

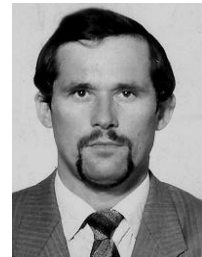


МЕХАНИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА ДРЕВЕСИНЫ И ДРЕВЕСИНОВЕДЕНИЕ

УДК 674. 048:51

Ю.А. Варфоломеев, М.А. Амбросевич

Варфоломеев Юрий Александрович родился в 1953 г., окончил в 1975 г. Архангельский лесотехнический институт, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой инженерных конструкций и архитектуры Архангельского государственного технического университета, заслуженный деятель науки РФ. Имеет около 300 научных трудов в области обеспечения долговечности древесины в строительстве экологически безопасными методами.



Амбросевич Мария Адольфовна родилась в 1973 г., окончила в 1996 г. Поморский государственный университет, старший преподаватель, и.о. заведующего кафедрой математики Архангельского государственного технического университета. Имеет около 10 публикаций в области алгебраических систем и математического моделирования процессов биопоражения древесины.



МЕТОД ЭКСПЕРТНЫХ ОЦЕНОК ДЛЯ ВЫБОРА АНТИСЕПТИКА

По методу экспертных оценок оптимизирован выбор антисептиков с использованием комплексного обобщенного показателя, учитывающего в количественном выражении при анализе иерархий множество разнородных характеристик.

Ключевые слова: антисептики, критерии, оптимизация выбора, экспертная оценка, анализ иерархий, попарное сравнение, ранжирование.

Антисептики для производственного применения обычно выбирают эмпирически на основе дискретного анализа их различных экологических, технологических, эксплуатационных, экономических характеристик.

Цель работы – оптимизировать выбор водорастворимых антисептиков на основе комплексного обобщенного показателя, учитывающего в количественном выражении их разнородные характеристики, полученные по оценкам независимых экспертов.

Нами рассмотрены отечественные и зарубежные водорастворимые антисептики ЭОК, К-12, Sinesto-B [4] и Катан ЛК-10 [3], которые предназначены для защиты сырых пиломатериалов и строительных изделий от

грибов синевы и плесени и прошли широкую производственную апробацию в климатических условиях севера.

Дадим их краткую характеристику: ЭОК изготавливают на основе щелочных солей карбоновых и неорганических кислот в виде порошка белого цвета; К-12 содержит соединения фтора, выпускается в виде порошка белого цвета, без запаха; Sinesto-B содержит соединения четвертичного аммония и бора, его поставляют в бочках и канистрах в виде прозрачной желтоватой жидкости, обладающей слабым запахом; Катан ЛК-10 изготавливают на основе соединений четвертичного аммония в виде мелких крупиц белого цвета [3].

Качественный и количественный анализ различных антисептиков производили по наиболее приемлемому методу экспертных оценок, основанному на построении иерархической структуры с учетом приоритета рассматриваемых факторов.

Метод анализа иерархий (МАИ) заключается в разделении обобщенной задачи на более простые составляющие и дальнейшей обработке последовательности суждений независимых экспертов по парным сравнениям компонентов. В результате этого выявляют относительную степень (интенсивность) взаимодействия в построенной иерархии разнородных показателей антисептиков, которые затем представляют в численном виде. МАИ включает процедуры синтеза множественных суждений, нахождения приоритетов критериев и альтернативных решений. Полученные таким образом значения являются оценками в шкале отношений.

Решение проблемы заключается в поэтапном установлении приоритетов. На первом этапе выявляли наиболее важные показатели антисептиков, на втором – наилучший способ проверки наблюдений, испытания и их оценки. Следующим этапом являлась проверка способа применения решения и оценка его качества.

Процесс поэтапных проверок и переосмыслений осуществляли до тех пор, пока не появилась уверенность, что учтены все характеристики рассматриваемых антисептиков, необходимые для оптимального их выбора с учетом конкретных производственных условий.

Аналитический процесс проводили над последовательностью иерархий. При этом результаты, полученные в одной из них, использовали в качестве исходных данных при изучении следующей. Рассмотренный метод позволил систематизировать процесс решения многоступенчатой задачи оптимизации.

Первым этапом МАИ является построение структуры проблемы в виде иерархии или сети. В наиболее простом виде иерархия строится с вершины через промежуточные уровни к самому низкому уровню. Промежуточные уровни иерархий обычно представляют собой критерии, с помощью которых оцениваются более низкие уровни. В качестве вершины служит доминанта, т.е. цель, которая преследуется при решении проблемы. В данном случае – это выбор наиболее приемлемого антисептика. Двухуровневую

процедуру обзора и оценки событий проводили по одной из моделей метода Дельфи [5].

На первом уровне оценки эксперты из числа опытных производственных технологов заполняли анкеты, оценивая антисептики по каждому из критериев. При анализе первоначально рассматривали 16 показателей, традиционно используемых для характеристики средств защиты древесины. После качественного анализа сократили количество критериев, у некоторых изменили формулировки. При окончательном решении осталось 10 наиболее значимых: К1 – защита от плесневых и деревоокрашивающих грибов; К2 – экологическая опасность; К3 – способность сохранять естественный цвет древесины после антисептирования; К4 – последствия хранения межсезонного запаса в холодном складе (реабилитация свойств после замерзания); К5 – наличие запаха; К6 – пожароопасность; К7 – готовность препарата к применению; К8 – влагоизоляционные свойства антисептированной поверхности древесины; К9 – сложность доставки антисептика к месту потребления; К10 – наличие дозирующих установок на производстве.

Самый низкий уровень представляет собой возможные варианты решения рассматриваемой проблемы. Построенная доминантная иерархия является полной, поскольку каждый элемент заданного уровня функционирует как критерий для всех элементов нижестоящего уровня и может служить для оценки элементов более низкого уровня.

С помощью МАИ [1, 2, 5] определяли относительную значимость исследуемых альтернатив для всех критериев, входящих в иерархию. Относительную значимость выражали численно в виде векторов приоритетов, значения которых являются оценками в шкале отношений.

В рассматриваемой задаче сравнения нескольких элементов каждый из критериев имеет связь со всеми другими. Поэтому в первой модификации рассматривается иерархия с одинаковым числом и функциональным составом альтернатив под критериями и метод попарного сравнения элементов иерархий.

Построение иерархии начинали с определения проблемы исследования. Далее строится собственно иерархия, включающая цель, расположенную в ее вершине, промежуточные уровни (критерии) и альтернативы, формирующие самый нижний иерархический уровень. Для установления относительной важности элементов иерархии на втором уровне использовали девятибалльную шкалу отношений Саати [5], которая позволила выразить в количественных показателях предпочтения характеристик одного сравниваемого антисептика перед другим.

Выбор приведенной шкалы (табл. 1) был обоснован теоретически [1]. Используя эту шкалу, эксперт при сравнении двух объектов (в смысле достижения цели, расположенной на вышележащем уровне иерархии) должен каждому выставить в соответствии с этим число в интервале от 1 до 9 или обратное значение чисел.

Применяя метод попарного сравнения показателей, строили множество матриц. Для этого в иерархии выделяли элементы двух типов: элемен-

Таблица 1

Шкала отношений

| Степень значимости | Характеристика значимости | Различия |
|--|--|--|
| 1 | Одинаковая значимость | Два критерия вносят одинаковый вклад в достижение цели |
| 3 | Слабая значимость | Существуют соображения в пользу некоторого предпочтения одного из критериев, однако эти соображения недостаточно убедительны |
| 5 | Существенная или сильная значимость | Имеются надежные данные или логические суждения для того, чтобы показать предпочтительность одного из критериев |
| 7 | Очевидная или очень сильная значимость | Убедительное свидетельство в пользу одного критерия перед другим |
| 9 | Абсолютная значимость | Свидетельства в пользу предпочтения одного критерия другому в высшей степени убедительны |
| 2, 4, 6, 8 | Промежуточные значения между двумя соседними суждениями | Ситуация, когда необходимо компромиссное решение |
| Обратные величины приведенных выше ненулевых величин | Если критерию i при сравнении с критерием j приписывается одно из определенных выше ненулевых чисел, то критерию j при сравнении с критерием i приписывается обратное значение | Если согласованность была постулирована при получении N числовых значений для образования матрицы |

ты-«родители» и элементы-«потомки». Элементы-потомки воздействуют на соответствующие элементы вышестоящего уровня иерархии, которые являются по отношению к первым элементами-родителями. Матрицы парных сравнений строятся для всех элементов-потомков, относящихся к соответствующему элементу-родителю. Элементами-родителями могут являться элементы, принадлежащие любому иерархическому уровню, кроме последнего, на котором расположены, как правило, альтернативы. Парные сравнения проводят в терминах доминирования одного элемента над другим. Полученные суждения выражают в целых числах по девятибалльной шкале (табл. 1).

Заполнение квадратных матриц парных сравнений осуществляют по следующему правилу. Если элемент A_1 доминирует над элементом A_2 , то клетка матрицы, соответствующая строке A_1 и столбцу A_2 , заполняется целым числом, а клетка, соответствующая строке A_2 и столбцу A_1 , – обратным числом. Если элементы A_1 и A_2 равнопредпочтительны, то в обе позиции матрицы записывают по единице.

Для получения каждой матрицы эксперт (или аналитик) выносит $n(n-1)/2$ суждений (n – порядок матрицы парных сравнений).

Рассмотрим в общем виде пример формирования матрицы. Пусть A_1, A_2, \dots, A_n – множество из n элементов (альтернатив), v_1, v_2, \dots, v_n – соответствующие их веса, или интенсивности. Сравним попарно вес (интенсивность) каждого элемента с весом любого другого элемента из рассматриваемого множества по отношению к общему для них свойству или цели. В этом случае матрица парных сравнений $[A]$ имеет следующий вид:

$$[A]= \begin{array}{c|ccccc} & A_1 & A_2 & \dots & A_n \\ \hline A_1 & v_1/v_1 & v_1/v_2 & \dots & v_1/v_n \\ A_2 & v_2/v_1 & v_2/v_2 & \dots & v_2/v_n \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ A_n & v_n/v_1 & v_n/v_2 & \dots & v_n/v_n \end{array}$$

Матрица парных сравнений обладает свойством обратной симметрии, т.е. $a_{ij} = 1/a_{ji}$, где $a_{ij} = v_i/v_j$.

Обработка матрицы парных сравнений позволяет ранжировать критерии, присваивая им весовые коэффициенты. Каждому антисептику по данным экспертов была выставлена средневзвешенная оценка на основе обобщенного аддитивного критерия, в результате этого и было выполнено ранжирование.

При проведении попарных сравнений следует отвечать на следующие вопросы: Какой из двух сравниваемых элементов важнее или имеет большее воздействие? Какой более вероятен и какой предпочтительнее?

При сравнении критериев обычно устанавливают, какой из антисептиков наиболее важен; при сравнении альтернатив по отношению к критерию – какая из альтернатив более предпочтительна или более вероятна. При оптимизации выбора водорастворимого антисептика для производственного применения учитывали мнения независимых экспертов. Это вызвало необходимость усреднения их суждений с использованием понятия усредненной оценки. Результаты усреднения приведены в табл. 2.

Таблица 2

Усредненные значения попарного сравнения критериев оценки антисептиков

| Критерий | K1 | K2 | K3 | K4 | K5 | K6 | K7 | K8 | K9 | K10 |
|----------|------|------|------|------|-----|------|------|------|----|------|
| K1 | 1 | 5 | 6 | 8 | 7 | 7 | 8 | 7 | 9 | 6 |
| K2 | 0,20 | 1 | 6 | 5 | 6 | 8 | 6 | 8 | 9 | 6 |
| K3 | 0,17 | 0,16 | 1 | 0,20 | 1 | 1 | 1 | 3 | 8 | 1 |
| K4 | 0,13 | 0,20 | 5 | 1 | 2 | 3 | 2 | 1 | 5 | 1 |
| K5 | 0,14 | 0,17 | 1 | 0,50 | 1 | 0,50 | 0,33 | 1 | 6 | 1 |
| K6 | 0,14 | 0,13 | 1 | 0,33 | 2 | 1 | 0,50 | 1 | 7 | 1 |
| K7 | 0,13 | 0,17 | 1 | 0,50 | 3 | 2 | 1 | 5 | 8 | 2 |
| K8 | 0,14 | 0,13 | 0,33 | 1 | 1 | 1 | 0,20 | 1 | 7 | 1 |
| K9 | 0,11 | 0,11 | 0,13 | 0,20 | 0,2 | 0,10 | 0,13 | 0,14 | 1 | 0,13 |
| K10 | 0,17 | 0,17 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0,50 | 1 | 8 | 1 |

Ранжирование элементов, анализируемых с использованием матрицы парных сравнений [A], осуществляют на основании главных собственных векторов, которые получают при обработке матриц. Главный собственный вектор W положительной квадратной матрицы [A] вычисляют на основании равенства

$$AW = \lambda_{\max} W, \quad (1)$$

где λ_{\max} – максимальное собственное значение матрицы [A].

Для положительной квадратной матрицы [A] правый собственный вектор W , соответствующий максимальному собственному значению λ_{\max} , с точностью до постоянного множителя C можно рассчитать по формуле

$$\lim_{k \rightarrow \infty} \frac{A^k e}{e^T A^k e} = CW, \quad (2)$$

где $e = \{1, 1, 1, \dots, 1\}$ – единичный вектор;

$k = 1, 2, 3, \dots$ – показатель степени;

C – константа;

T – знак транспонирования.

Вычисление собственного вектора W по выражению (2) производят до достижения заданной точности:

$$e^T |W^{(l)} - W^{(l+1)}| \leq \xi, \quad (3)$$

где l – номер итерации, такой, что $l = 1$ соответствует $k = 1$; $l = 2$ соответствует $k = 2$ и т. д.;

ξ – допустимая погрешность.

C достаточной для практики точностью независимо от порядка матрицы можно принять $\xi = 0,01$. Максимальное собственное значение

$$\lambda_{\max} = e^T [A] W. \quad (4)$$

Результаты ранжирования критериев, полученные после обработки анкет пяти экспертов, приведены в табл. 3.

Таблица 3

**Результаты ранжирования критериев оценки антисептиков
по величинам весовых коэффициентов**

| Критерий | Весовой коэффициент | «Место» критерия | Критерий | Весовой коэффициент | «Место» критерия |
|----------|---------------------|------------------|----------|---------------------|------------------|
| K1 | 0,378929 | 1 | K6 | 0,042387 | 7 |
| K2 | 0,238634 | 2 | K7 | 0,073038 | 4 |
| K3 | 0,051100 | 5 | K8 | 0,038972 | 8 |
| K4 | 0,081089 | 3 | K9 | 0,011902 | 10 |
| K5 | 0,037190 | 9 | K10 | 0,046759 | 6 |

В практических задачах количественная (кардинальная) и транзитивная (порядковая) однородность (согласованность), как правило, нарушаются из-за того, что человеческие ощущения невозможно выразить точной формулой. Для улучшения однородности в числовых суждениях, какая бы величина a_{ij} ни была взята для сравнения i -го элемента с j -м, a_{ji} приписывается значение обратной величины, т.е. $a_{ji} = 1 / a_{ij}$. Отсюда следует, что если один элемент в a раз предпочтительнее другого, то последний в $1/a$ раз предпочтительнее первого.

При нарушении однородности ранг матрицы отличен от единицы, и она будет иметь несколько собственных значений. Однако при небольших отклонениях суждений от однородности одно из собственных значений будет существенно больше остальных и приблизительно равно порядку матрицы. Таким образом, для оценки однородности суждений эксперта необходимо использовать отклонение величины максимального собственного значения λ_{\max} от порядка матрицы n .

Однородность суждений оценивают индексом однородности I_o или отношением однородности O_o в соответствии со следующими выражениями:

$$I_o = (\lambda_{\max} - n) / (n - 1); \quad O_o = I_o / M(I_o),$$

где $M(I_o)$ – среднее значение (математическое ожидание) индекса однородности случайным образом составленной матрицы парных сравнений $[A]$, которое основано на экспериментальных данных [1].

В качестве допустимого используется значение $O_o \leq 0,10$. Если для матрицы парных сравнений отношение однородности $O_o > 0,10$, то это свидетельствует о существенном нарушении логичности суждений, допущенном экспертом при заполнении матрицы. Для улучшения однородности в этой ситуации эксперту следует пересмотреть данные, использованные для построения матрицы.

Объединение «весов» критериев и сравнения антисептиков по каждому из критериев были сведены в одну модель. Это позволило присвоить средневзвешенную оценку каждому препарату. По результатам расчета рассматриваемые водорастворимые антисептики были размещены в следующем порядке по приоритету рассчитанных количественных показателей обобщенных оценок: Катан ЛК-10 (оценка – 0,347641), Sinesto-B (0,312463), ЭОК (0,207288), К-12 (0,132608).

Вывод

Разработанная методика оптимального выбора водорастворимого антисептика на основе экспертных оценок опытных производственных технологов по 10 разнородным показателям, которые при анализе по методу иерархий были выражены в численном виде, позволяет исключить влияние субъективных факторов на принятие окончательного решения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Аганбегян А.Г.* Перспективное отраслевое планирование: Экономико-математические методы и модели. – Новосибирск, 1986. – 192 с.
2. *Андрейчиков А.В., Андрейчикова О.Н.* Анализ, синтез, планирование решений в экономике. – М.: Финансы и статистика, 2000. – 368 с.
3. Антисептики для деревянных домов / Е.И. Иванникова, Л.К. Лебедева, Е.Ю. Варфоломеева и др. // Тез. докл. междунар. науч.-техн. конф. «Реконструкция – Архангельск-99». Т.1. Реконструкция и ремонт зданий и сооружений в климатических условиях Севера. – Архангельск: АГТУ, 1999. – С. 126–132.
4. *Варфоломеев Ю.А.* Обеспечение долговечности изделий из древесины. – М.: Ассоль, 1992. – 288 с.
5. *Саати Т., Кернс К.* Аналитическое планирование. Организация систем / Пер. с англ. – М.: Радио и связь, 1991. – 224 с.

Архангельский государственный
технический университет

Поступила 5.05.03

Yu.A. Varfolomeev, M.A. Ambrosevich

Method of Expert Appraisal for Choosing Antiseptics

Selection of antiseptics is optimized according to the method of expert appraisal using complex generalized characteristic taking into account many heterogeneous characteristics in the quantitative expression under hierarchy analysis.
