

НАУЧНЫЙ ОБЗОР

УДК 004:630.935.1

**ПОДХОДЫ К ФОРМАЛИЗАЦИИ КРИТЕРИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ
ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ЛЕСОЗАГОТОВИТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЫ****Стешина Л.А.***ФГБОУ ВО «Поволжский государственный технологический университет», Йошкар-Ола,
e-mail: Steshinala@volgatech.net*

Повышение эффективности любой сложной эргатической системы представляет собой нетривиальный процесс, включающий многоуровневую оптимизацию, внедрение новых контуров управления или же выявление внутренних связей системы. При этом важно определить критерий оптимальности как некоторое решение, максимально удовлетворяющее исходным требованиям. Термин «эффективность» вполне подходит в качестве описания такого интегрального показателя качества, однако не имеет четкой формализации и количественного измерения. В этих условиях на практике целесообразно использовать дефрагментацию конечной цели в многоуровневую древовидную систему целей. В статье предложен подход к составлению подобной структуры иерархии целей, который, с одной стороны позволяет выступить средством наглядного структурного описания, а с другой стороны, инструментом структурно-алгоритмического проектирования системы, обеспечивающей учет особенностей структуры предметной области. Выявление локальных целей может осуществляться с использованием методологии анализа предметной области. При этом возникает задача формализации подхода к составлению системного описания, решаемая в данной работе с использованием известной триадной концепции. В качестве предметной области выбрана лесозаготовительная отрасль, в качестве рассматриваемой технологической системы – система «оператор лесной машины – лесная машина – технологическая среда».

Ключевые слова: эффективность технологической системы, лесные машины, методология проектирования, оператор, эргатические системы

**APPROACHES TO FORMALIZING THE EFFICIENCY CRITERIA
OF THE TECHNOLOGICAL HARVESTING SYSTEM****Steshina L.A.***Volga State University of Technology, Yoshkar-Ola, e-mail: Steshinala@volgatech.net*

Increasing the efficiency of any complex ergatic system is a non-trivial process that includes multi-level optimization, the introduction of new control loops, or the identification of internal system connections. In this case, it is important to define the optimality criterion as a certain solution that maximally satisfies the initial requirements. The term “efficiency” is quite suitable as a description of such an integral indicator of quality, however, it does not have a clear formalization and quantitative measurement. Under these conditions, in practice, it is advisable to use the defragmentation of the final goal into a multi-level tree-like system of goals. The article proposes an approach to compiling such a structure of the hierarchy of goals, which, on the one hand, allows you to act as a means of visual structural description, and on the other hand, a tool for the structural-algorithmic design of a system that takes into account the features of the structure of the subject area. The identification of local goals can be carried out using the methodology of the analysis of the subject area. This raises the problem of formalizing the approach to compiling a system description, which is solved in this work using the well-known triadic concept. The logging industry was chosen as the subject area, and the system “forest machine operator – forest machine – technological environment” was chosen as the technological system under consideration.

Keywords: technological system efficiency, forest machines, design methodology, operator, ergatic systems

Вопросам повышения эффективности лесозаготовок в современной научной литературе уделяется достаточно много внимания. Считается, что эффективность лесозаготовок зависит от организационных, экономических, технико-экономических, эргономических и экологических факторов [1]. Таким же образом в эффективности лесозаготовок можно выделить три составляющие: экономическую, экологическую и социальную [2].

При этом ряд авторов отмечает парадоксальную ситуацию: с одной стороны, лесозаготовка отличается самой низкой рентабельностью во всей лесной отрасли, а с другой стороны, она определяет эффективность функционирования всего лесопромышленного комплекса [3, 4]. Естественно, возникает вопрос, каким образом оценивать эф-

фективность лесозаготовок, по какому критерию или их группе, как определить оптимальный набор критериев эффективности.

В современной литературе описаны различные подходы выявления отдельных составляющих эффективности, например, эффективности использования лесозаготовительных машин [5]. В качестве оценки эффективности организации лесосечных работ в разное время было предложено использовать показатели загруженности лесных машин [6], критерии удельной энергоёмкости и удельной трудоёмкости [7], эффективности сбора биомассы и повреждения почвы [8], экономические показатели лесозаготовительного предприятия [9] или объем затрат [10].

За рубежом об эффективности лесозаготовок говорят в контексте энергоэффек-

тивности и достижения целей углеродной нейтральности [11, 12], социально-экономических [13] и экологических эффектов [14].

Таким образом, очевидно, что существует много подходов к оценке эффективности лесозаготовительного производства, которые отличаются уровнем агрегации, ориентации на объект исследования, региональными особенностями и т.д. Этим объясняется и подход, который демонстрируют некоторые исследователи, используя терминологию «эффективность, по критерию...».

Целью данной статьи является представление подхода к формированию интегрального критерия эффективности через соответствующие локальные критерии эффективности.

Подходы к представлению системного описания

В общем случае задача определения интегрального критерия эффективности может быть решена с позиции многокритериального анализа. Так, успешно может быть использован алгоритм поиска наилучших альтернатив. Другой альтернативой является анализ иерархий, ранжирование и построение дерева целей [15].

В качестве критериев используют показатели «производительность», «эффективность производственного цикла», «уровень автоматизации», «уровень механизации», «уровень экологичности рубок», каждый из которых рассчитывается по своим формулам [16].

Так, был предложен подход разложения интегрального показателя эффективности в набор действий его достижения через систему локальных целей. В этом случае конечную цель можно представить в виде системы локальных целей, а связь между такой локальной целью g_i и действием p_j по ее достижению – в виде множеств S_p пар (g_i, p_j) . При этом для формирования дерева целей использовался текстовый процессор TextAnalyst 2.01 и программная оболочка PROTÉGÉ для формирования онтологии [17].

Использование данного подхода позволяет в автоматизированном режиме сформировать и наполнить предметную область через выявление основных понятий, их ранжирования и построения дерева терминов. Основной проблемой является выбор исходных текстов для анализа и их релевантность.

В научной литературе описаны подходы к построению многоязычного онтологического ресурса [18], в том числе через автоматическое создание тематических онтологий [19].

При этом очевидно, что в случае сложной иерархической системы добиться полного представления системного описания

и учета всех системных свойств и внутренних связей не представляется возможным.

Проблемами построения системного описания абстрактных сложных систем занимались многие исследователи, среди которых необходимо прежде всего вспомнить А.И. Умова и Ю.А. Урманцева [20]. Согласно их представлениям рассматриваемую эргатическую систему управления (ЭСУ) удобно представить в виде классической абстрактной системы с описанием в виде системной триады:

$$S = \langle \Phi, H, L \rangle,$$

где Φ – множество подсистем ЭСУ, H – множество связей, L – множество правил. Множество L может быть заменено на множество структур Str (неизменная часть декомпозируемой системы), обеспечивая организованность системы.

Таким образом может быть представлена основа системного описания объекта и заложена основа для концептуального моделирования.

Методология представления системного описания эффективности

В ходе проведенного анализа известных подходов к достижению эффективности было установлено, что в силу нечеткости многих понятий и терминов, субъективизмом экспертов, принимаемых допущений и огромного количества внешних варьирующих факторов на сегодня четкий оптимальный алгоритм по достижению эффективности представить не представляется возможным. Тогда есть смысл представить некий эвристический алгоритм, обеспечивающий определенное обобщенное решение.

В качестве базового системного описания представим

$$\left\{ \begin{array}{l} \langle \Phi, H, L \rangle \\ \langle Q1, Z, Q2 \rangle \end{array} \right\}$$

где Φ – множество подсистем ЭСУ, H – множество связей, L – множество правил, $Q1$ – множество начальных состояний, Z – множество воздействия, $Q2$ – множество конечных состояний.

Особенностью данного представления является то, что рассматриваемая система включает в себя две составляющие: структурную $\langle \Phi, H, L \rangle$ и динамическую $\langle Q1, Z, Q2 \rangle$. Структурная составляющая описывает устройство системы на различных уровнях иерархии и множество связей, а динамическая составляющая – структурные изменения системы.

В соответствии с данной идеологией представим модель технологической лесозаготовительной машины в виде таких двух триад, связанных одной вершиной G (рис. 1).

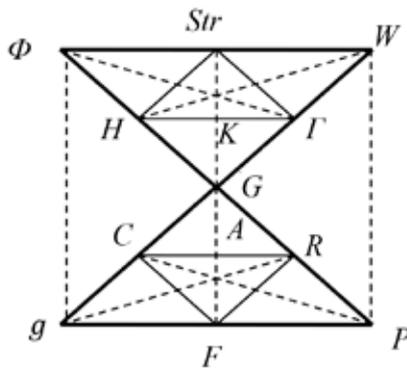


Рис. 1. Система триад

Тогда система триад в общем виде будет выглядеть следующим образом:

$$\left\{ \begin{array}{l} \langle \Phi, W, G \rangle \\ \langle G, g, P \rangle \end{array} \right\}$$

где Φ – базовые элементы системы, W – системные свойства, G – набор целей, g – множество локальных целей, P – множество действий для достижения локальных целей. Элементы триады $\langle G, g, P \rangle$ определяют алгоритм достижения целей (рис. 2).

Структура целей может быть представлена согласно известному подходу построения дерева целей для проектирования лесных машин [17].

Рассмотрим базовую структурную триаду и представим каждый ее элемент:

Φ = <человек-оператор, лесная машина, предмет труда> определяет набор основных элементов системы;

W = <валка дерева, обрезание сучьев, раскряжевка, погрузка, транспортировка>;

G = <повышение производительности, снижение затрат, повышение безопасности>.

В соответствии с известной концепцией развития системных триад [21] добавим дополнительные элементы: H – отношения между базовыми элементами системы;

Str – множество структур, обеспечивающих функционирование системы (варианты технологических комплексов); Γ – множество параметров базовых элементов (масштабные размеры технологической лесозаготовительной машины, колесная формула, тип рубки, опыт оператора).

С другой стороны, в идеологии развития системы дополним триаду $\langle G, g, P \rangle$ элементами C – множество стратегий развития (инвестиционные, технологические, организационные), R – множество ресурсов (топливно-энергетические, трудовые, технические и т.д.), F – множество функций (проектирование лесозаготовительной машины, управление лесозаготовительной машиной, обучение персонала, адаптация и т.д.).

Пересечение отрезков HW и $\Phi\Gamma$ в точке K формирует новые триады, в которых K – множество вариантов конструкций (конфигурации, архитектуры), а пересечение отрезков gR и CP в точке A – триады, в которых A – множество алгоритмов.

Аналогичным образом соединение вершин Φ и g , Str и F , а также W и P приводит к образованию новых триад. Так, можно рассматривать, например, триаду $\langle G, W, P \rangle$, которую можно трактовать как «элементарные действия, обеспечивающие реализацию системных свойств в части достижения конечной цели».

Кроме того, при необходимости можно раскрыть каждый элемент базовой структурной триады Φ , например, представив системное описание самого человека-оператора, определив основные его характеристики, их взаимосвязь и вклад в конечную эффективность профессиональной деятельности. Так же, аналогичным же образом, можно рассмотреть более высокий уровень агрегирования для элемента «предмет труда» базовой структурной триады Φ , перейдя к термину «внешняя среда», которая может включать в себя окружающую среду, технологическое поле проведения лесозаготовительных операций, сам предмет труда и иных участников технологического процесса.

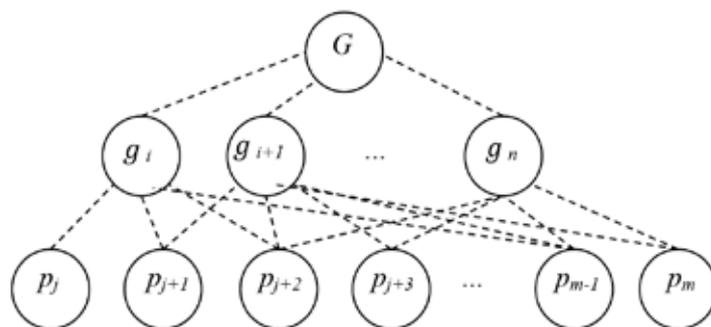


Рис. 2. Структура целей

Решения по уровню агрегирования элементов системного описания, ранжированию значимых параметров, выявлению внутренних связей лежат исключительно на эксперте. Это, в свою очередь, и определяет вероятность появления ошибок в описании, так как совершенно невозможно представить объективное описание объекта, исключая фактор субъективного восприятия эксперта.

Результаты исследования и их обсуждение

Представленный подход на основе анализа системных триад позволяет сформировать системное описание объекта и представить его концептуальную модель через некоторые элементарные модели системы знаний, в качестве которых и выступают представленные триады. Это позволяет получить полное описание, системы, описание переходов объекта и одного состояния в другое, исключить системные ошибки при проектировании новых систем.

Формализацию критерия эффективности при этом считаем возможной исключительно в терминах предметной области и самой концептуальной модели. Раскрытие эффективности как конечной цели, через дерево целей (подцелей) и элементарных действий, позволяет сформировать дерево эффективности, учитывающее множество критериев.

При этом прибыль также может выступать в качестве обобщенного показателя эффективности, в том числе и посредством декомпозиции на частные показатели, позволяющие давать оценку эффективности технологий лесозаготовительных работ и выбора схем технологических операций для конкретных условий эксплуатации по физическим, экологическим и экономическим блокам критериев. Это позволит найти некоторое компромиссное сочетание значений частных критериев при обеспечении целеполагания.

Кроме того, данный подход может быть успешно использован и для поиска новых знаний. Методологию построения системных триад активно используют для системного динамического моделирования и управления сложными объектами [22], исследования систем управления предприятиями [23], управления качеством технологических услуг [24]. Системные триады удобны для представления системного описания сложно формализованных объектов, например описания этапов операторской деятельности и формализации концептуальной модели «оператор – лесная машина – технологическая среда» [25].

Безусловно, данный подход не лишен и некоторых недостатков. Так, абсолютно очевидно, что можно использовать различный уровень конкретизации каждой триады. Например, множество *Str* (множество структур) можно раскладывать более подробно: «структуры – системы – варианты конструкций – конструкции». При этом увеличение уровня детализации может привести к усложнению системы и так называемому «комбинаторному взрыву», что помимо увеличения сложности системного описания может привести к появлению малозначимых внутренних и внешних связей, «размывающих» само системное описание.

С другой стороны, сам по себе эвристический алгоритм не предполагает нахождения гарантированно точного решения.

Кроме того, для обеспечения достоверности описания системы предполагается доступность знаний для эксперта, а также наличие у него личностного знания, подобного опыта и даже интуиции. В этих условиях целесообразно использовать автоматизированные способы анализа предметной области и разработки онтологий [26, 27]. По мере накопления знаний в предметной области и их формализации описание становится более точным, а грубые ошибки могут быть выявлены и устранены.

При этом абсолютно очевидно, что описанный подход можно использовать для составления системного описания фактически любых объектов, в том числе и совершенно не связанных с лесозаготовительными системами. В этом случае изменению подвергнутся элементы множеств, представляющих описание, сама же структура системных триад останется неизменной.

Заключение

На основании вышеизложенного следует отметить, что основой формализации критерия эффективности любого исследуемого объекта является представление системного описания данного объекта. Формализация системного описания в виде структур, связей и развития позволяет перейти от абстрактного представления к представлению в виде концептуальной модели. При этом уже на этих уровнях в модель закладываются элементы субъективизма и неполноты. Модель теряет в точности и достоверности, но приобретает некоторую универсальность.

В рамках данного подхода предложено представлять системное описание через систему двух триад – структурной и динамической триады, связанных общей вершиной целеполагания. Показано раскрытие данных триад в части уточнения системного

описания, переход от динамической триады к дереву целей.

Исследование выполнено при поддержке гранта Российского научного фонда № 22-29-01576, <https://rscf.ru/project/22-29-01576/> по тематике «Методология проектирования интеллектуальных средств оценки, контроля и управления качеством работы операторов лесозаготовительных машин».

Список литературы

- Безпалько А.Р., Дягиль Д.Э. Экономическая эффективность применения современных технологий лесозаготовительными предприятиями // Эффективное управление экономикой: проблемы и перспективы. 2022. С. 215–218.
- Смирнова А.И. Эффективность комбинирования лесозаготовок и деревообработки // Лесозаготовка и комплексное использование древесины. 2021. С. 221–226.
- Харламов В.Н., Стульников С.С., Геваргис М.Ю., Долматов С.Н. Оценка перспектив сортиментной и хлыстовой технологии лесозаготовок // Инновации в химико-лесном комплексе: тенденции и перспективы развития. 2019. С. 175–178.
- Безпалько А.Р. Факторы, влияющие на эффективность деятельности лесозаготовительных предприятий // Эффективное управление экономикой: проблемы и перспективы. 2018. С. 172–176.
- Пушков Ю.Л., Андронов А.В. Критерии эффективности использования лесозаготовительных машин // Леса России: политика, промышленность, наука, образование. 2019. С. 370–372.
- Сухих А.Н. Современные аспекты повышения эффективности технологии лесозаготовок // Лесной вестник. 2013. № 1 (93). С. 158–161.
- Коломинова М.В. Сравнение эффективности технологических процессов лесозаготовок по критериям удельной энергоёмкости и удельной трудоёмкости // Системы. Методы. Технологии. 2016. № 1. С. 104–112.
- Tolosana E., Spinelli R., Aminti G., Laina R., López-Vicens I. Productivity, efficiency and environmental effects of whole-tree harvesting in Spanish coppice stands using a drive-to-tree disc saw feller-buncher. *Croatian Journal of Forest Engineering: Journal for Theory and Application of Forestry Engineering*. 2018. Vol. 39. No. 2. P. 163–172.
- Иен Ч.Т.Х., Мурашева А.А., Столяров В.М. Оценка эффективности деятельности лесопромышленного комплекса на землях лесного фонда в рамках интеграции предприятий лесозаготовки и деревообработки // Инновации и инвестиции. 2020. № 2. С. 243–247.
- Иванова Т.О., Шишмарева А.В. Экономико-математическое моделирование формирования затрат на лесозаготовках // Лесной и химический комплексы – проблемы и решения. 2021. С. 424–428.
- Naavikko H., Kärhä K., Poikela A., Korvenranta M., Palander, T. Fuel Consumption, Greenhouse Gas Emissions, and Energy Efficiency of Wood-Harvesting Operations: A Case Study of Stora Enso in Finland. *Croatian Journal of Forest Engineering: Journal for Theory and Application of Forestry Engineering*. 2022. Vol. 43. No. 1. P. 79–97.
- Alzamora R.M., Oviedo W., Rubilar R. Life cycle analysis to estimate CO₂ e emissions from forest harvesting systems in intensively managed *Pinus radiata* plantations. *Scandinavian Journal of Forest Research*. 2022. Vol. 37. No. 2. P. 144–152.
- Han X., Frey G.E., Geng Y., Cubbage F.W., Zhang Z. Reform and efficiency of state-owned forest enterprises in Northeast China as “social firms”. *Journal of Forest Economics*. 2018. Vol. 32. P. 18–33.
- McEwan A., Marchi E., Spinell R., Brink M. Past, present and future of industrial plantation forestry and implication on future timber harvesting technology. *Journal of Forestry Research*. 2020. Vol. 31. No. 2. P. 339–351.
- Быкова Т.В. Метод анализа иерархий как инструмент решения практических задач многокритериальной оптимизации // Математическое моделирование, компьютерный и натурный эксперимент в естественных науках. 2019. № 1. С. 48–62.
- Васенев М.Ю. Информационная система управления лесозаготовками в рамках концепции «Индустрия 4.0»: структура, оценка эффективности // Экономика. Информатика. 2022. Т. 46. № 2. С. 383–393.
- Стешина Л.А. Методология комплексной разработки средств операторской поддержки лесных машин // Фундаментальные исследования. 2021. № 8. С. 70–75.
- Золотарев О.В., Хакимова А.Х., Шарнин М.М. Подходы к построению многоязычного онтологического ресурса для анализа перспективных направлений развития предметной области // СРТ2019 Международная научная конференция Нижегородского государственного архитектурно-строительного университета и Научно-исследовательского центра физико-технической информатики. 2019. С. 298–307.
- Аблов И.В., Калинин Ю.П., Кепов В.А., Пшеничный С.И., Хорошилов Александр А., Хорошилов Алексей А., Шевкунов М.А. Методы автоматизированного создания тематических онтологий на базе платформы МетаФраз // Технологии гражданской безопасности. 2021. Т. 18. № 1 (67). С. 65–72.
- Урманцев Ю.А. Общая теория систем в доступном изложении. М: Ижевск, НИЦ «Регулярная и хаотическая динамика», 2014. 408 с.
- Гузаиров М.Б., Ильясов Б.Г., Герасимова И.Б. Системный подход к анализу сложных систем и процессов на основе триад // Проблемы управления. 2007. № 5. С. 32–38.
- Димов Э.М., Ильясов Б.Г., Макарова Е.А., Закиева Е.Ш., Ефтонова Т.А., Гиздатуллина Э.С. Методология системного динамического моделирования и управления функционированием многоотраслевого производственного комплекса в рамках воспроизводственного процесса макроуровня // Инфокоммуникационные технологии. 2018. Т. 16. № 1. С. 81–96.
- Дилигенский Н.В., Матвеева Е.А. Исследование системы управления предприятием на основе методов декомпозиции // Инфокоммуникационные технологии. 2011. Т. 9. № 2. С. 68–71.
- Азарова П.А. Системный подход к управлению качеством телекоммуникационных услуг // Аллея науки. 2021. Т. 1. № 1. С. 832–837.
- Petukhov I., Steshina L., Tamryverdiev I. Remote sensing of forest stand parameters for automated selection of trees in real-time mode in the process of selective cutting. 2014 IEEE 11th Intl Conf on Ubiquitous Intelligence and Computing and 2014 IEEE 11th Intl Conf on Autonomic and Trusted Computing and 2014 IEEE 14th Intl Conf on Scalable Computing and Communications and Its Associated Workshops. 2014. P. 390–395.
- Грошев А.Г., Фролов В.Н., Федорков Е.Д. Построение онтологических моделей систем автоматизированного проектирования // Вестник Воронежского института высоких технологий. 2020. № 4. С. 52–56.
- Манжосов А.В., Болодурин И.П. Метод автоматизированного построения графа знаний связности формальных моделей норм и требований в области информационной безопасности // Вестник УрФО. Безопасность в информационной сфере. 2022. № 2 (44). С. 49–56.