

# РАЗРАБОТКА ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ОБЪЕМА ВЫБРОСОВ ВРЕДНЫХ ВЕЩЕСТВ ПРИ ФОРМИРОВАНИИ ЛАКОКРАСОЧНЫХ ПОКРЫТИЙ

## DEVELOPMENT OF THE SOFTWARE FOR DEFINITION OF EMISSIONS OF HARMFUL SUBSTANCES DURING FORMATION OF PAINT-FINISHING COATINGS

V. Romanov  
B. Pruss

*Summary.* The article describes information support and software, which allows to implement simulation of the formation process paintwork, with the help of which the volume of emissions of harmful substances is determined.

*Keywords:* software, simulation modeling, harmful substances, emissions.

**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

*Аннотация.* В статье описано разработанное информационное и программное обеспечение, позволяющее осуществить имитационное моделирование процесса формирования защитно-декоративных покрытий древесины, а так же определяющее объем выбросов вредных веществ.

*Ключевые слова:* программное обеспечение, имитационное моделирование, вредные вещества, выбросы.

**В** настоящее время для формирования покрытия на поверхности изделия чаще всего применяются синтетические лакокрасочные материалы (ЛКМ), в которых содержится много различного летучего остатка — ацетон ( $C_3H_6O$ ), ксилол  $C_6H_4(CH_3)_2$ , этилбензол  $C_6H_5C_2H_5$  и т.д.[2]

Процесс формирования покрытий заключается в нанесении ЛКМ и его сушке. При этом происходит полный переход летучей части ЛКМ в парообразное состояние. Причем, при окраске выделяется 20...30% выбросов вредных химических веществ, а при сушке — остальное их количество [3].

Вредные вещества, входящие в состав лакокрасочных материалов, могут оказывать воздействие на организм человека через дыхательные пути, кожу и пищеварительный тракт. Большое значение имеет летучесть растворителей: чем она выше, тем быстрее загрязняется воздух [4,5,6].

На объем выбросов влияют многочисленные факторы, но наибольшее влияние оказывают: доля аэрозоля; пары растворителя; доля летучей части растворителя [7].

Для отыскания зави симости объема выбросов от перечисленных выше факторов было решено разработать программное обеспечение, позволяющее провести экс-

периментальные исследования на основе имитационного моделирования.

Чаще всего расчет выбросов вредных загрязняющих веществ выполняется в соответствии с методикой [3].

В качестве исходных данных для расчета принимают: фактический или плановый расход ЛКМ; долю содержания в нем растворителя; долю компонентов ЛКМ, выделяющихся из него в процессах окраски и сушке.

Объем выбросов летучей части каждого компонента в процессе окраски Ппарок, г, рассчитывается по формуле

$$П_{ок}^{пар} = m_k \times f_p \times \frac{\delta_p'}{10^4} \quad (1)$$

где  $f_p$  — доля летучей части растворителя в ЛКМ, %;

$\delta_p'$  — доля растворителя в ЛКМ, выделившегося при нанесении покрытия, %;

$m_k$  — масса краски, используемой для покрытия, г.

В процессе сушки происходит практически полный переход летучей части ЛКМ (растворителя) в парообразное состояние.

Объем выбросов летучей части каждого компонента в процессе сушки Ппарс, г, рассчитывается по формуле

Таблица 1. Уровни и интервалы варьирования переменных факторов

Обозначения		Интервал варьирования	Уровни варьирования				
Натуральный вид	кодированный вид		- α	нижний - 1	основной 0	+ α	верхний + 1
D <sup>э</sup>	X <sub>1</sub>	14,85	6,32	0,3	15,15	23,9	30
D <sup>л</sup> <sub>рас</sub>	X <sub>2</sub>	43,3	27,55	10	53,3	79,04	96,6
P <sub>рас</sub>	X <sub>3</sub>	15	26,08	20	35	43,91	50
P <sup>суш.</sup> <sub>рас</sub>	X <sub>4</sub>	15	76,01	75	77,5	78,98	80

$$\Pi_c^{пар} = m_k \times f_p \times \frac{\delta_p''}{10^4} \quad (2)$$

где  $\delta_p''$  — доля растворителя в ЛКМ, выделившегося при сушке покрытия, %;

Для выполнения перечисленных выше расчетов на кафедрах информационных технологий и технологии деревообработки ФГБОУ ВО «Брянский государственный инженерно-технологический университет» разработано информационное и программное обеспечение для имитационного моделирования процесса формирования лакокрасочного покрытия, в результате которого рассчитывается площадь отделяемой поверхности изделий из древесины, норма расхода лакокрасочного материала с последующим расчетом выбросов летучих веществ [8, 9]. В качестве изделий были выбраны оконные блоки («евроокна»).

Разработка информационного обеспечения выполнялась в несколько этапов. На этапе концептуального проектирования была разработана ER-диаграмма. В данной предметной области были выделены следующие базовые сущности: типы окон; окна; бруски; детали; периметр сечения детали; виды лакокрасочных материалов; марки лакокрасочных материалов; летучая часть; компоненты; способы нанесения; доля аэрозоля; параметры; коэффициенты; учет выпуска окон. На основании семантического моделирования было принято решение о создании реляционной базы данных типа Paradox. На этапе логического проектирования были определены типы атрибутов сущностей и создана модель объектов. В процессе физического проектирования была проведена нормализация модели данных. В результате физического проектирования информационного обеспечения задачи была создана реляционная база данных, включающая 15 таблиц, с информацией: о параметрах «евроокон» (основные типы оконных блоков, марки окон, детали окон с периметрами их сечений [9]); об изделиях из древесины (порода древесины, годовая программа выпуска изделий, спецификация деталей); о нормативах расхода ЛКМ; о компонентах, входящих в состав ЛКМ; о долях летучей части компонентов.

Программа написана на языке программирования Object Pascal в среде разработки Delphi 2009. Программное обеспечение включает подпрограммы по расчету: площадей отделяемых поверхностей «евроокон» и других изделий из древесины; норм расхода ЛКМ; объемов выбросов вредных веществ.

На основании предварительных экспериментов и априорной информации установлено, что зависимость величины объемов вредных выбросов от доли аэрозоля при окраске (сушке), паров растворителя и доли летучей части растворителя имеет нелинейный характер. Поэтому для проведения эксперимента принят равномерный план. Пределы варьирования указанных выше факторов составляют: доля аэрозоля (0,3..30%); пары растворителя (20..50%); доля летучей части растворителя (10..96%).

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 [1] (таблица 1).

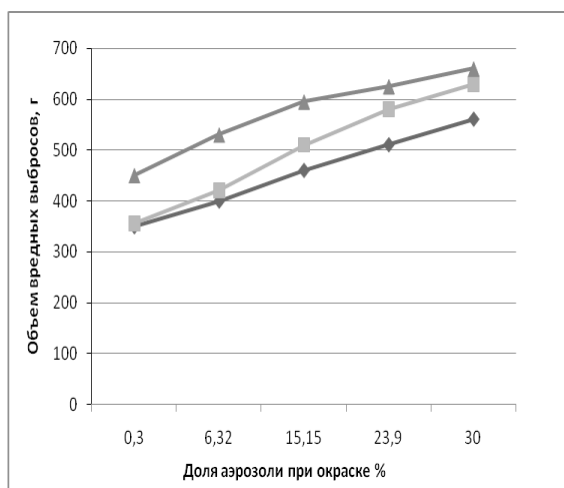
Эксперимент проводился путем имитационного моделирования формирования защитно-декоративного покрытия с использованием разработанной программы в соответствии с матрицей планирования [1].

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

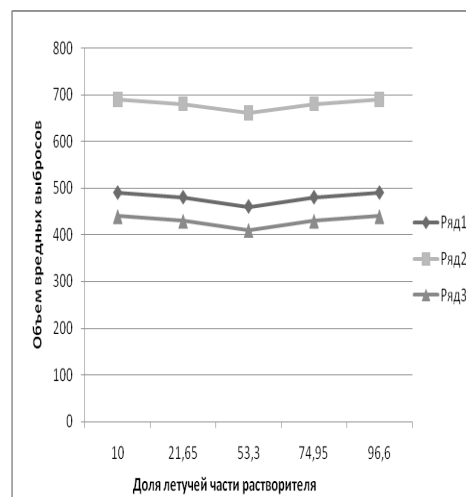
После обработки результатов проведенных исследований построена математическая модель уравнения регрессии в нормализованных обозначениях факторов и выполнена оценка значимости коэффициентов в уравнении регрессии.

Окончательно получены следующие уравнения регрессии:

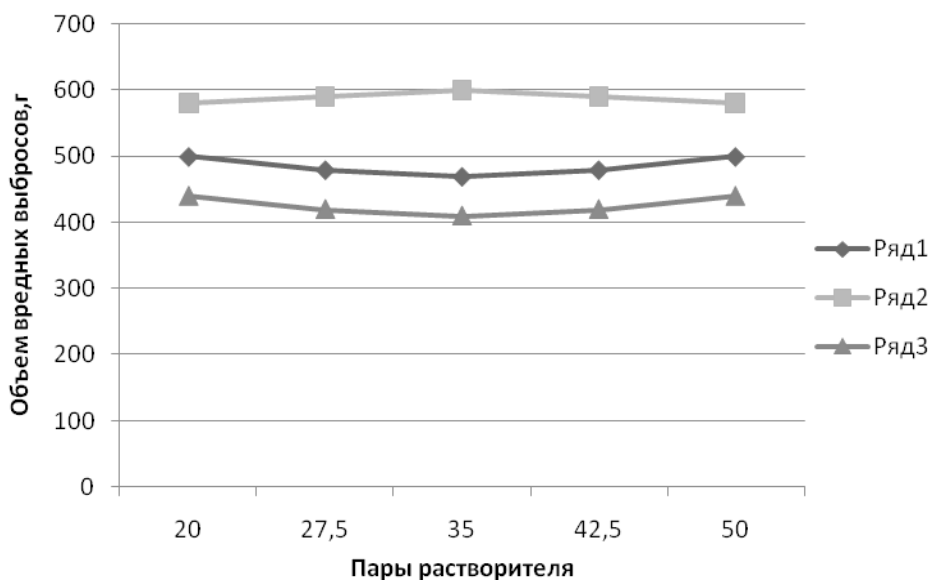
- ◆ для процесса окраски



а)



б)



в)

Рис. 1. Графики зависимости объемов вредных выбросов от:  
 а — доли аэрозоля при окраске; б — доли летучей части растворителя при окраске;  
 в — паров растворителя при окраске

$$Y = 698 - 0,539x_1 - 1,228x_2 + 0,01152x_2^2 - 14,89x_3 + 0,163x_3^2 + 0,231x_1x_3, \quad (3)$$

♦ для процесса сушки

$$Y = 4365 - 3,56x_1 + 0,12x_1^2 + 0,081x_2 - 77,06x_3 + 0,48x_3^2. \quad (4)$$

Полученные уравнения регрессии позволяют предсказать значение выходной величины для любой точки внутри области варьирования факторов.

По модели в натуральных обозначениях построены графики за зависимости выходной величины от фактора при закрепленных значениях остальных факторов (рис. 1).

Анализируя графики зависимости объемов выбросов от различных факторов, приходим к следующим выводам, что при увеличении доли аэрозоля при окраске объемы выбросов вредных веществ возрастают (рис. 1а). При увеличении доли летучей части раство-

рителя в процессе окраски объемы вредных выбросов уменьшаются, а после значения  $D_{\text{рас}}=53,3\%$  — увеличиваются (рис. 1б). При воздействии паров растворителя при окраске объемы выбросов вредных веществ находятся в однородном состоянии (рис. 1в).

Подобные графики были построены для процесса сушки покрытий. Анализируя их, было выяснено, что на ускорение процесса сушки влияет ряд факторов, наиболее важными из которых являются температура нагревания лакокрасочного слоя и степень подвижности воздуха. При неподвижном воздухе среда, непосредственно соприкасающаяся со свежоокрашенной поверхностью, насыщается парами растворителей, и процесс сушки замедляется. При увеличении скорости воздушного потока пары растворителя интенсивно уносятся вместе с воздухом в начале сушки [10].

На основании полученных уравнений регрессии с помощью разработанной программы были рассчитаны доли выбросов вредных веществ при окраске оконного блока для различных видов и способов нанесения ЛКМ. Установлено, что наибольший суммарный выброс имеет способ пневматического распыления. В этом случае, в производственных условиях следует применять систе-

му очистки с фильтрами, имеющими большую эффективность очистки. Для пневматического способа горячего распыления следует применять два слоя фильтрации: фильтр картонный лабиринтный и фильтр стекловолоконный. Безвоздушный и гидроэлектростатический способы имеют наименьший выброс, следовательно, необходимо применять фильтры менее производительные и более экономичные — стекловолоконный, стекловолоконный в раме. Электростатический способ имеет большой выброс, следовательно целесообразна установка фильтра в один слой, имеющего хорошую производительность — фильтра из крафт-бумаги. При пневмоэлектростатическом способе целесообразна установка одного слоя фильтра стекловолоконного или фильтра кокосово-волоконного.

Таким образом, с помощью разработанного программного обеспечения, определяющего объем выбросов вредных веществ при формировании защитно-декоративных покрытий древесины как при нанесении ЛКМ, так и в процессе сушки покрытий, установлено, что наибольшее влияние на увеличение объемов выбросов вредных веществ ЛКМ при окраске оказывают доля аэрозоля, пары растворителя и доля летучей части растворителя. В процессе сушки — доля аэрозоля, доля летучей части растворителя.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Пижурин, А. А. Основы научных исследований в деревообработке: Учебник для вузов / А. А. Пижурин, А. А. Пижурин. — М.: МГУЛ, 2005. — 305с.
2. Пехташева, Е. Л. Биоповреждения и защита лакокрасочных материалов / Е. Л. Пехташева, А. Н. Неверов, Г. Е. Заиков // Вестник Казанского технологического университета. — 2012. — № 10. — С. 149–152.
3. Методика расчета выделений (выбросов) загрязняющих веществ в атмосферу при нанесении лакокрасочных материалов (на основе удельных показателей). Введ. 14.04.1997. — СПб.: НИИ Атмосфера, 2005. — 32 с.
4. Кузнецова, О. П. Экологическое развитие в лакокрасочной промышленности / О. П. Кузнецова // Вестник Казанского технологического университета. — 2013. — № 14. — С. 66–70.
5. Крючкова, Н. Н. Профессиональные риски, обусловленные воздействием химического фактора на работников лакокрасочного производства / Н. Н. Крючкова, Г. Е. Косяченко, В. П. Филонов // Бюллетень Восточно-Сибирского научного центра Сибирского отделения Российской академии медицинских наук. — 2009. — № 1. — С. 41–46.
6. Баринов, А. В. Современное состояние наличия вредных веществ и отходов производства на промышленном предприятии / А. В. Баринов, О. П. Кузнецова // Научные и образовательные проблемы гражданской защиты. — 2013. — № 2. — С. 20–25.
7. Заболотских, В. В. Анализ проблемы снижения экологических рисков при образовании отходов лакокрасочных материалов в Самарской области / В. В. Заболотских, А. В. Васильев // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. — 2015. — № 6–2. — С. 337–341.
8. Свидетельство № 2016614593. RU. Программа для расчета площади отделяемой поверхности оконных блоков, расхода химических материалов при отделке деталей и объема выбросов летучих веществ / Романов В. А., Милюкова А. В. — № 2016611725; заяв. 03.03.2016; опуб. 20.05.2016. — 3 с.: ил.
9. Романов В. А., Милюкова А. В. Автоматизированный расчет площади отделяемой поверхности евроокон и нормы расхода лакокрасочного материала // Актуальные проблемы лесного комплекса/ Под общей редакцией Е. А. Памфилова. Сборник научных трудов. Выпуск 40. — Брянск: БГИТА, 2014. — С. 112–114.
10. Коптева, Н. А. Оценка выбросов загрязняющих веществ при нанесении лакокрасочных покрытий / Н. А. Коптева, С. А. Коробской, Н. М. Удинцова // Вестник аграрной науки Дона. — 2012. — № 2. — С. 95–100.