

По формуле (3) получим ряд технической производительности машины типа ЛП-19А:  $P_T \leq 600 \leq [P_T]_н \leq [P_T]_{пр} \leq 2000 \text{ м}^3/\text{см}$ . Согласно формулам (2) и (3) при переходе от одного уровня расчета производительности к другому наблюдается экспоненциальный рост значений рискованной производительности. Предельная теоретическая производительность оценивается в  $2000 \text{ м}^3/\text{см}$ , что в 10 раз выше средней эксплуатационной.

Улучшение конструкции машины типа ЛП-19А должно быть обеспечено применением более прочных и легких материалов и снижением динамических нагрузок, возникающих при  $[P_T]_{пр} \rightarrow 2000 \text{ м}^3/\text{см}$ . Однако этому могут помешать технические характеристики существующей машины (мощность, грузоподъемность, долговечность и другие параметры). Замена двигателя, совершенствование гидросистемы и ходовой части позволят выполнить условие  $[P_T]_н \geq 600 \text{ м}^3/\text{см}$ , а в будущем создавать лесозаготовительные работы на базе ЛП-19А с рискованной технической производительностью  $[P_T]_н = [P_T]_{пр} \rightarrow 2000 \text{ м}^3/\text{см}$ .

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1]. Андрияшин Г. Не рекордом единым.— Лесн. пром-сть.— 1989.— 4 апр. [2]. Анисимов Г. М. Эксплуатационная эффективность трелевочных тракторов.— М.: Лесн. пром-сть, 1990.— 207 с. [3]. Мазуркин П. М. Идентификация функционирования природохозяйственных систем / Марийск. политех. ин-т.— Йошкар-Ола, 1989.— 335 с.— Деп. в ВНИПИЭИлеспром, № 2536—лб 89. [4]. Мазуркин П. М. Эвристический регрессионный анализ природохозяйственных явлений и процессов / Марийск. политех. ин-т.— Йошкар-Ола, 1989.— 316 с.— Деп. в ВНИПИЭИлеспром, № 2554—лб 89. [5]. Мазуркин П. М. Стенды для испытания лесозаготовительных машин.— Лесн. пром-сть.— 1992.— № 3.— С. 24—25. [6]. Мазуркин П. М., Пинчук В. М., Котиков В. И. Конвертирование лесозаготовительных машин // Лесн. пром-сть.— 1992.— № 1.— С. 26—27. [7]. Мазуркин П. М., Пинчук В. М., Котиков В. И. Манипуляторные кусторезы.— Йошкар-Ола: МарПИ, 1992.— 106 с. [8]. Мазуркин П. М., Царев Е. М. Конвертирование машины ЛП-17А // Лесн. пром-сть.— 1992.— № 8.— С. 23—24. [9]. Накано Э. Введение в робототехнику / Пер. с япон.— М.: Мир, 1988.— 334 с. [10]. Прохоров В. Б. Эксплуатация машин в лесозаготовительной промышленности.— М.: Лесн. пром-сть, 1978.— 304 с. [11]. Реймерс Н. Ф. Природопользование: Словарь-справочник.— М.: Мысль, 1990.— 637 с. [12]. Современный синтез критериев в задачах принятия решений / А. Н. Катулев, В. Н. Михно, Л. С. Виленчик и др.— М.: Радио и связь, 1992.— 120 с. [13]. Справочник экономических показателей сельского хозяйства / Р. А. Иванух, Н. М. Пантелейчук, И. В. Попович.— 2-е изд., перераб. и доп.— К.: Урожай, 1988.— 216 с. [14]. Ферстер Э., Ренц Б. Методы корреляционного и регрессионного анализа: Руководство для экономистов.— М.: Экономика и статистика.— 1983.— 302 с.

Поступила 18 октября 1993 г.

УДК 630\*36.004.1

П. М. МАЗУРКИН

Марийский политехнический институт

### БИОТЕХНИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРОЕКТИРУЕМЫХ ЛЕСОЗАГОТОВИТЕЛЬНЫХ МАШИН

Приведены результаты структурно-функционального анализа процесса лесозаготовки и критериального описания участвующих в нем объектов. Рассмотрены особенности моделирования биотехнической эффективности ЛЗМ.

Results of a structural-functional analysis of logging process and criterial description of the objects participating in it have been presented. The features of modelling the biotechnical efficiency of harvesters are revealed.

В теории проектирования лесозаготовительных машин (ЛЗМ) и оборудования происходят существенные изменения, обусловленные раз-

нообразиям способов и средств обработки лесоучастков и лесоматериалов. При этом лесозаготовительное оборудование формируется в виде различных комплексов машин, механизмов и инструментов.

Основоположником теории агрегатирования ЛЗМ является С. Ф. Орлов [7]. Он и его ученики предложили концептуальную формулу эффективности процесса проектирования машин и оборудования для лесозаготовок: польза — удобство — красота [10, с. 6]. Эта формула будет верна и в будущем, хотя сам процесс проектирования существенно меняется по структуре и функциям. Например, в последние годы принято выделять предпроектный этап (аванпроектирование). Его результаты В. А. Александров [1, с. 11, 15—16] назвал лесотехническими требованиями. Концептуальные дополнения даны также в других работах [4, 9].

Цель нашей статьи — уточнить и расширить концептуальную формулу проектирования, особенно первую ее часть, и разработать систему критериев оценки и выбора рациональных альтернатив проектируемых ЛЗМ.

Будем исходить из того, что применение ЛЗМ приводит к негативным (низкое качество оставляемой лесной среды) и позитивным (сортность заготавливаемых лесоматериалов) эффектам. В связи с этим процесс лесозаготовки не может быть оценен только эффективностью переработки на сортименты. Необходим более широкий комплексный (системный) подход.

В процессе лесозаготовки участвуют четыре материальных потока (рис. 1, а): лесоучасток, состояние которого изменяется от исходного  $L_{исх}$  до обработанного  $L_{обр}$ ; древесина (древесное сырье), получаемая от обработки отведенных в рубку деревьев  $D_p^{руб}$  до изделий из нее  $D_k$  (лесоматериалы, пиломатериалы и др.); персонал (машинист, экипаж, бригада, ...), улучшающий свое мастерство и психофизиологическое состояние от  $P$  к  $P^*$ ; оборудование, включающее комплекс лесозаготовительных машин и изменяющееся физически от  $T$  к  $T^*$ .

Производимые и производящие объекты объединяются в биотехнические системы (рис. 1, б). При этом как машины не могут функционировать без персонала, так и лесоматериалы не могут появляться вне леса. В техническом аспекте ЛЗМ понимают как преобразователь исходного лесоучастка в обработанный с одновременным получением

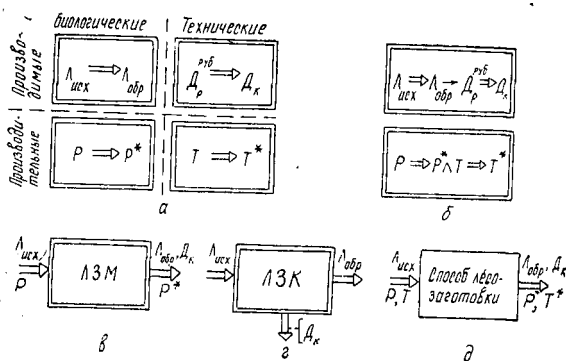


Рис. 1. Графическое потоковое представление объектов, участвующих в лесозаготовительном процессе: а — классификация объектов, изменяющихся в процессе лесозаготовки; б — объединение объектов в биотехнические системы; в, г, д — потоковые модели соответственно лесозаготовительной машины, лесозаготовительного комплекса и способа лесозаготовки

древесины (рис. 1, в). При этом мастерство персонала повышается. В технологическом аспекте (рис. 1, г) персонал и ЛЗМ образуют лесозаготовительный комплекс (ЛЗК), предназначенный для получения эффектов  $L_{обр}$  и  $D_{кж}$ .

Функциональное описание способа лесозаготовки (рис. 1, д) учитывает в общем случае все четыре материальных потока. Результат взаимодействия должен иметь положительный ингredient по всем потокам, т. е. необходимо достичь  $L_{обр}^* \uparrow$ ,  $D_{к}^* \uparrow$ ,  $P^* \uparrow$  и  $T^* \uparrow$ , где знак \* означает качественно и количественно измененное состояние материального объекта, измеренное способами диагностики (фитопатологические, генетические, таксационные, медицинские, технические и др.).

На рис. 2 и 3 приведены примеры системного представления четырех сценариев проектирования, т. е. процесса преобразования информации из исходного описания в конечное. Эти сценарии учитывают физическое преобразование материальных потоков  $L_{исх} \Rightarrow L_{обр}$ ,  $D_{руб} \Rightarrow D_{к}$ ,  $P \Rightarrow P^*$ ,  $T \Rightarrow T^*$ . Знаком  $\nabla$  обозначен оператор преобразования свойств лесоучастка, древесного сырья, персонала и технических средств.

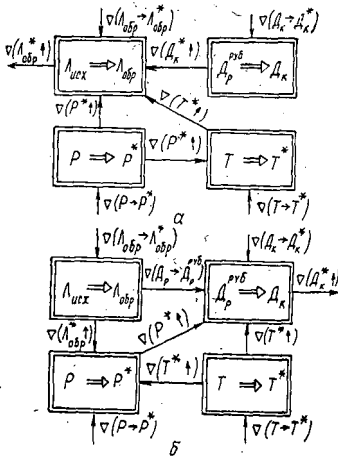


Рис. 2. Системы связей, учитываемых при предпроектном обосновании параметров процессов: а — воспроизводства леса; б — лесозаготовки

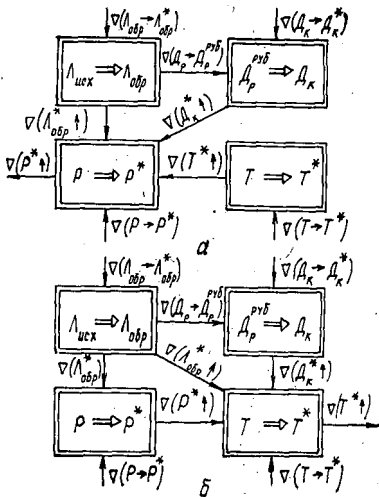


Рис. 3. Системы связей, учитываемых при обосновании параметров процессов: а — обучения персонала; б — воспроизводства машин

В настоящее время контроль и учет во всех четырех преобразованиях разделен по отдельным группам специалистов: лесовод контролирует качество  $L_{обр}$ ; мастер лесозаготовки — показатели  $D_k$ ,  $P$  и  $T$ ; бригадир  $P$  и  $T$ ; ремонтники —  $T$  и т. д. В будущем оператор ЛЗМ должен сам выполнять многие контрольно-учетные и иные биотехнические функции. Поэтому в схемах на рис. 2 и 3 в каждый блок преобразований материальных потоков поступают сведения о способах улучшения лесоучастков, древесного сырья, персонала и технических средств, формирующиеся в виде обучающих экспертных систем.

Очевидно, что для повышения общего эффекта лесозаготовки  $L_{обр}^* \uparrow$  (рис. 2, а)  $\wedge D_k^* \uparrow$  (рис. 2, б) необходимо добиться также эффектов обучения  $P^* \uparrow$  (рис. 3, а) и воспроизводства ЛЗМ с новыми свойствами  $T^* \uparrow$  (рис. 3, б). В конечном итоге все эти эффекты проявляются через процессы теоретического и практического обучения, т. е.  $\nabla (P^* \uparrow) = \nabla \{P \rightarrow P^*, L_{обр}^* \uparrow, D_k^* \uparrow, T^* \uparrow\}$ . Такой теоретический комплекс наиболее перспективен, однако пока трудно определить количественно обобщенный критерий обучения. Поэтому далее приводим упрощенную группировку критериев биотехнической эффективности.

По схеме на рис. 3, б информационные потоки направлены в процессы лесного машиностроения. Поэтому стратегию  $T \rightarrow T^* \rightarrow T^* \uparrow$  будем называть оптимальным техническим проектированием ЛЗМ при соблюдении условий  $\nabla (P^* \uparrow)$ ,  $\nabla (L_{обр}^* \uparrow)$  и  $\nabla (D_k^* \uparrow)$ . При этом преобразование  $D_p^{руб} \Rightarrow D_k$  описывается в виде И—ИЛИ графа. Система изделий одного или даже нескольких заводов лесного машиностроения также описывается иерархическим И—ИЛИ графом. Лесоучасток получает фрактальное описание по площади (горизонтальные и вертикальные структуры леса), а персонал — по рабочим местам, участкам и цехам.

В общем жизненном цикле ЛЗМ может находиться в одном из следующих информационно-материализованных состояний [8]: И — стадия НИР; К — стадия ОКР;  $P_n$  — производство установочной партии; П — серийное производство и др. С переходом на методы автоматизированного проектирования стадии И и К существенно уточняются. Структура И—К— $P_n$  является процессом материализации идей с минимальным числом стадий. По данным [14, с. 41—57], в САПР учитывается 11 типовых этапов принятия решений. Первые восемь раскрывают стадии И и К: ПИ — предпроектные исследования; ТЗ — техническое задание; ТП — техническое предложение; ЭП — эскизный проект; ТП<sub>р</sub> — технический проект; РП — рабочий проект; ИИ — изготовление, отладка и испытания; ВД — ввод в действие.

Содержание стадий ЕСКД (ТЗ, ТП, ЭП, ТП<sub>р</sub>, РП), независимо от объекта проектирования и с позиций теорий принятия решений, разделяется на три уровня [14, с. 52]: структурно-параметрическое (ТЗ, ТП, частично ЭП), функционально-конструкторское (ЭП, частично ТП<sub>р</sub>) и конструкторско-технологическое (ТП<sub>р</sub>, РП) проектирование. На первом уровне, чаще всего называемом аванпроектированием (предпроектным обоснованием) [12], принимаются решения, определяющие принципиальный облик объекта проектирования, а также значения параметров, характеризующих системные связи. Известные работы по проектированию ЛЗМ [1, 2, 4] больше относятся ко второму уровню содержательной модели процесса.

Аванпроект должен обеспечивать формирование прогрессивных исходных требований к новым ЛЗМ, отвечающим высшему мировому уровню, и создание предпосылок для их рациональной разработки, производства, эксплуатации и утилизации. Обоснование технических,

лесоводственно-экологических, эргономических и иных показателей ЛЗМ является основным разделом аванпроекта. В связи с этим на уровне структурно-параметрического проектирования выделяются три основных подуровня: 1) принцип действия (структура технических функций обработки лесоучастка и древесного сырья); 2) конструктивная схема (представление информации в виде заявки на предполагаемые изобретения); 3) внешние параметры (по карте технического уровня и качества продукции это первая группа параметров назначения). При высокой определенности внешних и внутренних параметров многие виды математических конструкторов и фреймов [2] могут быть применены (по аналогии с прототипами) и в аванпроектировании.

Пусть известно множество  $X$  альтернатив принципиальных обликов ЛЗМ, сгруппированных по заданным функциональным структурам. При этом возможны четыре группы машин, рассматриваемые как пересекающиеся множества:  $M_d$  — обрабатывающие лесоучасток;  $M_d$  — деревообрабатывающие;  $M_p$  — для обслуживания персонала;  $M_t$  — для технического обслуживания и ремонта технических средств. Тогда множество  $T$  включает в себя все эти четыре группы, а также вспомогательные приборы, инструменты, оснастку, аппараты, сооружения, здания и другие технические объекты. Очевидно, что персонал и оборудование взаимокмплектны  $P \leftrightarrow T$ , а в совокупности структуры и функции субъектов и средств труда определяются по отношению к преобразованиям предметов труда  $L_{исх} \Rightarrow L_{обр}$ ,  $D_{руб} \subset L_{исх} \rightarrow D_{руб} \Rightarrow D_k$ . Заметим, что в подмножество  $M_p$  входят также, в соответствии с рис. 3, а, машины (макеты, тренажеры и др.) для обучения и жизнеобеспечения персонала. Из практики известно, что навыки высокого мастерства у оператора ЛП-19А появляются, как правило, при работе на второй закрепляемой за ним машине. Первая ломается в процессе  $P \Rightarrow P^*$ .

Отсюда следует, что процесс изготовления ЛЗМ по схеме  $T \Rightarrow T^*$  должен учитывать обобщенный эффект  $\mathcal{E} = \{\mathcal{E}_p, \mathcal{E}_d, \mathcal{E}_t, \mathcal{E}_r\}$ . В японской системе «канбан» производство технических объектов  $D_k$  и  $T$  организуется без заделов и межоперационных запасов, при скромных ремонтных мощностях, многопрофильной специализации работников и групповом принципе управления. Поэтому принимаем  $\mathcal{E}_p \prec \mathcal{E}_d \prec \mathcal{E}_t \prec \mathcal{E}_r$ . Технические средства получают последнее место в ряду предпочтительности. Это означает, что наиболее качественной обработки лесоучастка в целях получения древесного сырья можно достичь при немеханизированном (ручном) труде. Однако для этого необходимо добиться максимального качества обучения персонала при минимальной численности единиц оборудования.

Из  $X$  альтернатив ЛЗМ одной функциональной группы, соответствующей облику рационального оборудования, необходимо выбрать  $x^R$  наилучших. При этом  $X_R \in X$ , и по [11, с. 122] количественный критерий эффективности  $E$  может быть записан в виде

$$E(p, t) = E\{\mathcal{E}[\bar{p}(t)], \mathcal{Z}[\bar{p}(t)], t\},$$

где  $\mathcal{E}$  — эффект от функционирования ЛЗМ;  
 $\mathcal{Z}$  — затраты;  
 $\bar{p}$  — вектор параметров ЛЗМ;  
 $t$  — время функционирования.

Воздействие ЛЗМ на  $L_{исх}$ ,  $P$  и  $D_k$  может быть как позитивным (положительно направленные эффекты  $L_{обр}^* \uparrow$ ,  $D_k^* \uparrow$ ,  $P^* \uparrow$ ), так и негативным (отрицательно направленные эффекты  $L_{обр}^* \downarrow$ ,  $D_k^* \downarrow$ ,  $P^* \downarrow$ ). По-

следние следует отнести к затратам. Они, к сожалению, проявляются значительно позднее по сравнению с временем лесозаготовки. Поэтому принцип оптимальности  $R$  может быть соотнесен с различными по масштабу циклами воспроизводства, наибольшим из которых ныне является цикл воспроизводства леса. В сравнении с ним трудовая жизнь лесозаготовителя, функционирование ЛЗМ и цикл получения лесоматериалов значительно короче. Поэтому все эффекты и затраты (отрицательные эффекты, расходы на мониторинг лесоучастка, обучение и труд персонала, создание, эксплуатацию и утилизацию оборудования) должны быть отнесены к циклу воспроизводства леса.

Пусть известно множество  $D$  априорных оценок альтернатив  $X$ . При этом  $X \ni x = (p_1, p_2, \dots, p_n)$ , где  $n$  — число параметров, используемых для описания альтернатив ЛЗМ. Часть параметров (мощность, масса, грузоподъемность и т. п.) может быть принята в качестве технических критериев  $K = (k_1, k_2, \dots, k_m)$ ,  $m \leq n$ , которые можно выразить функцией  $k = f(p)$ . Необходимо найти общий критерий оптимизации отображением  $f_i : X \rightarrow E$  [15].

По определению [13, с. 623], эффективность количественно может учитываться по-разному: 1) в общем виде как отношение полезного действия к затраченным усилиям; 2) ресурсная — отношение получаемых продуктов и энергии к использованным; 3) термодинамическая — относительная степень сохранения уровня энтропии. Эффективность природопользования [13, с. 624] нередко должна учитывать конкурентность (вырубленный лес не дает пушнину и другие недревесные полезности, не очищает воздух, не пригоден для рекреации и т. д.). При этом расчеты следует выполнять на длительный срок (30, 50 и 100 лет).

Отсюда следует, что текущая биотехническая продуктивность характеризуется дееспособностью персонала в реальных условиях лесозаготовки с учетом высокой биологической неопределенности поведения леса в отдаленном будущем и технической неопределенности в комплексности и рациональности использования заготавливаемого древесного сырья. В дееспособности персонала возникает конфликтность между целями  $\max L_{\text{обр}}^* \uparrow$  и  $\max D_k^* \uparrow$ . В связи с этим общий критерий  $E$  должен быть компромиссным в течение всего цикла воспроизводства леса.

Опытного лесовода можно считать общим оператором  $\nabla (P^* \uparrow, L_{\text{обр}}^* \uparrow, D_p \rightarrow D_p^{\text{руб}}, \dots)$ , который добивается максимизации положительных эффектов. Например, в одном из лесничеств марийского края лесовод П. В. Алексеев в 1950 г. заложил опытные и контрольные участки, определяющие эффективность применяемых рубок ухода за лесом. К настоящему времени годовой прирост составил на опытных участках 14,0, на контрольных 3,2 м<sup>3</sup>/га. Биотехнический эффект превысил 10 м<sup>3</sup>/га в год. В этом случае оператор-лесовод учел влияние неуправляемых природохозяйственных факторов и сумел предвосхитить сверхдальний эффект. Поэтому условия  $S$  также должны быть смоделированы.

Режим лесозаготовки, имеющий сезонный характер, интенсивность сплошной рубки [6] и другие факторы взаимодействия  $T \wedge L_{\text{исх}}$ ,  $T \wedge D_p$ ,  $T \wedge D_p^{\text{руб}}$ ,  $T \wedge D_k$  влияют на прирост леса на данном участке. Вековой опыт многих лесоводов-операторов должен быть идентифицирован в целях получения данных для экспертных систем [3], в частности на основе методов эвристико-математического моделирования [5].

Таким образом, можно считать существующими решения  $x_R \in X$  для достижения максимума биотехнического эффекта лесозаготовки. Однако принцип оптимальности  $R$  математически неприводим к однозначному решению. Поэтому необходимо уточнение на основе стати-