

## МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ОПТИМАЛЬНОЙ СТРУКТУРЫ ПАРКА ТРАНСПОРТНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ МАШИН

<sup>1</sup> Пильник Ю.Н., <sup>2</sup> Сушков С.И., <sup>1</sup> Арутюнян А.Ю.

<sup>1</sup>ФГБОУ ВПО «Ухтинский государственный технический университет» (169300, Республика Коми, г. Ухта, ул. Первомайская, 13), [ypilnik@mail.ru](mailto:ypilnik@mail.ru);

<sup>2</sup>ФГБОУ ВПО «Воронежская государственная лесотехническая академия» (394087, г. Воронеж, ул. Тимирязева, д. 8), [s.i.sushkov@mail.ru](mailto:s.i.sushkov@mail.ru)

---

В статье рассматривается постановка задачи оптимизации структуры парка транспортно-технологических машин. В зависимости от состояния транспортного парка принимается решение о замене выбывающих (списываемых) машин, внедрении новых машин и средств малой механизации, устанавливается годовой объем каждого вида транспортных работ. При формировании крупных парков машин для оптимизации структуры применяются математические методы. Математическая модель эффективности предприятия базируется на принципах системного анализа. Приводится блок-схема алгоритма формирования оптимальной структуры парка транспортных машин. Исследование проводится в четыре этапа: выбор точек, составление таблиц, задание ограничения, проверка. Предложенный подход позволяет определить оптимальную структуру состава парка транспортно-технологических машин, исходя из типов и объемов выполняемых работ, а также затрат на эксплуатацию каждого типа транспортного средства.

---

Ключевые слова: парк транспортных средств, математическая модель, оптимизация структуры, повышение эффективности.

## METHOD DETERMINE THE OPTIMAL STRUCTURE FLEET-TECHNOLOGICAL MACHINES

<sup>1</sup> Pilnik Y.N., <sup>2</sup> Sushkov S.I., <sup>1</sup> Arutyunyan A.Y.

<sup>1</sup>FGBOU VPO "Ukhta State Technical University" (169300, Republic of Komi, Ukhta, Pervomayskaya Str., 13), [ypilnik@mail.ru](mailto:ypilnik@mail.ru);

<sup>2</sup>FGBOU VPO "Voronezh State Forestry Academy" (394087, Voronezh, Timiryazev str., D. 8), [sisushkov@mail.ru](mailto:sisushkov@mail.ru)

---

The article discusses the formulation of the problem of optimization of the fleet structure of transport and technological machines. Depending on the condition of the vehicle fleet is decided for Meretired (written off) machines, the introduction of new machines and small machines, the mouthnavlivaetsya annual volume of each type of transport work. In the formation of large parks ma-tire structure optimization applied mathematical methods. Mathematical models of efcieny is based on principles of system analysis. Provides a block diagram of alorhythm of the optimal structure of fleet vehicles. A study carried out in four phases: selection of points, tabulation, setting limits, check. The proposed approach allows to determine the optimal structure of the composition of the fleet of transport and technological machines is-walking type and scope of work, as well as the operating costs of each type of transportation means.

---

Keywords: vehicle fleet, mathematical model, optimization of the structure, increase efficiency.

Формирование парка транспортных средств (ТС) проводится с учетом потребности в выполнении определенных объемов и видов работ. Прежде всего, устанавливаются по перспективным планам объемы основных видов работ в физическом измерении. Определяются организационно-технологическая структура и методы механизации работ. На основе заданного уровня механизации работ устанавливается годовой объем каждого вида транспортных работ, подлежащих выполнению.

По данным о состоянии транспортного парка принимаются решения о замене выбывающих (списываемых) машин, внедрении новых машин и средств малой механизации.

При формировании парка машин необходимо учитывать условия производства, влияющие на производительность машин, а также возможности их взаимозаменяемости. Во всех случаях следует стремиться к выбору машин, которые могут быть в максимальной степени эффективно использованы в производстве [1; 3].

Необходимым и неотъемлемым этапом в повышении эффективности функционирования парка транспортно-технологической техники является разработка методики выбора рациональной структуры подвижного состава парка [5]. При формировании крупных парков машин для оптимизации структуры применяются математические методы. Математическая модель эффективности предприятия базируется на принципах системного анализа.

Совокупность целевых функций, образующих вектор полезного эффекта, можно представить в виде:

$$\bar{F} = \{f_1, f_2, \dots, f_n\}, \quad (1)$$

где  $f_i$  – стоимость транспортной операции  $i$ -й группы транспортных средств,  $i=1 \dots n$ ;

Вектор варьируемых параметров системы – транспортные средства.

$$\bar{N}_{ЛТС} = \{N_1, N_2, \dots, N_n\}, \quad (2)$$

где  $N_i$  – количество транспортных средств  $i$ -й группы.

Вектор внешних возмущений характеризует работу, выполняемую ТС

$$\Delta \bar{L} = \{\Delta L_1, \Delta L_2, \dots, \Delta L_n\}, \quad (3)$$

где  $\Delta L$  – изменение вида работ  $i$ -й группы транспортных средств.

Вектор фиксированных внутренних параметров составляют затраты на содержание ТС:

$$\bar{A} = \{a_1, a_2, \dots, a_n\}, \quad (4)$$

где  $a_i$  – затраты на содержание  $i$ -й группы транспортной техники.

Показателем, характеризующим эффективность функционирования парка ТС, является коэффициент эффективности работы парка, который можно представить в виде:

$$K = \frac{\sum_{j=1}^m V_j p_j - \sum_{i=1}^n C_i}{\sum_{i=1}^n C_i}, \quad (5)$$

где  $V_j$  – объем  $j$ -го вида специализированных работ, выполняемых парком;

$p_j$  – стоимость  $j$ -го вида специализированных работ, выполняемых парком;

$C_i$  – затраты на эксплуатацию  $i$ -й группы ТС.

Согласно [2] и с учетом особенностей эксплуатации ТС затраты на эксплуатацию группы подвижного состава определяются как:

$$\begin{aligned}
C_i = & N_{ЛТС_i} k_6 C_{1_i}^{np} \Phi_{np} + N_{ЛТС_i} k_6 C_{1км_i}^x V_{x_i} + N_{ЛТС_i} k_6 C_{1км_i}^c Q_i V_{z_i} + N_{ЛТС_i} 0,001 H_{S_i} V_{x_i} \times \\
& \times (1 + 0,001 D) C_{1л} + H_{см_i}^{V_x} + H_{см_i}^{V_z} + N_{ЛТС_i} C_{1л} 0,001 \left( H_{S_i} V_{z_i} + \left( \sum_{t=1}^r H_{w_{it}} \right) Q_i V_{z_i} \right) \times \\
& \times (1 + 0,001 D) + N_{ЛТС_i} n_{смбл_i} H_{расхсмбл} (V_{x_i} + V_{z_i}) \left( \sum_{j=1}^m C_{смбл_j} \right) + N_{ЛТС_i} C_{ТОР} \times \\
& \times (V_{x_i} + V_{z_i}) + H_{a_i} N_{ЛТС_i} S_i
\end{aligned} \tag{6}$$

где  $N_{ЛТС_i}$  – количество ТС  $i$ -й группы;  $k$  – коэффициент отношения водителей на одно ТС;  $C_{1_i}^{np}$  – часовая тарифная ставка рабочего при простое  $i$ -го ТС;  $\Phi_{np}$  – годовой фонд времени простоя ТС;  $C_{1км_i}^x$  – стоимость одного километра при холостом пробеге  $i$ -го ТС;  $V_{x_i}$  – холостой пробег  $i$ -го ТС;  $Q$  – грузоподъёмность  $i$ -й машины;  $V_{z_i}$  – выполненный объем работы  $i$ -го ТС;  $C_{1км_i}^c$  – тарифная ставка рабочего при работе  $i$ -го вида транспорта;  $C_{1л}$  – стоимость литра топлива;  $C_{смбл_j}$  – стоимость  $j$ -го сменного блока;  $S_i$  – стоимость  $i$ -го ТС;  $H_{S_i}$  – базовая норма расхода топлива  $i$ -го ТС; – надбавка к расходу топлива, учитывающая условия эксплуатации;  $H_{w_{it}}$  – расход топлива  $i$ -го ТС при выполнении  $i$ -го вида работ;  $H_{см_i}$  – норма расхода смазочных материалов  $i$ -го ТС;  $n_{смбл_i}$  – количество сменных блоков (шин, пил, тросов и др.)  $i$ -го ТС;  $H_{расхсмбл}$  – норма расхода сменных блоков  $i$ -го ТС;  $H_{a_i}$  – норма амортизации  $i$ -го ТС.

Анализируя выражение (6), получаем, что каждое из слагаемых содержит множитель  $N_{ЛТС_i}$  – количество единиц техники в  $i$ -й группе. С учетом этого выражение (7) можно представить как:

$$C_i = N_{ЛТС_i} a_i; \quad C_i = N_{ЛТС_i} \alpha_i, \tag{7}$$

где  $C_i$  – затраты на эксплуатацию единицы техники в  $i$ -й группе.

При формировании математической модели принимается  $\alpha_i = const$ .

С учётом выражений (5-7) целевая функция оптимизации состава парка ТС примет следующий вид:

$$N_{ЛСТ_i} > 0; \alpha_i = const; \sum_{i=1}^n L_i \rightarrow \max, i = 1, \dots, n. \tag{8}$$

Предлагается для оптимизации структуры парка ТС использовать алгоритм ЛПт - поиска.

Рассмотрим  $n$ -мерное пространство, состоящее из точек  $A$  с декартовыми координатами  $(\alpha_1, \dots, \alpha_n)$ . Таким образом, каждой точке  $A$  пространства параметров

соответствует конкретный набор параметров  $(\alpha_1, \dots, \alpha_n)$ , соответствующий конкретному составу парка ТС. В качестве ограничения примем затраты на эксплуатацию парка транспортной техники, которые желательно сократить:

$$C_{\text{общ}} = \sum_{i=1}^n C_i \rightarrow \min. \quad (9)$$

Обозначим через  $G$  подмножество параллелепипеда  $\Pi$ , состоящее из точек  $A$ , удовлетворяющих ограничению (9). Множество  $G$  может быть любым замкнутым множеством. Единственное ограничение: объем  $G$  должен быть положительным ( $V_G > 0$ ). Пусть  $D$  – множество точек  $A$ , которые удовлетворяют заданному ограничению (9), так что  $D \subseteq G \subseteq \Pi$ ; если множество  $D$  не пусто, то оно замкнуто.

В основе предлагаемого алгоритма лежит численное исследование пространства параметров проектируемой системы. Блок-схема алгоритма метода исследования пространства параметров изображена на рис. 1.

Исследование проводится в четыре этапа.

Предварительный этап – выбор пробных точек. Во всех расчетах мы использовали точки  $ЛП_\tau$  - последовательности. По декартовым координатам очередной точки вычисляются декартовы координаты точки, принадлежащей параллелепипеду  $\Pi$ :

$$\alpha_j^{(i)} = a_j^* + (a_j^{**} - a_j^*) q_{i,j} \quad (j = 1, 2, \dots, n) \quad (10)$$

При  $A = A^{(i)}$  рассчитываем значения параметра  $C_{\text{общ}}$ . Проверяем выполнение функциональных ограничений. Если они выполнены, то точка отбирается в качестве пробной точки в  $G$  и вычисляются все; в противном случае точка  $A = A^{(i)}$  отбрасывается.

1-й этап: составление таблиц испытаний. Этот этап выполняется ЭВМ без вмешательства человека. Последовательно выбираются пробные точки, равномерно расположенные в  $G$ . В каждой из точек вычисляются значения  $F$  и  $C_{\text{общ}}$  и составляется таблица испытаний (табл. 1), в которой значения  $F$  расположены в порядке убывания.

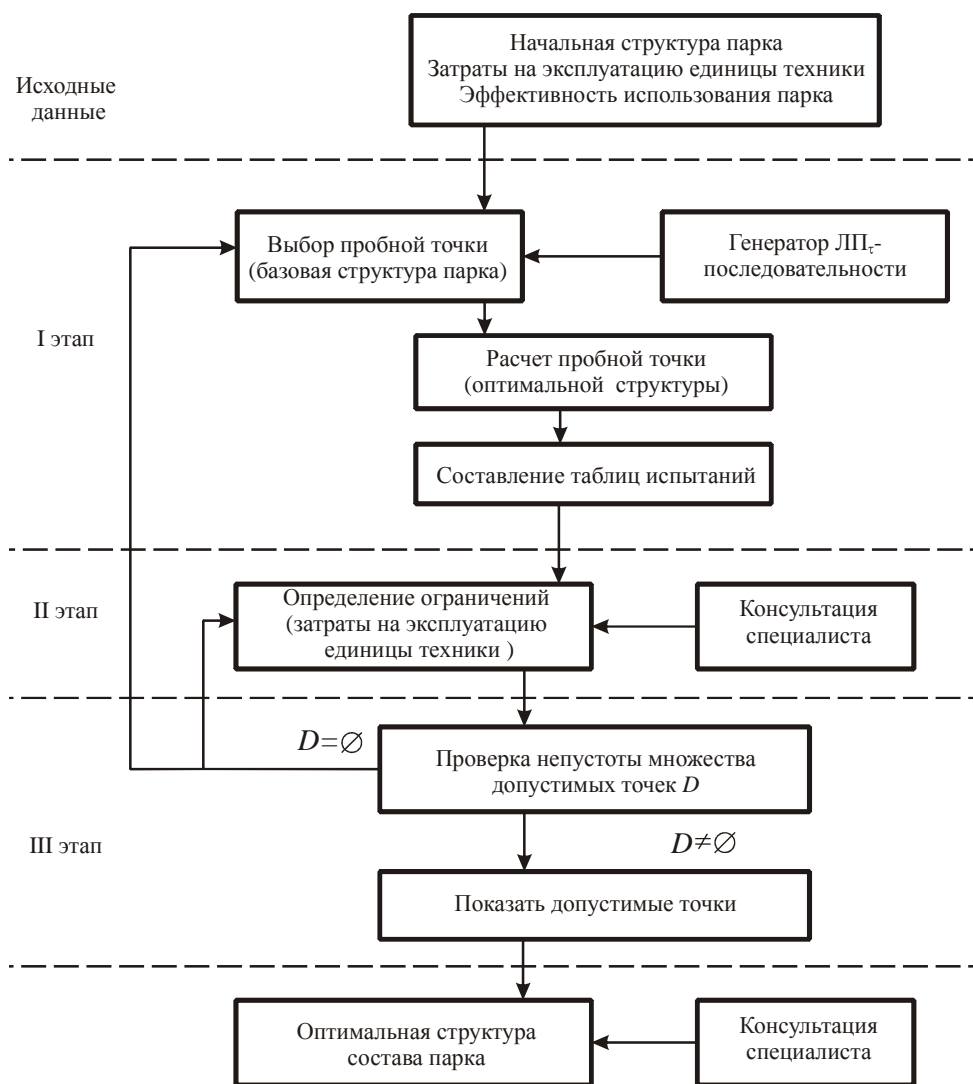


Рис. 1. Блок-схема алгоритма формирования оптимальной структуры парка машин

2-й этап: задание ограничения для  $C_{общ}$ . Этот этап предполагает вмешательство эксперта, который должен назначить ограничение для каждого вида ТС.

3-й этап: проверка непустоты  $D$ . Этот этап также выполняется автоматически, без вмешательства человека. Если множество  $D$  не пусто, то задача (10) имеет решение.

В противном случае следует вернуться ко второму этапу и ослабить ограничения. Если ослабление ограничений невозможно, то необходимо вернуться к первому этапу и увеличить количество  $N$  пробных точек, чтобы повторить второй и третий этапы с таблицами испытаний большего объема.

На третьем этапе мы находим не одну, а  $q$  точек, принадлежащих  $D$ . Очевидно,  $q \leq N$ . Множество этих точек обозначаем через  $D_N$ . Для того чтобы получить наиболее оптимальную структуру парка машин, удовлетворяющую условиям (8) и (9), необходимо

выбрать  $A^{opt} \in D_N$ , при котором значение  $F$  будет минимальным. На данном этапе также целесообразно привлечение эксперта.

Постановка задачи: определить оптимальную структуру парка транспортных средств, при которой эффективность их эксплуатации будет максимальной. В качестве показателя эффективности принимаем коэффициент эффективности работы парка. Данная задача является многокритериальной. Определим исходные данные и ограничения для ее решения.

Исходные данные. Варьируемые параметры – количество единиц транспортной техники в парке:  $\alpha_1$  универсальная машина для валки – ЛЗ-3;  $\alpha_2$  – пильные аппараты для агрегатных машин – ЦДТ-7ш;  $\alpha_3$  – агрегат сучкорезно-раскряжевочный СМ –34;  $\alpha_4$  – погрузочно-разгрузочные устройства МГУ-70М;  $\alpha_5$  – навесное оборудование для лесозаготовительных работ ОН-1;  $\alpha_6$  – чокер для трелевки леса ЧТ-1;  $\alpha_7$  – мини-трактор – КМЗ-012;  $\alpha_8$  – мотоблок – Мб-2;  $\alpha_9$  – мотокультиватор – крот; мототележка – С-3.901;  $\alpha_{10}$  – трактор лесохозяйственный – ХТА-200-02;  $\alpha_{11}$  – трактор трелевочный – ТТ-4М;  $\alpha_{12}$  – тягач-ропуск – КрАЗ-6443;  $\alpha_{13}$  – форвардер – КС-421;  $\alpha_{14}$  – экскаватор – ЭО 70-2621.

Ограничения:  $C_{общ}$  – затраты на эксплуатацию парка транспортной техники (млн руб/год):  $C_{общ} \leq 15$  (значение ограничения установлено экспертом) Критерии качества – эффективность работы парка ТС. Данный показатель должен быть максимальным.

Для решения поставленной задачи программа задает небольшие пределы варьирования параметров, приведенные выше. Они определяют пятнадцатимерный параллелепипед  $\Pi$ , в центре которого расположена точка  $A_1$ . В качестве пробной точки была выбрана структура парка машин ООО «Ковровский лесокombинат», его структура определялась экспертным путем.

Подсистема генерирует множество точек и отбирает из них те, которые удовлетворяют наложенному ограничению. Оптимальной признается та структура парка, которой соответствует максимальное значение параметра эффекта. В параллелепипеде  $\Pi$  при заданных ограничениях было проведено  $N' = 400$  испытаний. Количество точек, удовлетворяющих заданному ограничению  $N = 86$  (эффективность отбора  $\gamma = N/N' = 0,215$ ). Результаты расчета представлены на рис. 2.

Среди отобранных 150 точек, попавших в таблицу испытаний, необходимо выделить наиболее эффективные. С учетом указанных критериев самой эффективной оказалась точка  $A_{107}$ , так как для данной структуры парка коэффициент эффективности максимальный.

**Вывод.** Таким образом, предложенный подход позволяет определить оптимальную структуру состава парка транспортно-технологических машин, исходя из типов и объемов

выполняемых работ, а также затрат на эксплуатацию каждого типа ТС.

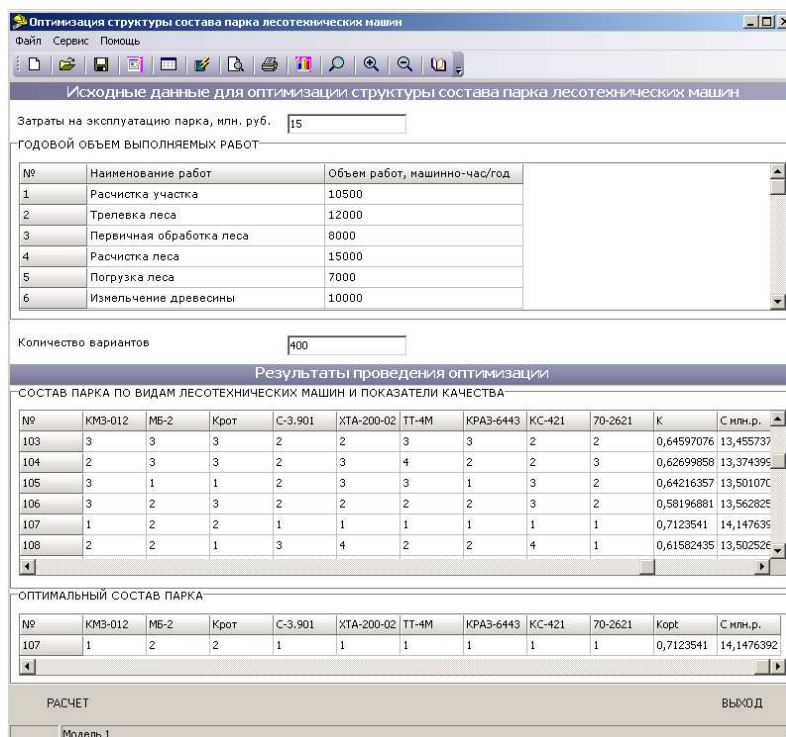


Рис. 2. Оптимизация структуры состава парка транспортных машин

### Список литературы

1. Бурмистрова О.Н. Разработка модели организационной системы управления и принятия решений при функционировании материально-транспортных потоков в лесном комплексе / О.Н. Бурмистрова, С.И. Сушков, А.С. Сушков // Севергеоэкотех-2012 : материалы 13 Международной молодежной научной конференции, Ухта, 16-19 апреля 2013 г. : в 3 ч. / Ухтинский государственный технический университет. - Ухта : УГТУ, 2013. - Ч. 2. - С. 190-194. - Библиогр.: с. 194.
2. Лесдон Л. Оптимизация больших систем. – М. : Наука, 1975. – 432 с.
3. Пильник Ю.Н. Методика оценки оптимальных транспортных потоков лесоматериалов / Ю.Н. Пильник, О.Н. Бурмистрова // Международная заочная научно-практическая конференция «Актуальные направления научных исследований XXI века: теория и практика» : материалы конференции. – Воронеж : ФГБОУ ВПО «ВГЛТА», 2014. – № 3; часть 2 (8-2). – С. 155-159.
4. Сушков С.И. Обоснование совершенствования транспортно-логистической системы лесопромышленных предприятий / С.И. Сушков, Л.В. Даценко, В.В. Даценко // Актуальные направления научных исследований XXI века: теория и практика : сборник научных трудов по материалам международной заочной научно-практической конференции / гл. ред. В.М. Бугаков ; Фед. гос. бюджет. образоват. учреждение высш. проф. образования «Воронеж. гос.

лесотехн. акад.» - Воронеж, 2014. - № 2, ч. 3 (7-3). - С. 221-227.

5. Сушков С.И. Совершенствование методики автоматизированной системы управления жизненным циклом машин лесного комплекса / С.И. Сушков, О.Н. Бурмистрова, В.А. Бурмистров, М.А. Михеевская // Efektivni nastroje modernich ved - 2014 : materialy 10 mezinarodni vedecko-prakticka konference, 27 dubna-05 kveta 2014 roku. - Praha : Education and Science s.r.o, 2014. - Dil 32 : Technike vedy. - S. 10-14.

**Рецензенты:**

Бурмистрова О.Н., д.т.н., зав. кафедрой технологии и машин лесозаготовок ФГБОУ ВПО «Ухтинский государственный технический университет», г. Ухта;

Павлов А.И., д.т.н., профессор кафедры инжиниринга технологических машин и оборудования ФГБОУ ВПО «Ухтинский государственный технический университет», г. Ухта.