГБОУ ВО «Брянский государственный инженерно-технологический университет», г. Брянск  
prussbor@gmail.com*

**Прозоров Ярослав Сергеевич**

*К.т.н., ФГБОУ ВО «Брянский государственный технический университет», г. Брянск  
uprozorov@gmail.com*

*Аннотация.* В статье описано разработанное программное обеспечение для имитационного моделирования процесса облицовывания щитовых мебельных заготовок с целью исследования выделения свободного формальдегида. Описана структура разработанного программного обеспечения. Приведен пример использования программного обеспечения для выполнения исследований.

*Ключевые слова:* имитационное моделирование, программное обеспечение, облицовывание мебельных щитов, выделение свободного формальдегида, исследование.

**Ф**ормальдегид — одно из приоритетных загрязняющих веществ не только атмосферы и воздуха производственных помещений, но и воздуха общественных и жилых зданий. С каждым годом количество российских городов с повышенным содержанием формальдегида в атмосфере всё возрастает. Существует множество источников выделения формальдегида в атмосферу, среди которых производство щитовых мебельных заготовок.

Снижение содержания формальдегида в воздухе относится к актуальной экологической проблеме, связанной с эмиссией формальдегида из готовых изделий, получаемых с использованием карбамидоформальдегидных смол.

Формальдегид подлежит контролю на федеральном уровне наряду с диоксидом азота, оксидом углерода и углеводородами [1].

За объемом вредных выбросов на предприятиях ведет наблюдения служба охраны окружающей среды.

Одним из показателей нормирования выбросов является количество выделений свободного формальдегида, которое рассчитывается по методике [2]. Предельно допустимая разовая концентрация вещества в воздухе жилых помещений составляет  $0,035 \text{ мг/м}^3$ , а среднесуточная —  $0,003 \text{ мг/м}^3$ .

Для выяснения оборудования, которое можно использовать при облицовывании щитовых мебельных заготовок разных размеров и минимизации выделения свободного формальдегида были проведены исследования.

На выделения свободного формальдегида при облицовывании щитов влияют многочисленные факторы, среди которых можно выделить: площадь облицовываемой детали; содержание свободного формальдегида в клее; площадь плиты пресса.

На основании предварительных экспериментов и априорной информации установлено, что зависимость величины объемов вредных выбросов от перечислен-

Таблца 1. Пределы варьирования факторов

Фактор	Предел варьирования фактора
Площадь детали, $S_{дет}$ , м <sup>2</sup>	0,1...1
Содержание свободного формальдегида в клее, $q_{св.фв}$ , %	0,15...0,9
Площадь плиты пресса, $S_{пл}$ , м <sup>2</sup>	3,25...15,6

Таблица 2. Уровни и интервалы варьирования переменных факторов

Обозначения	натуральный вид	кодированный вид	Интервал варьирования	Уровни варьирования				
				-α	нижний - 1	основной 0	+α	верхний + 1
$S_{дет}$		$X_1$	0,45	0,28	0,1	0,55	0,82	1
$q_{св.ф}$		$X_2$	0,375	0,3	0,15	0,525	0,75	0,9
$S_{пл}$		$X_3$	6,175	5,75	3,25	9,425	13,1	15,6

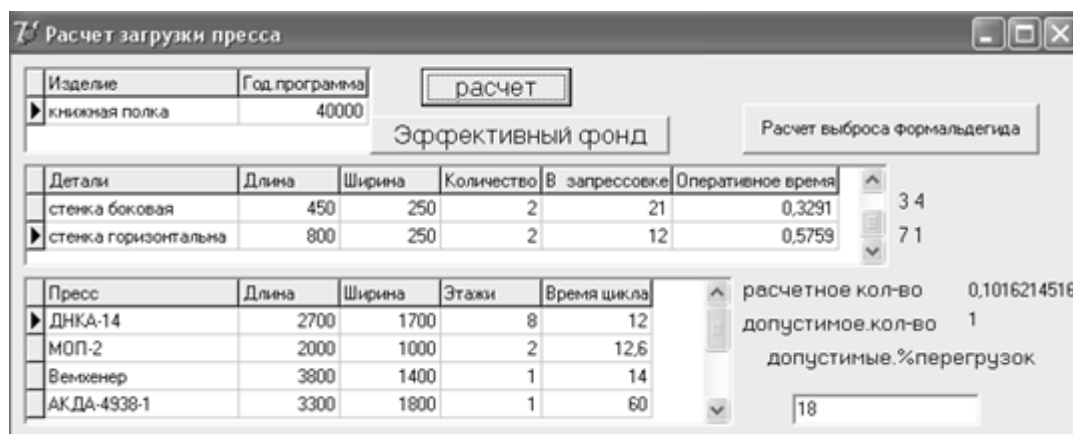


Рис. 1. Вид формы подпрограмма для расчета загрузки пресса

ных выше факторов имеет нелинейный характер. Поэтому для проведения эксперимента принят равномер-ротационный план.

Пределы варьирования указанных факторов приведены в табл. 1.

Поскольку факторы процесса неоднородны (имеют различные единицы измерения), а числа, выражающие величины факторов, имеют различные порядки, они приведены к единой системе счисления путем перевода от натуральных значений факторов к кодированным.

В табл. 2 представлены уровни и интервалы варьирования переменных факторов.

Для проведения эксперимента на кафедрах технологии деревообработки и информационных технологий ФГБОУ ВО «Брянский государственный инженерно-тех-

нологический университет» разработано информационное и программное обеспечение для имитационного моделирования процесса облицовывания щитовых мебельных заготовок и расчета объемов выбросов свободного формальдегида [3]. Данная программа написана на языке ObjectPascal с помощью IDE Borland Delphi. Программное обеспечение включает в себя подпрограммы по расчету: площадей склеиваемых поверхностей заготовок; загрузки пресса; объемов выбросов вредных веществ. Диалоговое взаимодействие пользователя и программы осуществляется при помощи экранных форм [4].

При работе с подпрограммой по расчету загрузки пресса пользователь имеет возможность выбрать марку пресса, занести годовую программу выпуска изделия и спецификацию деталей, которые будут облицовываться.

На рис. 1 показан вид экранной формы с заполненными таблицами базы данных.

Таблица 3. Матрица планирования эксперимента в кодированных и натуральных переменных

№ опыта	Переменные в кодированном виде			Переменные в натуральном виде		
	$X_1$	$X_2$	$X_3$	$S_{дет}$	$q_{св.ф}$	$S_{лл}$
1	-1	-1	-1	0,28	0,3	5,75
2	1	-1	-1	0,82	0,3	5,75
3	-1	1	-1	0,28	0,9	5,75
4	1	1	-1	0,82	0,9	5,75
5	-1	-1	1	0,28	0,3	13,1
•	•	•	•	•	•	•
•	•	•	•	•	•	•
20	0	0	0	0,55	0,525	9,425

Рис. 2. Вид формы для расчета эффективного фонда времени прессы

Рис. 3. Вид формы для расчета количества выделений свободного формальдегида при облицовывании мебельных щитов

Таблица 4. Реализация плана исследований

№ опыта	Переменные в кодированном виде			Объем выбросов, г		
	$X_1$	$X_2$	$X_3$	$Y_1$	$Y_2$	$Y_3$
1	-1	-1	-1	25,055	24,733	25,617
2	1	-1	-1	25,46	24,925	25,456
3	-1	1	-1	24,915	25,08	25,59
4	1	1	-1	25,534	25,214	25,021
5	-1	-1	1	24,758	25,208	24,91
•	•	•	•	•	•	•
•	•	•	•	•	•	•
20	0	0	0	25,273	25,458	25,439

Таблица 5. Результаты статистической обработки эксперимента

Расчетные величины	Показатели эффективности
$A_0$	25,121
$A_1$	0,00015
$A_2$	-0,027
$A_3$	-0,0198
$A_{11}$	-0,027
$A_{22}$	0,114
$A_{33}$	0,052
$A_{12}$	-0,07
$A_{13}$	-0,0197
$A_{23}$	-0,763
Построчные дисперсии	
$S_i^2_{MAX}$	0,403
$\Sigma$	3,019
Оценка однородности выборочных дисперсий по критерию Кохрена	
$G_P$	0,134
$G_{TAB}$	0,27
$G_P \leq G_{TAB}$	Дисперсии однородны
Оценка воспроизводимости среднего значения функции	
$S^2\{\bar{y}\}$	0,05
Дисперсии коэффициентов	
$S^2\{A_1\}$	0,00134
$S^2\{A_{11}\}$	0,0012
$S^2\{A_{12}\}$	0,0023
Табличное значение критерия Стьюдента	
$t_{TAB} (f = 20 \cdot (3-1))$	40
Оценка значимости коэффициентов при помощи критерия Стьюдента	
$t_{TAB} \times S\{A_1\} >  A_1 $	0,00134 > 0,00015 $A_1$ — незначим
$t_{TAB} \times S\{A_1\} <  A_2 $	0,00134 < -0,027 $A_2$ — незначим
$t_{TAB} \times S\{A_1\} <  A_3 $	0,00134 < -0,0198 $A_3$ — незначим
$t_{TAB} \times S\{A_{11}\} <  A_{11} $	0,0012 < -0,027 $A_{11}$ — незначим
$t_{TAB} \times S\{A_{22}\} <  A_{22} $	0,0012 < 0,114 $A_{22}$ — значим
$t_{TAB} \times S\{A_{33}\} <  A_{33} $	0,0012 < 0,052 $A_{33}$ — значим
$t_{TAB} \times S\{A_{12}\} <  A_{12} $	0,0023 < -0,07 $A_{12}$ — незначим
$t_{TAB} \times S\{A_{13}\} <  A_{13} $	0,0023 < -0,0197 $A_{13}$ — незначим
$t_{TAB} \times S\{A_{23}\} <  A_{23} $	0,0023 < -0,763 $A_{23}$ — незначим

Таблица 6. Результаты проверки адекватности модели по критерию Фишера

Показатель эффективности	Расчетное значение
Дисперсия адекватности, $S_{ад}^2$	0,049
Расчетное значение критерия Фишера, $F_{рас}$	0,97
Табличное значение критерия Фишера, $F_{таб}$	1,92
$F_{рас} < F_{таб}$	0,97 < 1,92
Модель адекватно описывает процесс	

Предварительно требуется рассчитать эффективный фонд времени оборудования. Для этого используется форма, показанная на рис. 2. Пользователю, при необходимости, необходимо изменить параметры для расчета эффективного фонда и нажать соответствующую кнопку.

При работе с подпрограммой по расчету объемов выбросов вредных веществ пользователю необходимо выбрать материалы, на которые наносится клей, марку клея, группу сложности, вид нанесения клея, облицовочный материал и параметры облицовываемого материала. Нажав соответствующие кнопки, пользователь может рассчитать количество формальдегида, выделяющегося из 1 м<sup>2</sup> площади облицовываемой стороны заготовки, количество выделений формальдегида при облицовывании деталей на горячих прессах в год. На рис. 3 представлен вид формы для расчета количества выделений свободного формальдегида при облицовывании мебельных щитов.

Матрица планирования эксперимента в кодированных и натуральных переменных приведена в табл. 3.

Количество повторений каждого опыта принято не меньше трех, так как неуправляемые факторы могут внести ошибку в эксперимент и повлиять на точность модели. Реализация плана исследований представлена в табл. 4.

После обработки результатов проведенных исследований строим математическую модель, пользуясь уравнением регрессии в нормализованных обозначениях факторов. Затем производим оценку значимости коэффициентов в уравнении регрессии.

После проведенных опытов проведена статистическая обработка результатов эксперимента по следующей методике:

- ◆ рассчитаны построчные средние значения по каждому опыту;
- ◆ рассчитаны построчные дисперсии по каждому опыту;
- ◆ рассчитаны построчные средние квадратические отклонения по каждому опыту.

Проверка однородности дисперсий, при равномерном дублировании определялась по критерию Кохрена, который основан на законе распределения отношения максимальной дисперсии к сумме всех дисперсий.

Уравнение регрессии представляет математическую модель второго порядка, которая для трех переменных факторов имеет вид

$$Y = A_0 + A_1 X_1 + A_2 X_2 + A_3 X_3 + A_{11} X_1^2 + A_{22} X_2^2 + A_{33} X_3^2 + A_{12} X_1 X_2 + A_{13} X_1 X_3 + A_{23} X_2 X_3, \quad (1)$$

Определяем коэффициенты модели  $A_0, A_1, A_2, A_3, A_{11}, A_{22}, A_{33}, A_{12}, A_{13}, A_{23}$  и проверяем их на значимость по методике [5].

После окончания расчетов коэффициентов результаты статистической обработки эксперимента представлены в табл. 5.

Коэффициенты  $A_1, A_2, A_3, A_{11}, A_{12}, A_{13}, A_{23}$  отбрасываются т.к. оказались незначимыми. Уравнение регрессии в кодированном виде будет следующим

$$\hat{y} = 25,121 + 0,114 * X_2^2 + 0,052 * X_3^2 \quad (2)$$

После проверки значимости коэффициентов, модель проверяют на адекватность по расчетному критерию Фишера  $F_p$ . Полученные данные записывают в табл. 6.

Переход из нормализованных обозначений факторов ( $X_1, X_2 \dots X_n$ ) в натуральные производят по следующей формуле

$$A_i = (X_i - X_i^{(0)}) / d, \quad (3)$$

где  $A_i$  — числовое значение коэффициента при соответствующем переменном факторе  $X_1, X_2 \dots X_n$ ;

$X_i$  — буквенное обозначение переменного фактора, принятое в системе обозначений;

$X_i^{(0)}$  — численное значение переменного фактора, соответствующее нулевому уровню интервала варьирования;

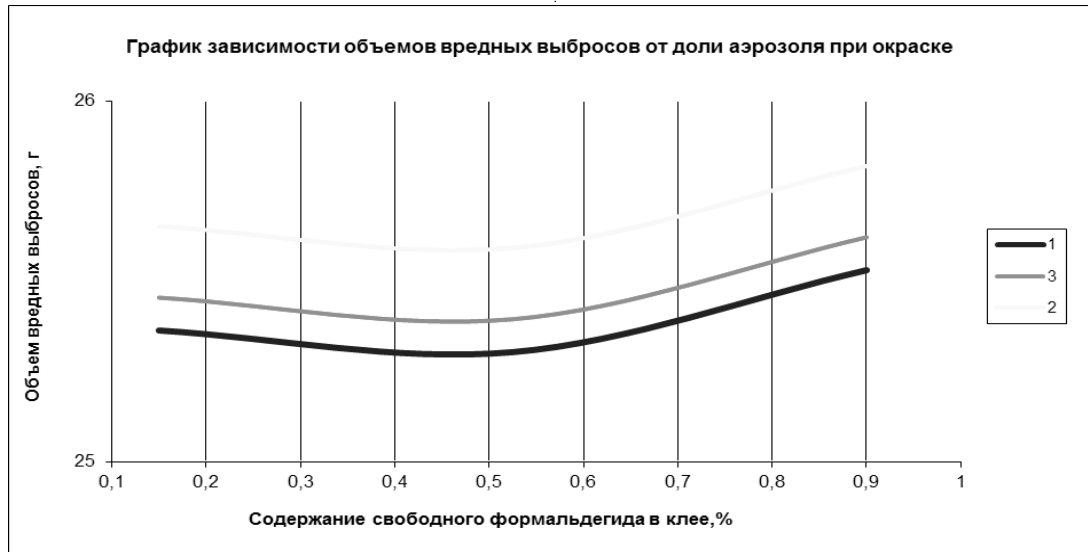


Рис. 4. График зависимости объемов вредных выбросов от содержания свободного формальдегида

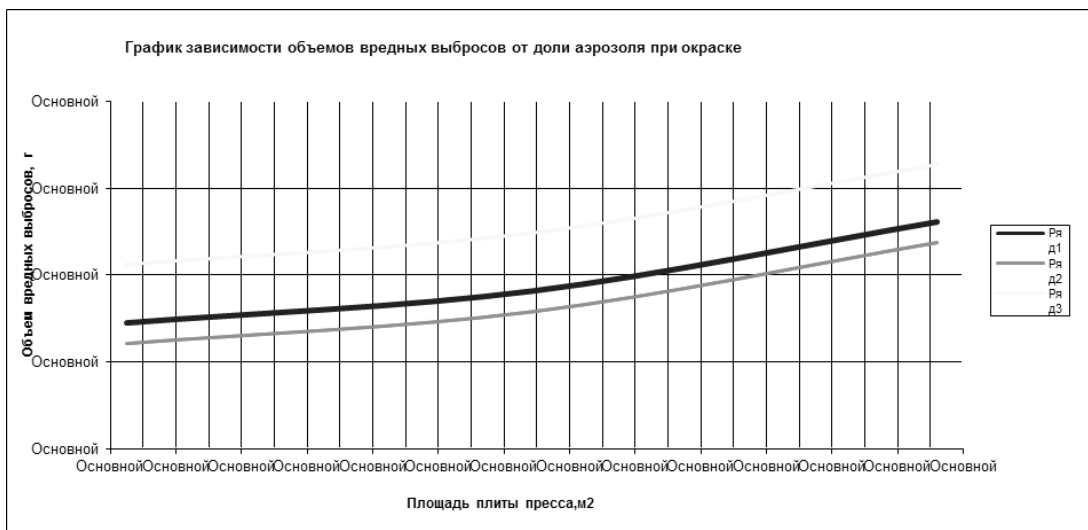


Рис.5. График зависимости объемов вредных выбросов от площади плит пресса

$d$  — шаг варьирования, равный разности значений интервала, соответствующего нулевому и нижнему уровням варьирования факторов.

Окончательно получаем уравнение регрессии в натуральном виде

$$\hat{y} = 25,463 + 1,021 \cdot q_{св.ф}^2 + 0,0014 \cdot S_{пл}^2 - 0,849 \cdot q_{св.ф} - 0,003 \cdot S_{пл}$$

Уравнение регрессии позволяет предсказать значение выходной величины для любой точки внутри области варьирования факторов.

По модели, в натуральных обозначениях, строим графики зависимости выходной величины от фактора при закрепленных значениях остальных факторов (рис. 4–5).

При увеличении содержания свободного формальдегида в клее объемы вредных выбросов уменьшаются, а после значения  $q_{св.ф} = 0,525\%$  увеличиваются (рис. 4).

Анализируя графики зависимости объемов выбросов от различных факторов, приходим к следующим выводам, что при увеличении площади плиты пресса объемы выбросов вредных веществ возрастают (рис. 5).

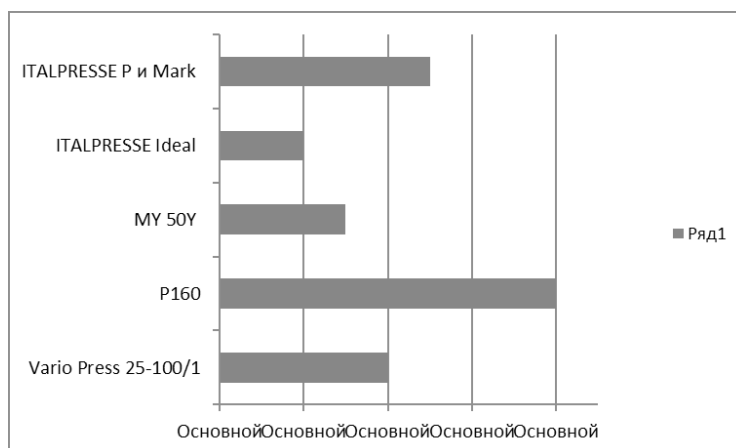


Рис. 6. График зависимости объемов вредных выбросов свободного формальдегида при облицовывании пластей на различном оборудовании

Анализируя графики зависимости объемов выбросов от различных факторов, приходим к следующему выводу, что при значениях  $q_{св.ф} = 0,525\%$  и  $S_{нл} = 3,25 \text{ м}^2$  объемы выбросов свободного формальдегида будут минимальными.

Таким образом, правильно подобранное оборудование гарантирует высокую производительность и обеспечивает безопасные условия работы в цехе.

Проведя анализ характеристик нескольких марок прессов для облицовывания мебельных щитов и соответствующие расчеты по полученной модели, построен график зависимости объемов выбросов свободного

формальдегида при облицовывании пластей мебельных щитов (рис. 6).

Из анализа полученного графика можно сделать вывод, что при облицовывании заготовок шпоном на гидравлическом холодном прессе ITALPRESSE Ideal объемы выброса свободного формальдегида будут минимальными.

Полученные результаты исследований могут быть использованы предприятиями и территориальными управлениями по охране окружающей среды, специализированными организациями, проводящими работы по нормированию выбросов и контролю за соблюдением установленных нормативов предельно допустимых выбросов формальдегида.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Об исчислении и взимании платы за негативное воздействие на окружающую среду: постановление Правительства РФ от 03.03.2017 № 255// Собрание законодательства РФ. — 13.09.2016. — № 913 — ст. 16.3
2. Временные методические указания по расчету выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух предприятиями деревообрабатывающей промышленности. Введ. 01.2001. — Петрозаводск: НИИ Атмосфера, 1992. — 100 с.
3. Автоматизированный расчет загрузки прессов для горячего прессования и объемов выбросов свободного формальдегида/
4. Романов В. А., Шевелева О. С.// Актуальные проблемы развития лесного комплекса и ландшафтной архитектуры: материалы международной научно-практической конференции. — Брянск: Брянский государственный инженерно-технологический университет. — 2016. — С. 262–265.
5. Проектирование интерфейса АРМ коменданта общежития/ Прусс Б. Н., Романов В. А.// Наука и образование: сохраняя прошлое, создаём будущее: сборник статей XII Международной научно-практической конференции состоявшейся 10 октября 2017 г. в г. Пенза. В 2 ч. Ч.1. — Пенза: МЦНС «Наука и Просвещение». — 2017. — С.36–38.
6. Пижурин, А. А. Научные исследования в деревообработке. Основы научных исследований/ А. А. Пижурин, — М.: МГУЛ, 2002. — 104 с.

© Романов Виктор Александрович ( vromanov62@mail.ru ),

Прусс Борис Наумович ( prussbor@gmail.com ), Прозоров Ярослав Сергеевич ( yprozorov@gmail.com ).

Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»