Научная статья
УДК 630.3

МЕТОДИКА ОЦЕНКИ ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТИ ОПТИМАЛЬНОГО РЕШЕНИЯ В УСЛОВИЯХ СТОХАСТИЧЕСКОЙ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ ЗАГОТОВКИ ДРЕВЕСИНЫ.

Александр Сергеевич Максимов¹, Никита Евгеньевич Федоровских²,
Сергей Борисович Якимович³

^{1, 2, 3} Уральский государственный лесотехнический университет,
Екатеринбург, Россия

¹ a2715@yandex.ru

² fedorovskikh.90@mail.ru

³ yakimovichsb@m.usfeu.ru

Аннотация. Даны результаты критического анализа в области повышения эффективности заготовки древесины. Установлено, что важнейший элемент анализа оптимального решения на предмет чувствительности факторов, являющихся случайными, не получил разрешения. Сформулировано противоречие, которое снимается посредством связи результатов анализа чувствительности оптимального решения для факторов в детерминированной постановке и предсказанных случайных пределов изменения значений этих же факторов. Разработана и представлена методика оценки чувствительности оптимального решения с учетом случайных факторов для систем заготовки древесины.

Ключевые слова: заготовка древесины, анализ чувствительности, методика

Для цитирования: Максимов А. С., Федоровских Н. Е., Якимович С. Б. Методика оценки чувствительности оптимального решения в условиях стохастической неопределенности заготовки древесины // Научное творчество молодежи – лесному комплексу России = Scientific creativity of youth to the forest complex of Russia : материалы XXI Всероссийской (национальной) научно-технической конференции студентов и аспирантов. Екатеринбург : УГЛТУ, 2025. С. 252–256.

Original article

**METHODOLOGY FOR ASSESSING
THE SENSITIVITY OF AN OPTIMAL SOLUTION
UNDER CONDITIONS OF STOCHASTIC UNCERTAINTY
OF WOOD HARVESTING**

Alexander S. Maksimov¹, Nikita E. Fedorovskikh², Sergey B. Yakimovich³

^{1, 2, 3} Ural State Forest Engineering University, Ekaterinburg, Russia

¹ a2715@yandex.ru

² fedorovskikh.90@mail.ru

³ yakimovichsb@m.usfeu.ru

Abstract. The results of a critical analysis in the field of improving the efficiency of wood harvesting are given. It is established that the most important element of the analysis of the optimal solution for the sensitivity of random factors has not been resolved. A contradiction is formulated, which is removed by linking the results of the sensitivity analysis of the optimal solution for factors in a deterministic formulation and the predicted random limits of changes in the values of these same factors. A methodology for assessing the sensitivity of the optimal solution, taking into account random factors for wood harvesting systems, has been developed and presented.

Keywords: harvesting of wood, sensitivity analysis, methodology

For citation: Maksimov A. S., Fedorovskikh N. E., Yakimovich S. B. (2025) Metodika ocenki chuvstvitel'nosti optimal'nogo resheniya v usloviyah stohasticheskoy neopredelennosti zagotovki drevesiny [Methodology for assessing the sensitivity of an optimal solution under conditions of stochastic uncertainty of wood harvesting]. Nauchnoe tvorchestvo molodezhi – lesnomu kompleksu Rossii [Scientific creativity of youth to the forest complex of Russia] : proceedings of the XXI All-Russian (national) Scientific and Technical Conference of undergraduate and postgraduate students. Ekaterinburg : USFEU, 2025. Pp. 252–256. (In Russ).

Исследовательские работы в области повышения эффективности систем машин для заготовки древесины ведутся с момента их появления [1, 2], однако обоснование границ их рационального применения [3], постановка задач оптимизации, обоснованные критерии, значимость и чувствительность влияющих факторов [4] – не получили полного разрешения в связи с перманентно изменяемыми состояниями рассматриваемых систем. В этой связи основное значение при снятии подобных проблем приобретает инвариантная методика анализа на чувствительность [5], который дает ответы на следующие вопросы: какие ограничения активны в полученном оптимальном решении? (это позволит определить узкие места объекта оптимизации и его ограниченные возможности); какова

чувствительность решения к изменениям переменных, отражающих соответствующие факторы? (это позволит определить, при изменении каких факторов в достаточно существенных пределах оптимальное решение изменится весьма незначительно и наоборот); какие составляющие факторы оказывают основное влияние на величину критерия (ранжированная значимость факторов)? (на основе главных влияющих факторов определяется направление наиболее эффективного улучшения объекта оптимизации). Перечисленные вопросы подлежат снятию не только в детерминированной постановке задачи, но и в стохастической [6], поскольку все факторы систем заготовки древесины являются случайными. В связи с изложенным, содержание публикации представляется актуальным.

Формулировка цели работы основана на противоречии: с одной стороны, возможности синхронизации работы машин в комплексе, т. е. согласования по производительности, и случайностью влияющих факторов со значительным разбросом – с другой. Изложенное противоречие может быть снято посредством статистической обработки и последующей связи оценок случайных величин и детерминированных значений анализа на чувствительность оптимального решения (модели) для влияющих факторов.

Цель работы: представление методики анализа на чувствительность оптимального решения в условиях стохастической неопределенности систем заготовки древесины на детерминированных моделях.

Задачи: анализ состояния вопроса по теме (частично приведен выше) и выводы; определение набора влияющих факторов, например, в [7, 8] основными влияющими факторами определены – средний объем хлыста, ликвидный запас на гектаре, среднее расстояние трелевки, объем пачки форвардера, либо [9] приемы обработки дерева харвестером; разработка и представление методики; выводы по ранжированию факторов в порядке убывания их влияния.

Ранее, в публикации [7] в методике определения границ эффективного применения систем машин в пунктах 5 и 6 отмечалась необходимость проведения анализа на чувствительность и снятия стохастической неопределенности на основе законов распределения и оценки вероятностей или долей нахождения значений факторов в определенных диапазонах значений. Однако методика и решение подобных задач реализованы не были.

Исходя из представленного, методика анализа на чувствительность оптимального решения в условиях стохастической неопределенности систем заготовки древесины на детерминированных моделях представляется следующим алгоритмом.

1. Сбор данных по природно-производственным условиям, технологическим и техническим характеристикам систем машин при эксплуатации. Содержательное описание задачи для арендуемых лесных участков. Обоснование и выбор критерия.

2. Обоснование и выбор влияющих факторов, обозначение соответствующими переменными. Например, объем хлыста, запас на гектар, среднее расстояние трелевки, способ и приемы работы харвестера с деревом и др.

4. Поиск или разработка модели в соответствии с поставленной целью и выбранными факторами. Постановка детерминированной задачи оптимизации, обоснование метода решения, получение оптимального решения.

5. Анализ чувствительности оптимального решения к значениям переменных выбранных факторов в детерминированной постановке. Может быть реализован двумя способами: аналитическим – посредством множителей Лагранжа; численным – методом параметрического программирования [8]. Наиболее прост последний. Установление пределов изменения переменных влияющих факторов в детерминированном виде и построение кривых эластичности. Предварительное ранжирование факторов на основе этих кривых по степени значимости в порядке убывания.

6. Снятие случайной неопределенности посредством статистической обработки собранных данных (см. п. 1), в том числе и выбора закона распределения для предсказания, по стандартным гостированным методикам. Предсказание на основе вероятности доли нахождения значений тех или иных переменных в границах определенных интервалов.

7. Сопоставление пределов изменения переменных влияющих факторов в детерминированном виде (см. п. 5) с границами найденных интервалов случайных распределений и их долями для влияющих факторов. Оценка степени влияния границ интервалов и долей для соответствующих переменных на существенность (степень) изменения оптимального решения посредством экспериментов на модели. Построение уточненных кривых эластичности.

8. Окончательное ранжирование факторов по степени их влияния на функцию цели (критерий) в порядке убывания значимости на основе уточненных кривых эластичности. Отбор обоснованных значимых факторов.

9. Рекомендация к выбору определенной системы машин или режимов работы существующей системы машин для заготовки древесины в конкретных природно-производственных условиях арендуемых лесных участков. Конец алгоритма методики. В случае отсутствия допустимого выбора – возврат к 4 шагу, корректировка модели и движение по циклу алгоритма.

Список источников

1. Барановский В. А., Некрасов Р. М. Системы машин для лесозаготовок. М. : Лесная промышленность, 1977. 248 с.

2. Захариков В. М. Определение эффективных систем машин лесосечных работ на расчетных и оптимизационных моделях : сборник научных трудов Московского лесотехнического института. 1981. № 118. С. 5–8.

3. Якимович С. Б. К оценке границ применимости сортиментного и хлыстового способов лесозаготовок // Технология лесопромышленного производства и транспорта : сборник научных трудов лесоинженерного факультета / под ред. Ю. Д. Силукова. Екатеринбург, 2000. С. 145–152.

4. Перегудов Ф. И., Тарасенко Ф. П. Введение в системный анализ : учебное пособие для вузов. М. : Высшая школа, 1989. 367 с.

5. Редькин А. К., Якимович С. Б. Способ моделирования и проектирования технологических процессов лесопромышленного комплекса // Лесной вестник (1997–2002). 2000. № 4. С. 55–70.

6. Якимович С. Б., Тетерина М. А. Выбор систем заготовки древесины в условиях неопределенности // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. 2008. № 185. С. 263–268.

7. Перетрухина Н. В., Якимович С. Б. Методика синтеза границ эффективной области заготовки древесины различными лесозаготовительными комплексами // Научное творчество молодежи – лесному комплексу России : материалы XIX Всероссийской (национальной) научно-технической конференции студентов и аспирантов, Екатеринбург, 03–13 апреля 2023 года. Екатеринбург : УГЛТУ, 2023. С. 243–247.

8. Редькин А. К., Якимович С. Б. Математическое моделирование и оптимизация технологий лесозаготовок : учебник для вузов. М. : Московский государственный университет леса, 2005. 504 с.

9. Сравнительный анализ способов заготовки древесины харвестером по критерию производительности и удельной энергоемкости // Леса России и хозяйство в них. 2021. № 4 (79). С. 69–74. DOI: 10.51318/FRET.2021.95.37.006