

DOI: 10.58168/OpEq2025_128-138

УДК 674; 681.5

**РАЗРАБОТКА АРХИТЕКТУРЫ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ
СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ЛЕСОПИЛЬНЫМ ОБОРУДОВАНИЕМ**
DEVELOPMENT OF ARCHITECTURE OF AUTOMATED CONTROL SYSTEM
FOR SAWING EQUIPMENT

Мещерякова Анна Анатольевна

кандидат технических наук, доцент ФГБОУ ВО «Воронежский
государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова,
Воронеж, Россия

Грибанов Андрей Анатольевич

кандидат технических наук, доцент ФГБОУ ВО «Воронежский
государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова,
Воронеж, Россия

Meshcheryakova Anna Anatolyevna

Candidate of Technical Sciences, associate professor Voronezh State University
of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov, Voronezh, Russia

Gribanov Andrey Anatolyevich

Candidate of Technical Sciences, associate professor Voronezh State University
of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov, Voronezh, Russia

Аннотация. Статья посвящена разработке автоматизированной системе управления лесопильным оборудованием с целью максимизации экономического эффекта от использования пиловочного сырья путем его рационального распределения между различными типами оборудования

Abstract. The article is devoted to the development of an automated control system for sawmill equipment in order to maximize the economic effect of using sawn timber by rationally distributing it between different types of equipment.

Ключевые слова: автоматизированная система управления, компоненты системы, экономическая эффективность, системы управления, лесопильное оборудование, алгоритм.

Keywords: automated control system, system components, economic efficiency, control systems, sawmill equipment, algorithm.

Автоматизированная система управления (АСУ) лесопильным оборудованием представляет собой комплекс технических и программных средств, направленных на повышение эффективности производства за счет оптимизации процессов распиловки древесины [1-3]. Рассмотрим архитектуру АСУ на конкретном примере с использованием цифровых показателей из предоставленного материала.

Целью разработки АСУ является максимизация экономического эффекта от использования пиловочного сырья путем его рационального распределения между различными типами оборудования. В качестве примера рассмотрим партию сырья объемом 100 000 м³, разделенную на 4 размерные группы: диаметром 16 см (20%), 22 см (50%), 28 см (20%) и 32 см (10%).

Основные компоненты АСУ.

Сенсоры. Сенсоры обеспечивают сбор данных о параметрах сырья и состоянии оборудования [2, 4]. Для рассматриваемого примера используются следующие датчики:

- лазерные датчики (измеряют диаметр бревен в пределах от 16 до 32 см, точность измерений составляет ± 1 мм);
- камеры машинного зрения (анализируют форму бревен и выявляют дефекты поверхности, обрабатывают данные со скоростью 100 бревен в минуту);

- датчики производительности (отслеживают объем переработанной древесины. Например, оборудование №1 обрабатывает 60 000 м³/год для бревен диаметром 16 см);

- температурные датчики (контролируют нагрев режущих инструментов, предотвращая перегрев выше 80°C).

Контроллеры. Контроллеры обрабатывают данные, поступающие от сенсоров, и формируют управляющие сигналы [4]. В примере используются три типа оборудования:

- оборудование №1 (капитальные затраты: 4600 тыс. руб.; эксплуатационные затраты (CF): 7500 тыс. руб./год; срок службы: 10 лет; эквивалентный аннуитет (ЕА) при ставке дисконтирования 10%: 7094 тыс. руб./год);

- оборудование №2 (капитальные затраты: 4200 тыс. руб.; эксплуатационные затраты (CF): 6500 тыс. руб./год; срок службы: 10 лет; эквивалентный аннуитет (ЕА): 6178 тыс. руб./год);

- оборудование №3 (капитальные затраты: 4500 тыс. руб.; эксплуатационные затраты (CF): 6000 тыс. руб./год; срок службы: 10 лет; эквивалентный аннуитет (ЕА): 5790 тыс. руб./год).

Исполнительные механизмы. Исполнительные механизмы реализуют управляющие воздействия. Для рассматриваемого примера:

- электродвигатели (управляют подачей бревен со скоростью до 60 м/мин; обеспечивают точность позиционирования ± 0.5 мм);

- гидравлические приводы (перемещают зажимы для фиксации бревен с усилием до 5 тонн; обеспечивают время срабатывания менее 0,5 секунд);

- роботизированные манипуляторы (загружают бревна на оборудование со скоростью 15 штук в минуту; сортируют готовые пиломатериалы с точностью 99.9%).

Архитектура АСУ строится по многоуровневому принципу:

1. Нижний уровень (сенсорный уровень):

– лазерные датчики передают данные о диаметре бревен на средний уровень через интерфейс Modbus;

– температурные датчики отправляют данные о нагреве режущих инструментов каждые 10 секунд.

2. Средний уровень (контроллерный уровень):

– контроллеры обрабатывают данные и формируют управляющие сигналы. Например, для оборудования №1 рассчитывается оптимальная скорость подачи бревен диаметром 16 см (60 м/мин).

3. Верхний уровень (операторский уровень):

– SCADA–система отображает данные о производительности каждого типа оборудования в реальном времени. Например, оператор видит, что оборудование №1 обрабатывает 60 000 куб. м/год для бревен диаметром 16 см.

Программное обеспечение включает:

1) базы данных – хранят информацию о распределении сырья: 20 000 куб. м для бревен диаметром 16 см, 50 000 куб. м для бревен диаметром 22 см и т.д.;

2) алгоритмы оптимизации – рассчитывают максимальный экономический эффект. Например, для партии сырья объемом 100 000 куб. м экономический эффект составляет 172 730 тыс. руб.

3) системы мониторинга – предупреждают о возможных сбоях оборудования. Например, температурный датчик генерирует сигнал тревоги при нагреве режущего инструмента выше 80°C.

На основе данных из таблиц, представленных в пункте 2.4, распределение сырья производится следующим образом:

– бревна диаметром 16 см (20 000 куб. м) обрабатываются только на оборудовании №1;

– бревна диаметром 22 см (50 000 куб. м) – только на оборудовании №2;

–бревна диаметром 28 см (20 000 куб. м) и 32 см (10 000 куб. м) – только на оборудовании №3.

Экономический эффект для бревен диаметром 16 см стоимость сырья составляет 24 035 тыс. руб., что на 20% выше исходной цены, а для бревен диаметром 32 см стоимость сырья увеличивается на 73%, достигая 17 273 тыс. руб.

Таким образом, разработанная архитектура АСУ обеспечивает рациональное распределение пиловочного сырья между оборудованием, что позволяет достичь максимальной производительности и экономической эффективности. Например, для партии сырья объемом 100 000 м³ экономический эффект составил 172 730 тыс. руб. Такая система становится неотъемлемым инструментом для предприятий, стремящихся к лидерству в своей отрасли.

На основе предоставленной выше информации и теоретического описания, разработали алгоритм программы для автоматизации управления лесопильным оборудованием. Алгоритм будет включать шаги для расчета оптимального распределения сырья между оборудованием и максимизации экономического эффекта.

Алгоритм программы состоит:

1. Ввод данных

Программа начинается с загрузки входных данных. Эти данные могут быть либо жестко закодированы в программе, либо введены пользователем через графический интерфейс (GUI).

Шаг 1.1. Размерные группы сырья

Определить количество размерных групп n .

Для каждой группы задать:

Диаметр бревен (d_i).

Долю в общем объеме сырья (d_i), где $\sum_{i=1}^n d_i = 1$.

Шаг 1.2. Характеристики оборудования

Определить количество типов оборудования m .

Для каждого типа оборудования задать:

Капитальные затраты (I_0).

Эксплуатационные затраты (CF).

Срок службы (T).

Годовую производительность (Π_{ij}) для каждой размерной группы.

Выход пиломатериалов (r_{ij}) для каждой размерной группы.

Шаг 1.3. Общий объем сырья

Задать общий объем сырья Q (куб. м).

Шаг 1.4. Цена пиломатериалов

Задать цену пиломатериалов ($P_{\text{ПМ}}$) в руб./куб. м.

2. Подготовка данных для оптимизации

Программа преобразует входные данные в формат, подходящий для решения задачи линейного программирования.

Шаг 2.1. Расчет эквивалентного аннуитета. Для каждого типа оборудования рассчитать эквивалентный аннуитет (EA_j) по формуле (1):

$$EA_j = I_0 \cdot \frac{k \cdot (1+k)^T}{(1+k)^T - 1} + CF \quad (1)$$

где I_0 – капитальные затраты на оборудование (тыс. руб.),

k – ставка дисконтирования (например, 10% или 0,10),

T – срок службы оборудования (лет),

CF – эксплуатационные затраты (тыс. руб./год).

Шаг 2.2. Формирование переменных. Обозначить переменные x_{ij} – доли сырья из группы i , распиливаемого на оборудовании типа j . Количество переменных равно $n \times m$.

3. Формулировка целевой функции

Целевая функция максимизирует экономический эффект от использования сырья по формуле (2):

$$\Theta = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m \left(\Pi_{ij} \cdot x_{ij} \cdot r_{ij} \cdot P_{\text{ПМ}} - EA_j \cdot \sum_{i=1}^n x_{ij} \right) \quad (2)$$

где $P_{\text{ПМ}}$ – цена пиломатериалов (руб./куб. м),

EA_j – эквивалентный аннуитет для оборудования типа j (тыс. руб./год).

K_{ij} – количество времени работы оборудования ij при распиловке сырья из группы i , лет,

$P_{\text{ПМ}}$ – стоимость 1 м³ пиломатериалов, тыс. руб.;

$P_{\text{ПЛ}}$ – стоимость 1 куб. м пиловочника, тыс. руб.;

Q – объём партии сырья, м³.

Программа преобразует эту функцию в минимизируемую форму для использования в библиотеке `scipy.optimize.linprog`:

Минимизировать: – Θ

4. Формулировка ограничений

Программа учитывает следующие ограничения:

Ограничение 1. Распределение сырья. Для каждой размерной группы i суммарная доля сырья, распиливаемого на всех типах оборудования, должна быть равна доле этой группы в общем объеме сырья по формуле (3):

$$\sum_{j=1}^m x_{ij} = d_i, \quad \forall i = 1, \dots, n \quad (3)$$

Ограничение 2. Производственные ограничения. Объем сырья, распиливаемого на каждом типе оборудования, не должен превышать его годовую производительность по формуле (4):

$$\sum_{i=1}^n x_{ij} \cdot Q \leq \Pi_{ij}, \quad \forall j = 1, \dots, m \quad (4)$$

Ограничение 3. Неотрицательность переменных. Все переменные x_{ij} должны быть неотрицательными:

$$x_{ij} \geq 0, \quad \forall i = 1, \dots, n, \quad \forall j = 1, \dots, m$$

5. Решение задачи оптимизации

Программа использует метод линейного программирования для решения задачи. Шаги:

Шаг 5.1. Преобразование данных. Преобразовать целевую функцию и ограничения в матричный формат, подходящий для `scipy.optimize.linprog`.

Шаг 5.2. Вызов оптимизатора. Использовать функцию `linprog` для поиска оптимального решения:

```
result = linprog(c, A_eq=A_eq, b_eq=b_eq, bounds=bounds, method='highs')
```

где c – коэффициенты целевой функции,

A_{eq} и b_{eq} – матрица и вектор для равенств,

$bounds$ – границы для переменных.

6. Анализ результатов

Программа анализирует результаты оптимизации:

Шаг 6.1. Проверка успешности. Если решение найдено успешно (`result.success = True`):

Вывести оптимальное распределение сырья (x_{ij}).

Рассчитать максимальный экономический эффект (Э).

Если решение не найдено:

Вывести сообщение об ошибке.

Шаг 6.2. Интерпретация результатов

Определить, какое оборудование должно использоваться для каждой размерной группы.

Рассчитать стоимость сырья для каждой группы (дифференцированные цены).

7. Вывод результатов

Программа выводит результаты в удобном для пользователя формате:

Через консоль или графический интерфейс (GUI).

В виде таблицы с распределением сырья и экономическими показателями.

Пример работы алгоритма

Ввод данных:

Размерные группы: диаметры 16, 22, 28, 32 см с долями 20%, 50%, 20%, 10%.

Три типа оборудования с характеристиками (производительность, выход пиломатериалов, затраты).

Расчет эквивалентного аннуитета:

Для оборудования №1: $EA_1 = 7094$ тыс. руб./год.

Формулировка целевой функции и ограничений:

Целевая функция: максимизация экономического эффекта.

Ограничения: распределение сырья, производственные ограничения.

Решение задачи:

Программа находит оптимальное распределение сырья.

Вывод результатов:

Оптимальное распределение:

Группа 1: только на оборудовании №1.

Группа 2: только на оборудовании №2.

Группы 3 и 4: только на оборудовании №3.

Максимальный экономический эффект: $\Xi = X$ тыс. руб.

Таким образом, алгоритм программы позволяет эффективно решать задачу распределения пиловочного сырья между различными типами оборудования. Он основан на методологии линейного программирования и учитывает все ключевые параметры производства.

Список литературы

1. Кантиева, Е.В. Технология лесопильно–деревообрабатывающих производств: учебное пособие / Е.В. Кантиева, А.А. Мещерякова / М–во образования и науки Рос. Федерации, Фед. гос. бюджет. образоват. учреждение высш. образования "Воронеж. гос. лесотехн. ун–т им. Г. Ф. Морозова". – Воронеж, 2016. – 318 с. – eLIBRARY. – ЭБС ВГЛТУ.

2. Тамби, А.А. Обоснование необходимости внедрения процессов комплексного использования древесины на лесопильных предприятиях / А.А. Тамби, С.А. Угрюмов, А.Р. Бирман [и др.] // Системы. Методы. Технологии. 2020. № 2 (46). – С. 47–54.

3. Усольцев, О.А. Показатели эффективности лесопильного производства / О.А. Усольцев, В.В. Огурцов, Е.В. Каргина [и др.]// В сборнике: Лесной и химический комплексы – проблемы и решения. Сборник статей по материалам Всероссийской научно–практической конференции. В 2–х томах. 2016. – С. 135–137.

4. Мещерякова, А.А. Проектные решения по совершенствованию средств автоматизации лесопильного цеха [Текст] / А. А. Мещерякова, Ю. А. Пяткова // Современные ресурсосберегающие технологии и технические средства лесного комплекса : материалы Всероссийской научно-практической конференции, Воронеж, 25-26 ноября 2021 г. / отв. ред. И. В. Четверикова ; М-во науки и высшего образования РФ, ФГБОУ ВО «ВГЛТУ». – Воронеж, 2021. – С. 94-98с.- eLIBRARY.

References

1. Kantieva, E.V. Technology of sawmilling and woodworking industries: a textbook / E.V. Kantieva, A.A. Meshcheryakova / Ministry of Education and Science of the Russian Federation, Federal state budget educational institution of higher education "Voronezh State Forestry University named after G.F. Morozov". - Voronezh, 2016. - 318 p. - eLIBRARY. - Electronic Library System of VSFLTU
2. Tambi, A.A. Justification of the need to introduce processes of integrated use of wood at sawmills / A.A. Tambi, S.A. Ugryumov, A.R. Birman [et al.] // Systems. Methods. Technologies. 2020. No. 2 (46). - P. 47-54.
3. Usoltsev, O.A. Performance indicators of sawmill production / O.A. Usoltsev, V.V. Ogurtsov, E.V. Kargina [et al.] // In the collection: Forest and chemical complexes – problems and solutions. Collection of articles based on the materials of the All-Russian scientific and practical conference. In 2 volumes. 2016. – P. 135–137.
4. Meshcheryakova, A.A. Design solutions for improving automation tools of the sawmill shop [Text] / A. A. Meshcheryakova, Yu. A. Pyatkova // Modern resource-saving technologies and technical means of the forest complex : materials of the All-Russian Scientific and Practical Conference, Voronezh, November 25-26, 2021 / ed. by I. V. Chetverikov; Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation, VGLTU. – Voronezh, 2021. – pp. 94-98.- eLibrary.