

КОМПЛЕКСНАЯ МОДЕЛЬ ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ СТРУКТУРНО-ПАРАМЕТРИЧЕСКОГО СИНТЕЗА СИСТЕМ ЛЕСОЗАГОТОВИТЕЛЬНЫХ МАШИН

Автор описывает методы выполнения оптимизации параметров технологического процесса и систем лесозаготовительного оборудования

Ключевые слова: критерии оценки, оптимизация, формализация, технологические процессы, система лесозаготовительных машин

Методология автоматизированного поиска эффективных технических и технологических решений развивается по двум направлениям: абстрагированным формализованным и неформализованным поиском [1]. Формализованный подход предусматривает составление абстрагированных математических моделей, алгоритмизацию поставленной задачи и ее реализацию в виде программного продукта. При этом анализ объекта исследования с помощью формализованных описаний осуществляется в автоматическом режиме.

Неформализованный подход к поиску включает выбор целей, показателей качества, методов решения задачи и выполняется проектировщиком на основе его опыта, навыков и инженерной интуиции.

Общие принципы моделирования, оптимизации и прогнозирования технологических процессов систем лесозаготовительных машин изложены в работах В.И. Алябьева [2], А.К. Редькина [3] и др. Отсутствие общей методической концепции, необходимость которой очевидна, не позволяет учитывать и, тем более, накапливать указанные научные знания в рамках единой теоретической базы.

При использовании эвристических методов проектирования, основанных на инженерной интуиции и опыте разработчиков, невозможно получить результаты, однозначно характеризующих искомые решения по причине плохой формализации процессов лесозаготовок и необходимости проведения оценки при принятии решений по комплексу противоречивых критериев.

Принятие решений при выборе структуры техники осуществляется разработчиком преимущественно на основе имеющегося личного опыта, инженерной интуиции и других эвристических моментов, и лишь в некоторых случаях этот процесс формализуется. Это приводит к ограниченности и дискуссионности получаемых решений, и сложности интерпретации результатов и, наконец, к невозможности системного подхода к накоплению информации об исследуемых объектах. Наиболее перспективной, сложной и актуальной проблемой поиска эффективных технических решений на современном этапе является синтез структуры используемых технических систем, технологического процесса и т.д.

Синтез, неразрывно связанный с анализом, как метод соединения различных элементов объекта исследования в единое целое хорошо зарекомендовал себя в моделировании сложных и крайне противоречивых технологических процессах и техни-

ческих системах. Лесозаготовители поставлены перед постоянной дилеммой повышения экономической эффективности производства при одновременном обеспечении стабильного возобновляемого пользования природными ресурсами. Поиском рациональных технологических а, следовательно, и технических решений сложных систем занимаются специалисты непрерывно уже много десятилетий.

В лесозаготовительной отрасли создано много именитых хорошо зарекомендовавших себя систем машин, которые постоянно совершенствуются. Однако технические системы развиваются по своим законам а в тоже время гораздо быстрее изменяются экономическая ситуация и природоохранные требования. Работоспособность и эффективность лесозаготовительных машин, как и любой другой сложной технической системы, зависит от множества показателей, каждый из которых характеризует тот или иной аспект работы объекта. К таким критериям можно отнести энергоемкость технологических операций, производительность лесозаготовительных машин (ЛЗМ), воздействие их на окружающую среду и многие другие.

Процесс поиска технических решений по выбору эффективной лесозаготовительной техники для конкретных природно-производственных условий предполагает просмотр и сравнение большого числа вариантов структуры с помощью сформированной базы данных для определения варианта, близкого к оптимальному (в соответствии с отношением предпочтений разработчика).

Задачу поиска параметров систем лесосечных машин и технологий их использования для определенных лесных условий предполагается определить как задачу многокритериального структурно-параметрического синтеза (гибрида эвристических методов и математического моделирования) на базе задач оптимального управления.

Важнейшими элементами оптимизационной экономико-математической модели можно принять эффективность лесоводственных и производственных мероприятий, а параметрами — лесозаготовительные условия лесного массива и региональные производственные условия предприятия. Управляющими воздействиями в указанной модели являются параметры и структура систем лесосечных машин, а также весь технологический процесс лесозаготовительного предприятия. Некоторые ограничения, ввиду их громадного количества, на параметры и структуру систем машин при составлении математической модели неизбежно предлагается оценивать экспертными (эвристическими) методами.

* — автор, с которым следует вести переписку.

Физический смысл выбора комплексного оптимального решения в данном случае сводится к нахождению минимального отклонения от индивидуальных оптимальных значений параметров и структуры систем машин по всем критериям одновременно. Таким образом, процесс поиска параметров и структуры систем лесозаготовительных машин в различных природно-производственных условиях может быть сведен к решению задачи векторного нелинейного программирования.

Анализ физической сущности принятых к исследованию критериев оптимизации показывает, что они несут противоречивый характер. Так, переезды ЛЗМ по лесосеке в процессе выполнения транспортных операций с целью сокращения затрат общего времени на движение, ведут к росту доли поврежденного подроста и степени минерализации почвы и, наоборот. Кроме того, работа машин на полном вылете стрелы манипулятора, способствующая сохранению подроста, приводит к увеличению энергоемкости операций по обработке предмета труда и повышению интенсивности воздействия движителей машин на грунт и т.д. Оптимизация систем по каждому из критериев в отдельности приведет к различным значениям оптимальных параметров. В связи с этим для совместного учета всей совокупности частных критериев необходимо рассматривать векторный критерий оптимальности:

$$\Xi(X_M, X_T, Y) = [W_\Sigma, T_\Sigma, P_\Sigma, D_\Sigma, M_\Sigma, B_\Sigma]$$

Решение задачи многокритериальной (векторной) оптимизации в общем случае, не будучи оптимальным для какого-либо одного из частных критериев, оказывается компромиссным в целом для всего вектора $\in E(X_M, X_T, Y)$ [4].

Как отмечается в работе [5], решение задачи многокритериальной оптимизации при нахождении компромиссного решения $X^* \in D^*$ является эффективной точкой, если для этой точки справедливо неравенство:

$$\Xi(X^*, X^*, Y) \leq \Xi(X, X, Y) \forall X^* \in D^*$$

Другими словами, если любая компонента $\Xi(X_M^*, X_T^*, Y) \leq \Xi(X_M, X_T, Y)$, то хотя бы для одного из критериев найдется точка, в которой выполняется строгое неравенство

$$\Xi(X_M^*, X_T^*, Y) > \Xi(X_M, X_T, Y).$$

Из определения эффективной точки следует, что она не единственна [4]. Множеством всех эффективных точек называется область компромиссов или область решений, оптимальных по Парето. Оптимальность по Парето векторного критерия $\Xi(X_M, X_T, Y)$ означает, что нельзя дальше улучшать значения частных критериев, не ухудшая хотя бы один из них. Для определения экстремума по Парето, перейдем от задачи векторной оптимизации к задаче нелинейной оптимизации с использованием специально сконструированной скалярной функции цели:

$$\Xi = \phi(W, T, D, M, P, B),$$

где W, T, D, M, P, B — целевые функционалы частных

критериев соответственно: удельных затрат энергии, времени, потерь древесного сырья, минерализации почвы, повреждений оставляемых деревьев, подроста и валовых выбросов в атмосферу загрязняющих веществ.

При этом целевые функционалы частных критериев могут быть рассчитаны по формулам:

$$\begin{aligned} \min W_\Sigma &= \int_{t_n, Y_i \min}^{t_k, Y_i \max} \dots \int_{Y_i \min}^{Y_i \max} \dots \int_{Y_p \min}^{Y_p \max} \dots \int \varphi(y, t) W(X_M, X_T, Y) d_{y_1} \cdot d_{y_2} \cdot \dots \cdot d_{y_p} \cdot d_t; \\ \min T_\Sigma &= \int_{t_n, Y_i \min}^{t_k, Y_i \max} \dots \int_{Y_i \min}^{Y_i \max} \dots \int_{Y_p \min}^{Y_p \max} \dots \int \varphi(y, t) T(X_M, X_T, Y) d_{y_1} \cdot d_{y_2} \cdot \dots \cdot d_{y_p} \cdot d_t; \\ \min D_\Sigma &= \int_{t_n, Y_i \min}^{t_k, Y_i \max} \dots \int_{Y_i \min}^{Y_i \max} \dots \int_{Y_p \min}^{Y_p \max} \dots \int \varphi(y, t) D(X_M, X_T, Y) d_{y_1} \cdot d_{y_2} \cdot \dots \cdot d_{y_p} \cdot d_t; \\ \min M_\Sigma &= \int_{t_n, Y_i \min}^{t_k, Y_i \max} \dots \int_{Y_i \min}^{Y_i \max} \dots \int_{Y_p \min}^{Y_p \max} \dots \int \varphi(y, t) M(X_M, X_T, Y) d_{y_1} \cdot d_{y_2} \cdot \dots \cdot d_{y_p} \cdot d_t; \\ \min P_\Sigma &= \int_{t_n, Y_i \min}^{t_k, Y_i \max} \dots \int_{Y_i \min}^{Y_i \max} \dots \int_{Y_p \min}^{Y_p \max} \dots \int \varphi(y, t) P(X_M, X_T, Y) d_{y_1} \cdot d_{y_2} \cdot \dots \cdot d_{y_p} \cdot d_t; \\ \min B_\Sigma &= \int_{t_n, Y_i \min}^{t_k, Y_i \max} \dots \int_{Y_i \min}^{Y_i \max} \dots \int_{Y_p \min}^{Y_p \max} \dots \int \varphi(y, t) B(X_M, X_T, Y) d_{y_1} \cdot d_{y_2} \cdot \dots \cdot d_{y_p} \cdot d_t \end{aligned}$$

где $W(X_M, X_T, Y), T(\cdot), D(\cdot), M(\cdot), P(\cdot), B(\cdot)$ — соответственно, математические модели частных критериев (показателей качества); t_n, t_k — временной интервал изменения условий; $Y_i \min, Y_i \max$ — граничные значения i -ой характеристики разрабатываемых лесосек; X_M — технические параметры и технологическая структура лесосечной машины; X_T, Y — соответственно, параметры технологического процесса и природно-производственных условий эксплуатации техники; $\varphi(Y, t)$ — обобщенная совместная плотность распределения лесорастительных характеристик лесосек.

Процесс синтеза скалярной функции называется объединением (свертыванием) векторного критерия оптимальности. Сконструируем следующую свертку критериев:

$$\Xi(X_M, X_T, Y) = \sum_{i=1}^s \eta_i [\forall \eta_i \geq 0.0; \sum_{i=1}^s \eta_i = 1.0;$$

$$\Xi(X_M, X_T, Y) = (L(X_M, X_T, Y) - L_i^*) / L_i^* -$$

для минимизируемых критериев;

$$\Xi(X_M, X_T, Y) = (L_i^* - L(X_M, X_T, Y)) / L_i^* -$$

для максимизируемых критериев.

где L_i^* — значение i -го критерия, полученное при выборе оптимальных параметров с учетом только i -го показателя качества.

Экстремальные значения L_i^* получают после решения оптимизационной задачи по одному из критериев. Таким образом, обобщенная целевая функция для нашего случая может быть представлена как:

$$\Xi = \left[\begin{array}{ccc} \frac{W_\Sigma(X_M, X_T, Y) - W_\Sigma^*}{W_\Sigma^*} & \frac{T_\Sigma(X_M, X_T, Y) - T_\Sigma^*}{T_\Sigma^*} & \frac{P_\Sigma(X_M, X_T, Y) - P_\Sigma^*}{P_\Sigma^*} \\ \frac{D_\Sigma(X_M, X_T, Y) - D_\Sigma^*}{D_\Sigma^*} & \frac{M_\Sigma(X_M, X_T, Y) - M_\Sigma^*}{M_\Sigma^*} & \frac{B_\Sigma(X_M, X_T, Y) - B_\Sigma^*}{B_\Sigma^*} \end{array} \right] \Rightarrow \min$$

где $W_\Sigma^*, T_\Sigma^*, P_\Sigma^*, D_\Sigma^*, M_\Sigma^*, B_\Sigma^*$ — диапазон экстремальных значений частных критериев (показателей ка-

чества); $W_{\Sigma}, T_{\Sigma}, P_{\Sigma}, D_{\Sigma}, M_{\Sigma}, B_{\Sigma}$ — текущие значения частных критериев.

Формализация таких частных критериев, как затраты энергии (W) и времени на реализацию технологического процесса (T) может быть выполнена с использованием аналитических методов решения технологических задач, что позволит установить влияние лесозаготовительных характеристик древостоев и способов разработки лесного массива на их значения при выполнении технологических операций.

Непосредственно при построении математической модели затрат энергии (W) машин и оборудования, участвующих в реализации технологических процессов лесозаготовок, в качестве базовых были использованы теоретические и экспериментальные исследования В.Г. Кочегарова и М.В. Коломиновой. Здесь была применена ключевая идея В.Г. Кочегарова, заключенная в введенном для более строгого представления лесосечных работ понятии базис эталонного технологического процесса, под которым понимается последовательность преобразований предмета труда, состоящая из чередующихся воздействий: разрушений и (или) перемещений в пространстве предмета труда. Эталонная схема направлена на поиск путей получения древесного сырья с лесосеки с меньшими затратами энергии и времени.

Реализация указанной математической модели в виде компьютерных программ позволила получить численные значения удельной энергоемкости операций исследуемых вариантов ТП, выполняемых различными системами ЛЗМ и складского оборудования.

При этом формализацию:

- потерь древесного сырья (D);
- повреждений, оставляемых на лесосеке деревьев, молодняка, подроста (P), почвы (M);
- валовых выбросов (B) в атмосферу загрязняющих веществ целесообразно осуществлять через регрессионные зависимости, полученные в результате натуральных наблюдений.

Таким образом, целевая функция Ξ позволяет производить не только эффективную оптимизацию структурно-параметрического образа лесозаготовительной технической системы и ее технологическую увязку, но и является удобным индикатором возможности по обеспечению компромиссного сочетания значений частных критериев при накладываемых ограничениях, т.е. является индикатором качества структуры систем лесозаготовительных машин и технологий их использования.

Литература

1. **Антушев, Г. С.** Методы параметрического синтеза сложных технических систем / Г. А. Антушев. — М.: Наука, 1989. — 88 с.
2. **Алябьев, И. В.** Оптимизация производственных процессов на лесозаготовках / И. В. Алябьев. — М.: Лесная промышленность, 1977. — 232 с.
3. **Редькин, А. К.** Математическое моделирование и системный анализ лесоскладских операций / А. К. Редькин. — М.: Лесная промышленность, 1984. — 127 с.
4. **Соболь, И. Н.** Выбор оптимальных параметров в задачах со многими критериями / И. Н. Соболь, Р. Б. Сотников. — М.: Наука, 1981. — 110 с.
5. **Теория выбора и принятия решений** : учеб. пособие / авторы. -М.: Наука, 1982. — 328 с.