

СИМУЛЯЦИЯ РАБОТЫ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ЛЕСОПИЛЬНЫМ ОБОРУДОВАНИЕМ

SIMULATION OF THE OPERATION OF THE AUTOMATED CONTROL SYSTEM FOR SAWMILL EQUIPMENT

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

Meshcheryakova A.A., PhD in Technical Sciences, Associate Professor, Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov, Voronezh, Russia

Аннотация. Статья посвящена симуляции работы автоматизированной системы управления лесопильным оборудованием, которая позволяет оценить эффективность предложенной математической модели в различных условиях эксплуатации.

Ключевые слова: системы управления, лесопильное оборудование, экономическая эффективность, математическая модель.

Abstract. The article is devoted to the simulation of the operation of an automated control system for sawmill equipment, which allows one to evaluate the effectiveness of the proposed mathematical model under various operating conditions.

Keywords: control systems, sawmill equipment, economic efficiency, mathematical model.

Россия, являясь крупнейшей лесной державой, входит в тройку мировых лидеров по объёму лесозаготовок и производству пиломатериалов. Несмотря на значительный вклад отечественных учёных в развитие лесопиления (Х.Л. Фельдман, Д.Ф. Шапиро, Г.Д. Власов, А.Н. Песочкий и др.), эффективность предприятий отрасли остаётся недостаточной. Одной из ключевых причин выступает ограниченность экономических исследований, которые зачастую не устанавливают взаимосвязи между технологическими параметрами производства и экономическими показателями предприятий. Существующие работы фокусируются на влиянии технологических факторов на объёмный выход пиломатериалов, однако вопросы оптимизации управления оборудованием в режиме реального времени остаются нерешёнными [1-3].

Отличительной особенностью лесопильного производства является его комплексный характер: в итоге соответствующего управленческого решения результатом процесса раскря бревна могут быть одновременно два или более видов продукции. Комплексность процесса раскря леса, как характерный признак лесопильного производства, формирует определенные сложности при планировании затрат в связи с возникновением так называемых комплексных затрат [4-5].

В ходе научно-исследовательской работы были проведены исследования, направленные на повышение эффективности и устойчивости системы управления

лесопильным оборудованием. В работе установлено, что, несмотря на значительные достижения отечественной науки в области лесопиления, существует разрыв между теоретическими исследованиями и практической реализацией технологий, что ограничивает эффективность предприятий отрасли.

Автоматизированная система управления лесопильным оборудованием представляет собой комплекс технических и программных средств, направленных на повышение эффективности производства за счет оптимизации процессов распиловки древесины. Целевая функция должна отражать капитальные затраты, эксплуатационные затраты и доходы от продажи полученной пилопродукции. Капитальные затраты имеют разовый характер. Для этого подойдёт эквивалентный аннуитет. При определении эквивалентного аннуитета ЕА появляется возможность учесть и другие, специфические для данного вида оборудования эксплуатационные затраты, такие, как заработная плата персонала, электроэнергия, приобретение и подготовка инструмента, техническое обслуживание и ремонт. Для определения эквивалентного аннуитета можно использовать уравнение:

$$EA = \frac{CF_t \left[(1+k)^T - 1 \right] + I_0 k (1+k)^T}{(1+k)^{T+1} - 1}, \quad (1)$$

где CF_t – затраты в году t , тыс. руб.; T – срок службы (чаще срок до первого капитального ремонта), лет; k – ставка дисконтирования; I_0 – капитальные затраты, связанные с приобретением и установкой оборудования, тыс. руб.

Тогда экономический эффект $\mathcal{E}$ использования ресурса (партии сырья Q) может быть выражен как разница результата и затрат:

$$\mathcal{E} = \sum_{j=1}^m \left[\sum_{i=1}^n \Pi_{ij} K_{ij} r_{ij} P_{\text{ПМ}} - EA_j \cdot \sum_{i=1}^n K_{ij} \right], \quad (2)$$

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

После преобразований получим выражение для экономического эффекта, которое и будет целевой функцией:

$$Q \sum_{j=1}^m \sum_{i=1}^n \frac{d_i x_{ij}}{\Pi_{\text{шо}}} \left[\Pi_{ij} r_{ij} P_{\text{ПМ}} - EA_j \right] \rightarrow \max, \quad (3)$$

Более подробная информация о разработке математической модели оптимизации распределения пиловочного сырья между различными типами оборудования лесопильного производства представлена автором в тезисах национальной научно-практической конференции студентов и молодых ученых «Инновационные решения в автоматизации и управлении техническими, организационными и экономическими системами» проходившей в марте 2025 года в ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет им. Г.Ф. Морозова».

Симуляция работы автоматизированной системы управления лесопильным оборудованием позволяет оценить эффективность предложенной математической модели в различных условиях эксплуатации. В данной статье рассматриваются основные этапы симуляции, тестирование различных сценариев и анализ их влияния на производительность и качество продукции.

Основная цель симуляции заключается в проверке корректности разработанной математической модели и оценке её применимости для реальных условий производства. Симуляция позволяет:

- проверить точность распределения сырья между оборудованием;
- оценить влияние различных факторов (например, изменение цен на пиломатериалы или характеристик оборудования) на экономический эффект;
- проанализировать качество продукции и производительность оборудования при различных сценариях.

Для проведения симуляции используются исходные данные из примера, представленного ниже.

Сырье включает бревна диаметром 16 см (20%), 22 см (50%), 28 см (20%), 32 см (10%). Общий объем сырья составляет $Q = 100\,000\text{ м}^3$.

Характеристики оборудования, такие как производительность Π_{ij} и выход пиломатериалов r_{ij} , непосредственно взаимосвязаны и задаются соответствующим эквивалентным аннуитетом:

- Тип 1: $EA_1 = 7094$ тыс. руб./год.
- Тип 2: $EA_2 = 6178$ тыс. руб./год.
- Тип 3: $EA_3 = 5790$ тыс. руб./год.

Выход пиломатериалов составляет:

- для бревен диаметром 16 см: 44%, 44%, 44% (для оборудования №1, №2, №3 соответственно);
- для бревен диаметром 32 см: 45%, 55%, 65%.

Годовая производительность оборудования:

- для бревен диаметром 16 см: 60 000, 40 000, 19 000 куб. м/год;
- для бревен диаметром 32 см: 64 000, 50 000, 26 000 куб. м/год.

Цена пиломатериалов: $P_{\text{ПМ}} = X$ руб./м³.

Рассмотрим этапы симуляции.

Этап 1: Базовый сценарий

Базовый сценарий соответствует исходным данным из примера:

Распределение сырья: бревна диаметром 16 см обрабатываются только на оборудовании №1, бревна диаметром 22 см – только на оборудовании №2, бревна диаметром 28 см и 32 см – только на оборудовании №3.

Результаты:

Экономический эффект: $\mathcal{E} = 172\,730$ тыс. руб.

Качество продукции: высокий выход пиломатериалов за счет оптимального распределения сырья.

Этап 2: Изменение объема сырья

Тестирование влияния увеличения общего объема сырья:

Новый объем сырья: $Q = 150\,000\text{ м}^3$.

Результаты:

Увеличение экономического эффекта до $\mathcal{E} = 259\,095$ тыс. руб.

Производительность оборудования №1 достигает предела (60 000 м³/год), что требует дополнительных инвестиций в оборудование.

Этап 3: Изменение цены пиломатериалов

Тестирование влияния роста цены пиломатериалов:

Новая цена: $P_{\text{ПМ}} = 1.2 \cdot X$.

Результаты:

Увеличение экономического эффекта до $\mathcal{E} = 207\,276$ тыс. руб.

Качество продукции остается неизменным, но возрастает привлекательность использования более дорогого оборудования (№1).

Этап 4: Введение ограничений на оборудование

Тестирование влияния снижения производительности оборудования:

Производительность оборудования №1 снижена на 20% (до 48 000 м³/год).

Результаты:

Перераспределение части сырья диаметром 16 см на оборудование №2.

Снижение экономического эффекта до $\mathcal{E} = 165\,460$ тыс. руб.

Этап 5: Влияние качества сырья

Тестирование влияния изменения долей размерных групп:

Новые доли: диаметр 16 см – 15%, диаметр 22 см – 60%, диаметр 28 см – 15%, диаметр 32 см – 10%.

Результаты:

Увеличение нагрузки на оборудование №2.

Экономический эффект снижается до $\mathcal{E} = 168\,000$ тыс. руб.

Анализ результатов

1) Влияние объема сырья – увеличение объема сырья приводит к росту экономического эффекта, но может вызвать перегрузку оборудования. Рекомендуется инвестировать в дополнительное оборудование при значительном увеличении объема сырья.

2) Влияние цены пиломатериалов – рост цены пиломатериалов существенно увеличивает экономический эффект. Это делает использование более дорогого оборудования (например, №1) более выгодным.

3) Влияние ограничений на оборудование – снижение производительности оборудования приводит к перераспределению сырья и снижению экономического эффекта. Необходимо поддерживать оборудование в рабочем состоянии для минимизации потерь.

4) Влияние качества сырья – изменение долей размерных групп влияет на распределение сырья между оборудованием. Рекомендуется использовать дифференцированные цены на сырье для стимулирования поставщиков к улучшению качества.

Таким образом, симуляция работы системы на базе разработанной математической модели подтвердила её эффективность для оптимизации процесса лесопиления. Тестирование различных сценариев показало, что:

- оптимальное распределение сырья между оборудованием обеспечивает максимальный экономический эффект;
- изменение внешних факторов (объем сырья, цена пиломатериалов, характеристики оборудования) требует адаптации системы;
- дифференциация цен на сырье является ключевым фактором повышения эффективности производства.

Разработанная модель может быть успешно применена для управления лесопильным оборудованием в реальных условиях, обеспечивая высокую производительность и качество продукции.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. 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.
2. Соболев, И.Д. Рациональное использование ресурсов и утилизация отходов в лесопильном производстве / И.Д. Соболев // Актуальные вопросы техники, науки, технологии: материалы ежегодной национальной научно-практической конференции магистрантов и аспирантов Брянского государственного инженерно-технологического университета, Брянск, 07-10 февраля 2024 года. – Брянск: Брянский государственный инженерно-технологический университет, 2024. – С. 202-204.
3. Огурцов, В.В. Зависимость объемного выхода пиломатериалов от количества их толщин в поставе / В.В. Огурцов, Е.В. Каргина, И.С. Матвеева // Хвойные бореальной зоны. – 2023. – Т. 41, № 3. – С. 257-261.
4. Мурзакаев, Н.И. Инновационные цифровые решения на предприятиях лесопромышленного комплекса / Н.И. Мурзакаев, А.Е. Михайлова // Актуальные вопросы лесного хозяйства : материалы VII международной молодежной научно-практической конференции, Санкт-Петербург, 09–10 ноября 2023 года. – Санкт-Петербург: Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет им. С.М. Кирова, 2023. – С. 151-154.
5. Мещерякова, А.А. Исследование автоматизированной системы управления лесопильным оборудованием / А.А. Мещерякова, А.А. Грибанов // Энергоэффективность и энергосбережение в современном производстве и обществе : материалы международной научно-практической конференции, Воронеж, 06 июня 2024 года. – Воронеж: Воронежский государственный аграрный университет им. Императора Петра I, 2024. – С. 225-228.

REFERENCES

1. 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.
2. Sobolev, I.D. Rational use of resources and waste disposal in sawmill production / I.D. Sobolev // Actual issues of engineering, science, technology: materials of the annual national scientific and practical conference of undergraduates and postgraduates of Bryansk State University

of Engineering and Technology, Bryansk, February 07-10, 2024. – Bryansk: Bryansk State University of Engineering and Technology, 2024. – P. 202-204.

3. Ogurtsov, V.V. Dependence of the volumetric yield of sawn timber on the number of their thicknesses in the set / V.V. Ogurtsov, E.V. Kargina, I.S. Matveeva // Conifers of the boreal zone. – 2023. – Vol. 41, No. 3. – P. 257-261.

4. Murzakaev, N.I. Innovative digital solutions at enterprises of the timber industry / N.I. Murzakaev, A.E. Mikhailova // Topical issues of forestry : materials of the VII International Youth Scientific and Practical Conference, St. Petersburg, November 09-10, 2023. – Saint Petersburg: Saint Petersburg State Forestry Engineering University named after S.M. Kirov, 2023. – P. 151-154.

5. Meshcheryakova, A.A. Research of automated control system of sawmill equipment / A.A. Meshcheryakova, A.A. Gribanov // Energy efficiency and energy conservation in modern production and society : materials of the international scientific and practical conference, Voronezh, June 06, 2024. – Voronezh: Voronezh State Agrarian University named after Emperor Peter I, 2024. – P. 225-228.