

УДК 621:315

МОДЕЛЬ ВЛАГОПОГЛОЩЕНИЯ ДЕРЕВЯННЫХ ИЗОЛЯЦИОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ ВОЗДУШНЫХ ЛИНИЙ В РАЙОНАХ С ЗАГРЯЗНЕННОЙ АТМОСФЕРОЙ¹

© 2007 Н.А. Шергунова²

Предлагается регрессионная модель расчета пропитанной антипиренами конструкционной древесины воздушных линий. Представленная модель может быть использована затем для целей предсказания влагопоглощения комбинированной изоляции "фарфор-дерево" от внешних воздействий и свойств защитного химического препарата.

Древесина — это гигроскопический материал, способный изменять свою влажность при изменении состояния окружающего воздуха. Влагопоглощение (гигроскопичность) абсолютно сухой древесины обусловлена гидрофильностью древесного вещества и коллоидной природой клеточных стенок, благодаря чему при взаимодействии древесины с водой или водяным паром в ней образуется огромная поверхность раздела "твердое тело-вода". В общем случае гигроскопичность древесины определяется поверхностными явлениями, происходящими при взаимодействии древесины с водой, на границе раздела трех фаз: "твердое тело-пар", твердое тело-вода", "вода-пар". В количественном отношении гигроскопичность определяется известными закономерностями поверхностных явлений, а в качественном — специфическими свойствами древесины как адсорбента и воды как адсорбата.

Проблема защиты деревянных элементов воздушных линий (ВЛ) от воздействия биоразрушения, особенно в районах с загрязненной атмосферой, стала одной из актуальнейших в области повышения надежности их функционирования. Древесина, будучи естественным компонентом биоценоза, подвергается значительному разрушающему действию различных биоагентов: бактерий, грибов и насекомых. Необходимы борьба с разрушительной деятельностью каждой экологической группы, разработка методов профилактики и мероприятий по их истреблению. Защита деревянных изоляционных конструкций связана с надежностью работы электрических систем и систем электроснабжения железных дорог, экономией металла, повышением долговечности древесины и т. д. Ежегодная сумма потерь, официально учтенных как результат биоповреждений по 14 наиболее развитым странам

¹Представлена доктором медицинских наук профессором П.П. Пурыгиным.

²Шергунова Наталья Алексеевна, Самарский государственный университет путей сообщения, 443066, Россия, г. Самара, 1-й Безымянный пер., 18.

Европы и Северной Америки, составила свыше 2% стоимости произведенной продукции [1].

Обеспечение длительного срока эксплуатации элементов деревянных изоляционных конструкций ВЛ осуществляется путем пропитки их защитными химическими препаратами.

Проведенные комплексные экспериментальные исследования по изучению гигроскопичности элементов деревянных изоляционных конструкций позволили заключить, что изменение температуры, влажности, концентрации рабочего защитного раствора, а также количество поглощенной сухой соли защитного препарата и состояние поверхностного слоя древесины приводят к изменению влагопоглощения деревянной изоляционной конструкции ВЛ. Отмеченные факторы во многом определяют характер влагопоглощения пропитанной древесины комбинированной изоляции "фарфор-дерево".

В связи с тем, что на электрофизические свойства пропитанной огнезащитным препаратом древесины изоляционных конструкций влияет большое количество физических факторов, был учтен опыт автора [1], который позволил определить из защитных факторов наиболее значимые.

По полученным экспериментальным данным был исследован параметр, в дальнейшем именуемый функцией отклика и обозначаемый буквой Γ , характеризующий гигроскопичность пропитанной древесины изоляционных конструкций ВЛ и КС.

Для определения коэффициентов регрессии и дисперсий оценок коэффициентов регрессии применялись формулы методик множественной криволинейной регрессии. Окончательный закон распределения сформированных выборок был определен только после проверки 12 законов распределения на ЭВМ. Статистическая обработка (оценка средних уровней отмеченных параметров гигроскопичности пропитанной древесины, величин дисперсий относительно средних и проверка соответствия принятых вероятностных законов распределения) экспериментальных значений была проведена при помощи программ для однофакторного дисперсионного анализа, функций экспоненциальной множественной регрессии пакета прикладных программ "Excel".

Полученный экспериментальный материал позволил получить регрессионную модель гигроскопичности пропитанной древесины от защитных, эксплуатационных и электроизоляционных факторов.

После обработки полученной многомерной выборки для получения эмпирической формулы регрессии был принят следующий вид регрессионной модели:

$$\Gamma = b_0 \times b_1^K \times b_2^C \times b_3^T \times b_4^B \times b_5^\Theta, \quad (1)$$

где b_0 — коэффициент, характеризующий среднее значение функции отклика при нулевых значениях всех факторов; K, C, T, B, Θ — значения факторов; K — концентрация рабочего раствора защитного химического препара-

та, %; C — количество сухой соли, поглощенное древесиной, $\text{кг}/\text{м}^3$; T — температура окружающего воздуха, $^{\circ}\text{C}$; B — относительная влажность окружающего воздуха, %; — удельное поверхностное сопротивление пропитанной древесины; b_1, b_2, b_3, b_4, b_5 — коэффициенты регрессии, характеризующие величину влияния соответствующего фактора на исследуемый процесс.

Результаты регрессионного и дисперсионного анализа полученной стохастической модели представлены в табл. 1, 2. Стохастическая модель равновесной гигроскопичности пропитанной антипиренами древесины от защитных, эксплуатационных и электроизоляционных факторов имеет вид

$$\Gamma = 10,8164 \cdot 150,5654^K \cdot 0,9748^C \cdot 0,9986^T \cdot 0,8833^B \cdot 0,98495^{\Theta}. \quad (2)$$

Таблица 1

Статистические характеристики регрессионной модели

Регрессионная статистика	
Множественный R	0,94
R -квадрат	0,89
Стандартная ошибка	0,02077
Наблюдения	40

Результаты исследований показывают, что экспоненциальная кривая наиболее точно описывает динамику влагопоглощения пропитанной древесины в температурно-влажностных режимах эксплуатации.

Проведя регрессионный анализ, вычислили для каждой точки квадрат разности между прогнозируемым значением Γ и фактическим значением отклика и определили остаточную сумму квадратов. Затем подсчитали сумму квадратов разностей между фактическими значениями и средним значением отклика Γ . Остаточная сумма квадратов по сравнению с общей суммой квадратов значительно меньше, поэтому величина коэффициента детерминированности R^2 имеет большое значение, которое показывает, насколько хорошо уравнение, полученное с помощью регрессионного анализа, объясняет взаимосвязи между переменными.

Для уравнения регрессии коэффициент детерминации табл. 1 $R^2 = 0,89$, что больше 0,75, следовательно, уравнение регрессии работоспособно и указывает на сильную зависимость между независимыми переменными и гигроскопичностью.

Используем F -статистику, чтобы определить, является ли этот результат случайным. Предположим, что на самом деле нет взаимосвязи между переменными, а просто были выбраны редкие 40 случаев определенной гигроскопичности для деревянных изоляционных конструкций, пропитанных антипиренами, для которых статистический анализ вывел сильную взаимосвязь.

На рис. 1 показаны графики подбора независимых переменных: C — количество поглощенной сухой соли; K — концентрация рабочего раствора;

Таблица 2

Статистические характеристики дисперсионного анализа

	Количество степеней свободы	Сумма квадратов отклонений	Дисперсия	Критерий Фишера F	Табличное значение критерия Фишера F $\alpha = 0,05$
Регрессия	5	$Q1 = 0,11287$	$S1^2 = 0,02257$	52,307	2,45
Остаток	34	$Q2 = 0,01467$	$S2^2 = 0,00043$		
Итого	40	$Q = 0,1275$			

Коэффициенты	Значения коэффициентов	Стандартная ошибка	t -статистика	Табличное значение t -статистики $\alpha = 0,05$
b_0	10,8164	0,2339	46,2437	2,02
b_1	150,5654	0,7469	201,587	2,02
b_2	0,9748	0,0043	226,6976	2,02
b_3	0,9986	0,00084	1188,8095	2,02
b_4	0,8833	0,0534	16,5412	2,02
b_5	0,9850	0,0042	234,5238	2,02

Примечание. Q — сумма квадратов отклонений выборки относительно общего среднего арифметического; $Q1$ — сумма квадратов отклонений групповых средних относительно общей средней; $Q2$ — сумма квадратов отклонений значений выборки относительно групповых средних; $S1^2$ — факторная дисперсия; $S2^2$ — остаточная дисперсия.

B — относительная влажность; T — температура; Θ — логарифм поверхностного сопротивления древесины.

Величину α используем для обозначения вероятности ошибочного вывода о том, что имеется сильная взаимозависимость. Из справочной таблицы F критическое равно 2,45. Так как из табл. 2 F наблюдаемое равно 52,307, что заметно больше, чем F критическое значение 2,45. Следовательно, полученное регрессионное уравнение полезно для предсказания влагопоглощения деревянных изоляционных конструкций.

Для проверки статистической значимости определяли для каждого коэффициента значение t наблюдаемое. Нашли t критическое с 5 степенями свободы и $\alpha = 0,05$ с учетом оценки стандартной ошибки для каждого коэффициента [2]. Поскольку абсолютная величина t наблюдаемого для всех коэффициентов факторов больше, чем t критическое по каждому коэффициенту, то, следовательно, все переменные статистически значимы. В табл. 2 приводятся значения t наблюдаемых для каждой из независимых переменных.

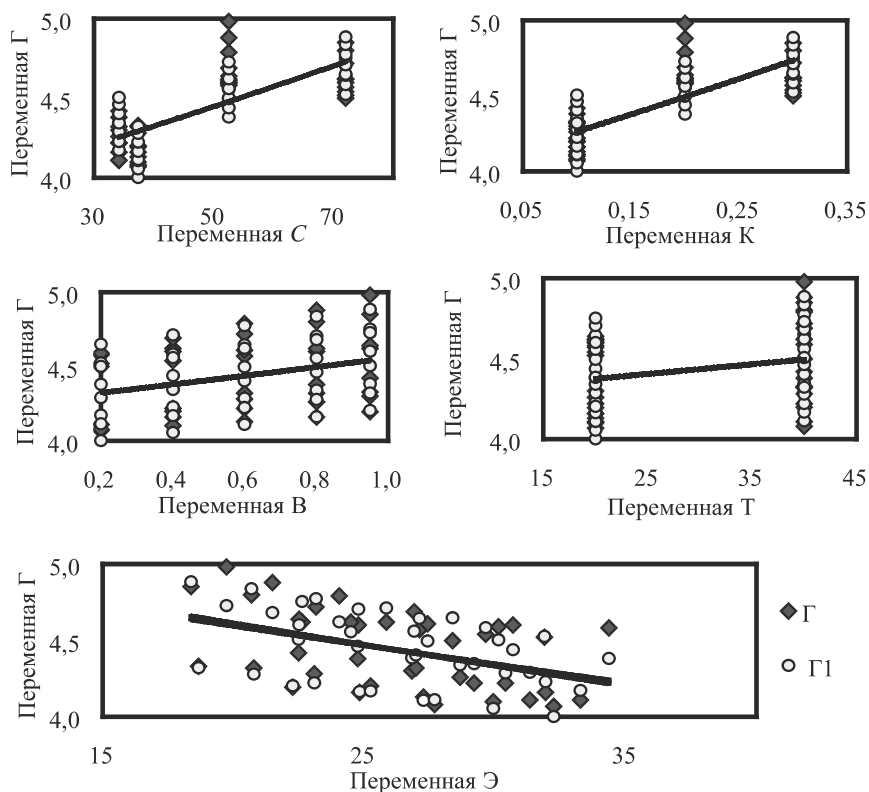


Рис. 1. Графики подбора переменных. Экспериментальные (Г) и предсказанные (Г1) данные отклика. Линии трендов для Г и Г1

Полученное уравнение регрессии позволяет определить показатель влагопоглощения комбинированной изоляции "фарфор-дерево" ВЛ от эксплуатационных, защитных и электроизоляционных факторов.

Приведенные графики свидетельствуют о сильной зависимости влагопоглощения деревянных изоляционных конструкций, пропитанных антипиренами (ДМ-11, БС-13, ФБС-255 и СА), от эксплуатационных, защитных и электроизоляционных факторов.

На рис. 2–5 представлены зависимости отклика Г от выбранных факторов.

Анализ зависимости, представленной на рис. 2, показывает, что на величину гигроскопичности сильное влияние оказывает относительная влажность, меньшее — температура окружающей среды.

Из зависимости, представленной на рис. 3, следует, что влагопоглощение в большей степени зависит от концентрации рабочего раствора, чем от количества поглощенной сухой соли антипирена.

Произведя анализ приведенных на рис. 4 и 5 зависимостей гигроскопичности от рассмотренных факторов, можно сделать вывод, что на величину

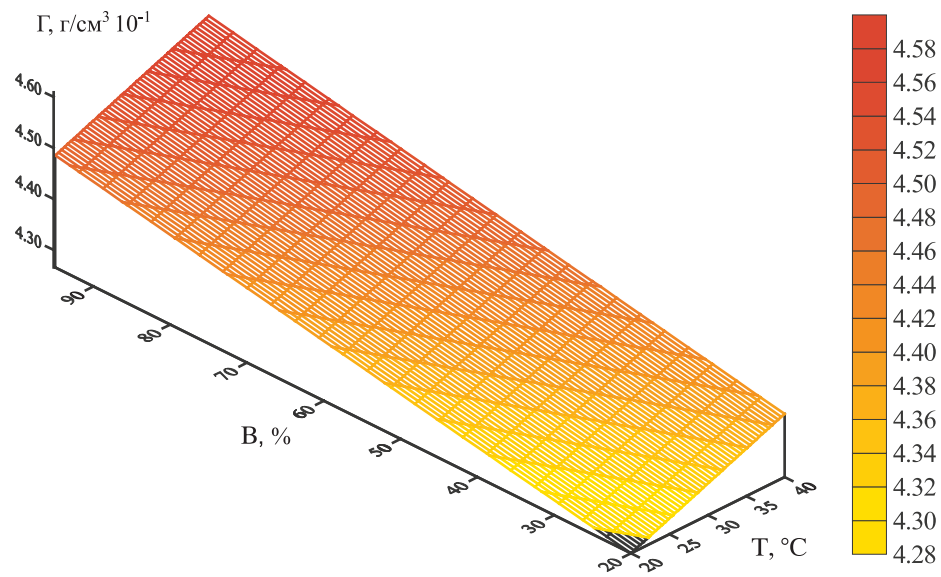


Рис. 2. Влияние факторов T и B на гигроскопичность деревянных пропитанных антипиренами изоляционных конструкций

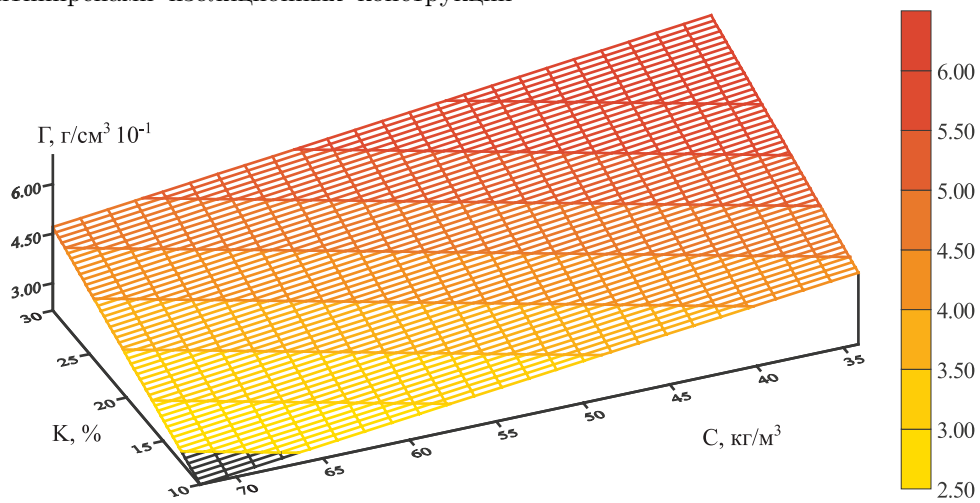


Рис. 3. Влияние факторов K и C на гигроскопичность деревянных пропитанных антипиренами изоляционных конструкций

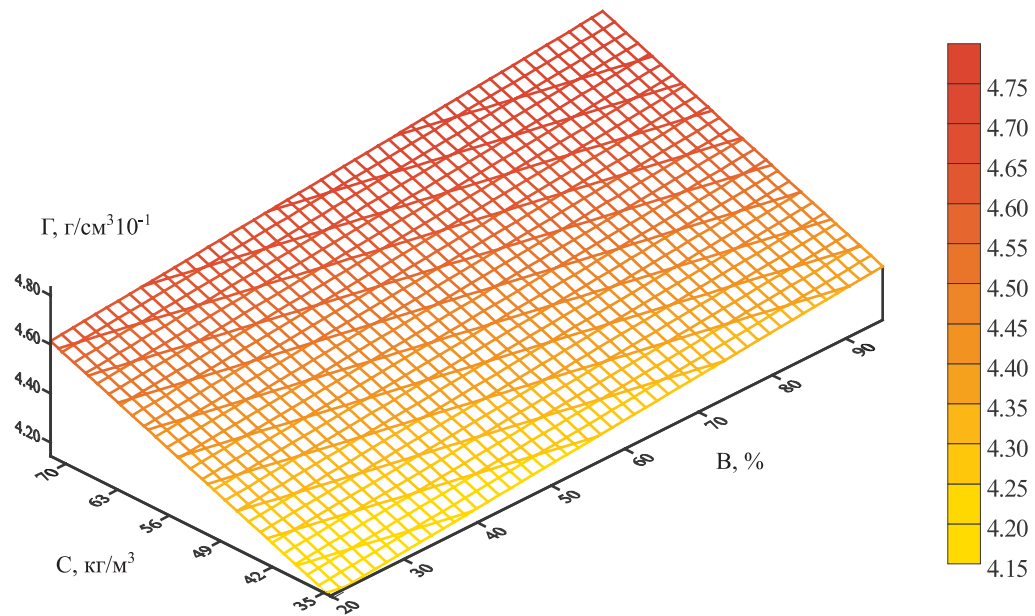


Рис. 4. Влияние факторов B и C на гигроскопичность деревянных пропитанных антипиренами изоляционных конструкций

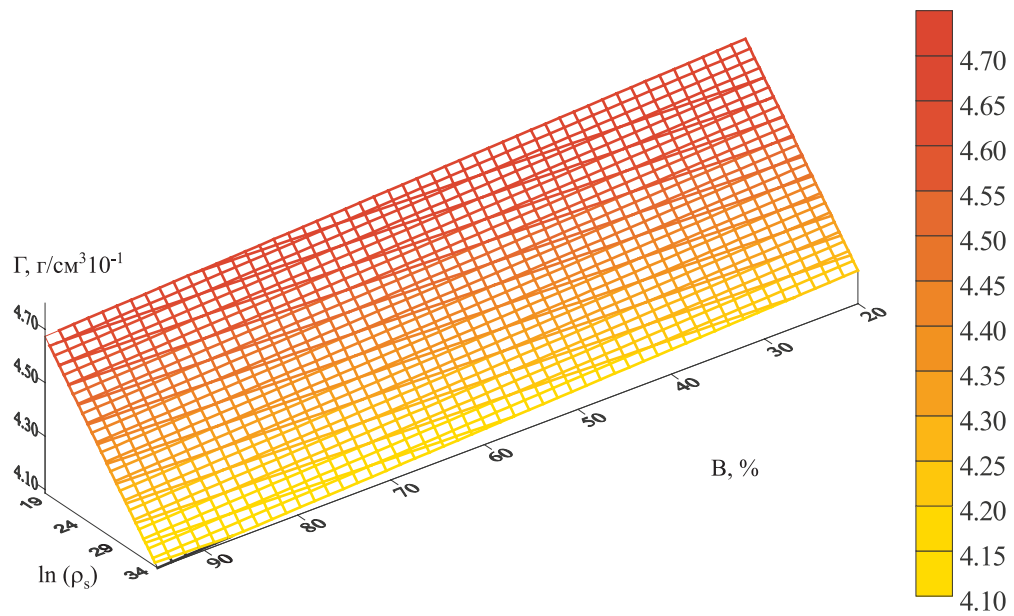


Рис. 5. Влияние факторов B и $\ln(\rho_s)$ на гигроскопичность деревянных пропитанных антипиренами изоляционных конструкций

ну гигроскопичности пропитанных деревянных изоляционных конструкций большее влияние оказывают относительная влажность воздуха, концентра-

ция рабочего раствора, чем количество поглощенной сухой соли антипирена.

Как следует из графиков (рис. 2–5), на гигроскопичность G , наибольшее влияние оказывают относительная влажность окружающей среды B , поверхностное состояние древесины, концентрация рабочего раствора K , несколько меньшее — количество поглощенной соли C и температура T .

Полученная математическая модель позволит без проведения дорогостоящих экспериментов получить данные об электрофизических свойствах древесины, пропитанной вновь разработанным огнезащитным химическим средством от эксплуатационных, защитных и электроизоляционных факторов, а также определить химический препарат, который не только защищает древесину конструкций от деструктивных изменений, но и придает ей наилучшие электроизоляционные свойства в районах с загрязненной атмосферой и с тяжелыми климатическими условиями.

Литература

- [1] Ильичев, В.Д. Защита от биоповреждений — актуальная научно-техническая проблема / В.Д.Ильичев, Е.В.Титова // Биоповреждения в строительстве. — М.: Стройиздат, 1984. — С. 317–319.
- [2] Беленков, Д.А. Вероятностный метод исследования антисептиков для древесины / Д.А.Беленков. — Свердловск: Изд-во Урал. ун-та, 1991. — 177 с.
- [3] Колде, Я.К. Практикум по теории вероятностей и математической статистике / Я.К.Колде. — М.: Высшая школа, 1991. — 157 с.

Поступила в редакцию 12/IV/2006;
в окончательном варианте — 12/IV/2006.

Paper received 12/IV/2006.
Paper accepted 12/IV/2006.

A MODEL OF MOISTURE ABSORPTION WOODEN INSULATION DESIGNS UNDER OPERATIONAL CONDITION³

© 2007 N.A. Shergunova⁴

In the paper a mathematical regression model is proposed to estimate the impregnated open-wire lines construction wood a fire-protective chemical means. The proposed model can be used then for the purposes of a prediction of moisture absorption of the combined isolation "porcelain — a tree" from external effects and protective properties of a chemical preparation.

³Communicated by Dr. Sci. (Chem.) Prof. P.P.Purygin.

⁴Shergunova Nataliya Alekseevna, Samara State University of Railway Communications, 443066, Russia.