Выводы

1. Предложена методика определения оптимального количества сварных точек и их расположения на кузовных конструкциях колесных машин, основанная на совместном использовании метода конечных элементов и генетического алгоритма.

2. Методика протестирована при расчетах, результаты которых доказали способность генетического алгоритма к нахождению оптимального решения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Емельянов В. В., Курейчик В. В., Курейчик В. М. Теория и практика эволюционного моделирования. — М.: Физматлит, 2003. — 432 с.
2. Батищев Д. И., Исаев С. А.. Оптимизация многоэкстремальных функций с помощью генетических алгоритмов./Межвузовский сб. научных тр. «Высокие технологии в технике, науке и образовании». — Воронеж: ВГТУ, 1997. — С. 4—17.
3. Карманов В. Г. Математическое программирование: Учеб. пособие. — М.: Физматлит, 2001 — 264 с.
4. Whitley D. L. Genetic Algorithms and Evolutionary Computing. Van Nostrand's Scientific Encyclopedia. 2002.

621.43.01

ОПТИМИЗАЦИЯ СРОКА СЛУЖБЫ ГОРОДСКИХ АВТОБУСОВ МЕГАПОЛИСА

Д-р техн. наук И.Н. АРИНИН, канд. техн. наук, докторант В.Н. ПРОХОРОВ

Предложены стратегии списания городских автобусов, в частности, с использованием метода динамического программирования и уравнения Беллмана. В качестве критериев оптимальности могут быть приняты либо прибыль от эксплуатации автобусов, либо суммарные затраты на их функционирование.

Strategy of amortization of city buses, in particular, with use of dynamic programming method and Bellman equation is offered. As optimality criterions can be accepted either profit on operation of buses, or joint costs on their functioning.

В процессе эксплуатации техническое состояние автобусов изменяется: снижается их надежность, работоспособность и т.д. Эксплуатационная надежность обеспечивается планово-предупредительной системой технического обслуживания и ремонта [1].

Увеличение сроков службы автобусов до списания без изменения их надежности приводит к существенному ухудшению показателей эффективности парка — средней производительности, доходов, коэффициента технической готовности, потребности в рабочей силе, производственной базы, запасных частей.

В общем случае определение оптимальной стратегии списания старых автобусов представляет собой достаточно сложную задачу. Поэтому одной из важных экономических проблем, с которой приходится встречаться на практике, является определение оптимальной стратегии замены старых автобусов.

Различают следующие стратегии списания автобусов: по времени эксплуатации автобуса до списания — t^C; по пробегу до списания — L^C; по достигнутому уровню технического состояния – через минимальное значение коэффициента технического использования $\left(K_{\min}^{TH}\right)$; списание по минимуму приведенных затрат по сроку службы и пробегу — $r(t)\min$ и $r(L)\min$.

Проведенные исследования по вопросам технической эксплуатации автобусов показывают, что абсолютное большинство свойств автомобиля ухудшается по мере его старения. Это обстоятельство влияет на показатели качества, как конкретного автобуса, так и автопарка предприятия в целом, в котором могут быть автомобили разных возрастных групп.

Оценивая изменение возрастной структуры парка, можно прогнозировать изменения во времени всех реализуемых показателей парка, а именно размера, возраста, уровня надежности, дохода, расходов и т.д. Это создает надежную информационную базу для принятия решения по необходимым размерам закупки и списания подвижного состава, планированию расходов, необходимости модернизации производственной базы.

Прогноз изменения возрастной структуры парка рекомендуется производить, как минимум, ежегодно. Для внутрихозяйственных расчетов возрастные группы, особенно при различных условиях эксплуатации, целесообразно формировать с меньшим шагом, например, квартал или полгода.

Заслуживает внимания методика рациональной политики списания автобусов по экономическим показателям (критериям). Одним из известных методов решения таких задач является метод динамического программирования (ДП). Под ДП понимается оптимальное управление процессами, т.е. такое управление, когда выбор определенных параметров управления позволит оптимизировать конечный результат по заданному критерию. ДП используется при решении задач, которые могут быть представлены в виде многошагового процесса. Решение такой задачи естественным образом распадается на отдельные этапы. При этом соблюдается основной принцип ДП: поэтапное планирование должно проводиться таким образом, чтобы при планировании каждого шага учитывалась выгода не данного шага, а всего процесса в целом [2,3].

Предположим, что физическая система S (автобус) является управляемой. Таким образом, благодаря осуществлению некоторого управления U, указанная система переходит из начального состояния S_0 в конечное состояние $S_{кон}$. При этом качество каждого из реализуемых управлений U характеризуется соответствующим значением функции $W(u)$.

Задача состоит в том, чтобы из множества возможных управлений U найти такое U^*, при котором функция $W(U)$ принимает экстремальное (максимальное или минимальное) значение – $W(U^*)$. Сформулированная задача и является общей задачей динамического программирования.

Для реализации решения методом ДП необходимо использовать функциональное уравнение Беллмана, которое в общем виде записывается так:

$$W_i^*\left(S_{i-1}\right) = \max\left\{w_i\left(S_{i-1},\ u_i^*\right) + W_{i+1}^*\left(S_i\right)\right\},$$

где $W_i\left(S_{i-1}\right)$ — общий максимальный выигрыш, который мы имеем на всех шагах, начиная с i-го и до n-го шага; w_i — выигрыш на i-ом шаге; $W_{i+1}^*\left(S_i\right)$ — оптимальный выигрыш на всех последовательных шагах, начиная с i+1 до n-го шага; S_{i-1}, S_i — состояние после i =1 и i-го шага; u_i — возможное управление на i-ом шаге; u_i^* — оптимальное управление на i-ом шаге.

Алгоритм решения задачи методом ДП реализуется в два этапа.

Первый этап. При движении от начала n-го года к началу 1-го года для каждого допустимого состояния находится условное оптимальное управление — $u^*(t)$.

Второй этап. При движении от начала 1-го года к началу n – го года из условных оптимальных решений составляется оптимальный план замены автобусов — $\{u^*(t)\}$.

Рассмотрим вопросы практической реализации метода ДП при решении задачи определения оптимального срока замены автобусов.

Оптимальная стратегия замены автомобилей состоит в определении оптимальных сроков замены. Критерием оптимальности при определении сроков замены может служить либо прибыль от эксплуатации автобуса, которую следует максимизировать, либо суммарные затраты на эксплуатацию в течение рассматриваемого промежутка времени, подлежащие минимизации.

Физический и моральный износ автобусов увеличивают затраты на его ремонт и обслуживание, снижают производительность и ликвидную стоимость.

Рассмотрим несколько моделей задач о замене автобуса. В первой задаче в качестве показателя эффективности выберем прибыль, которую следует максимизировать.

Основными функциональными характеристиками автомобиля являются: t — возраст автомобиля (t = 0, 1, 2, 3, ... n); t = 0 — соответствует использованию нового автобуса; t = 1 — использованию автобуса возраста 1 год; $f(t)$ — стоимость продукции (для автобуса - выручка за транспортные услуги), произведенной за год на автомобиле возраста t; $r(t)$ — эксплуатационные затраты за год на автомобиль возраста t; $\varphi(t)$ — остаточная стоимость автомобиля возраста t; p — начальная стоимость автобуса; t_0 — начальный возраст автобуса; n — продолжительность планового периода (количество лет в плановом периоде).

Рассмотрим n— шаговый процесс, считая k-ым шагом номер k-го года от начала эксплуатации (k = 1, 2, ..., n).

Управление на каждом шаге выбирается из возможных решений:

U^C — сохранить и продолжать использовать автобус или $U^З$— заменить автобус новым.

Определим прибыль на k-ом шаге (показатель эффективности k-го шага), соответствующую каждому из альтернативных управлений U^C и $U^З$.

Выбирая на k-ом шаге управление U^C , сможем произвести на старом автобусе продукции стоимостью $f(t)$ при затратах $r(t)$.

Прибыль равна

$$W_k^c = f(t) - r(t).$$

При управлении $U^З$ получим доход $\varphi(t)$ от продажи старого автобуса и $f(0)$ от произведенной на новом автобусе продукции, затратив p на приобретение нового автобуса и $r(0)$ — на содержание нового автобуса. В этом случае прибыль (обозначим ее через $W_k^З$) составляет

$$W^З_k = \varphi(t) + f(0) - p - r(0).$$

Очевидно, что решение о замене имеющегося автобуса возраста t на новый следует принимать лишь в том случае, когда прибыль от эксплуатации нового автобуса будет больше, чем от старого, т.е.

$$\varphi(t) + f(0) - p - r(0) \geq \varphi(t) - r(t).$$

Обозначим через $W_k^*(t)$ условную максимальную прибыль, полученную за $n-k+1$ шагов использования автобуса, с k-го по n шаг включительно, если k-му шагу возраст автобуса составляет t лет при условии, что был выбран оптимальный режим эксплуатации. Условный максимальный доход за n-й шаг составляет

$$W_n^*(t) = \max \begin{cases} f(t) - r(t) & \text{при } \mathrm{U}_n = U^C \\ \varphi(t) + f(0) - p - r(0) & \text{при } \mathrm{U}_n = U^З \end{cases}$$

Сравнив эти две величины для всех возможных $t < n$, получим значение $W^*_k(t)$.

Предположим, что для всех значений t известна максимальная прибыль, полученная за $n-k$ шагов с $(k+1)$-го по n-ый включительно. Поэтому основные рекуррентные соотношения можно записать в виде:

$$W^*_n(t)=\max\begin{cases} f(t)-r(t)+W^*_{k+1}(t+1) & \text{при } U_k=U^C \\ \varphi(t)^{-p}+f(t)-r(0)+W^*_{k+1}(1) & \text{при } U_k=U^3 \end{cases}$$

где $W^*_{k+1}(1)$ — условная максимальная прибыль, полученная за $n-k$ шагов, если к началу $(k+1)$-го шага автомобиль находился в состоянии S_k и $t=1$ (возраст автомобиля составлял 1 год).

Графически процесс рационального списания автобусов можно представить рис. 1.

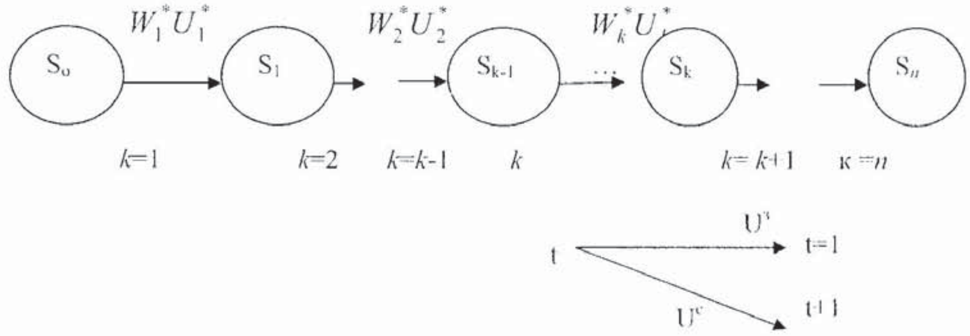

Рис. 1. Схема состояний автомобиля: S_0 — начальное состояние автобуса (автобус новый); S_1, S_k,..., S_n — состояние автобуса после k-го года эксплуатации.

Состояние автобуса в начале k-го шага характеризуется параметром t – возраст автобуса, который может принимать значения 0, 1, 2, …, $k-1$, т.е. $t \le k-1$.

Если к началу k-го шага, автобус находится в состоянии S_{k-1} и возраст его равен t годам ($S_{k-1}=t$), то под влиянием управления U^C в конце k-го шага он придет в состояние S_k с возрастом автобуса $t+1$ ($S_k=t+1$) (рис. 1), то есть возраст автобуса увеличится на 1 год.

Под влиянием управления U^3, принятого на k-ом шаге, система перейдет в состояние S_k с возрастом автомобиля равным одному году (замену произвели в начале k-го шага) ($S_{k=1}$).

Так как автобусы ГУП «Мосгортранс» работают в настоящее время не рентабельно, то есть для всех случаев имеем $r(t)>f(t)$, то целесообразно рассмотреть вторую задачу о замене автобусов, в которой в качестве критерия оптимизации срока замены автобуса примем суммарные затраты на эксплуатацию автобуса, которые следует минимизировать.

В качестве исходных данных примем: p — начальная стоимость автобуса; $r(t)$ — затраты на эксплуатацию автобусов лет в течение t – го года; $\varphi(t)$ — ликвидная стоимость автобуса возраста t лет.

Запишем целевую функцию оптимизации срока замены автобуса в течение n лет с тем, чтобы минимизировать затраты на его содержание.

Показатель эффективности в данной задаче – суммарные затраты на эксплуатацию автобуса. Затраты на k-ом шаге зависят от выбранного управления. При управлении $U_n=U^C$ эти затраты равны $W^{*C}_n=r(t)$, а при управлении $U_n=U^3$ составляют

$$W^3_n=p+r(0)-\varphi(t).$$

Тогда целевая функция ДП для n-го шага будет иметь вид:

$$W^*_n(t)=\min\begin{cases} r(t) & \text{при } U_n=U^C \\ p+r(0)-\varphi(t) & \text{при } U_n=U^З \end{cases} \qquad (1)$$

Пусть $W^*_k(t)$ — условные минимальные затраты за $n-k+1$ шагов с k-го до n-й включительно, если к шагу k-го шага возраст автобуса составляет t при условии, что был выбран оптимальный режим эксплуатации.

Рекуррентное соотношение для $W^*_k(t)$ имеет вид:

$$W^*_k(t)=\min\begin{cases} r(t)+W^*(t+1) & \text{при } U_k=U^C \\ p+r(0)-\varphi(t)+W^*(1) & \text{при } U_k=U^З \end{cases} \qquad (2)$$

Рассмотрим пример решения задачи рационального списания городских автобусов методом ДП.

Пример. Пусть p = 2000 тыс. руб. – стоимость нового автобуса марки ЛиАЗ-5256.

$\varphi(t)=p\cdot 2^{-t}$ — ликвидная стоимость автобуса возраста t лет.

$r(t)=r(0)\exp(\beta t)$ — эксплуатационные расходы автобуса возраста t лет.

$r(0)=1500$ тыс. руб. — эксплуатационные расходы автобуса в начале его эксплуатации. β =0,051816 – интенсивность «старения» автобуса, характеризующая изменение параметра К^{тг} и время эксплуатации автобуса.

На пятилетний срок планирования исходные данные представим таблицей 1.

Таблица 1

t	0	1	2	3	4	5
$\varphi(t)$	2000	1000	500	250	125	62,5
$r(t)$	1500	1580	1660	1750	1840	1940
t	6	7	8	9	10	
$\varphi(t)$	31,25	15,625	7,81	3,90	1,95	
$r(t)$	2046	2155	2270	2370	2518	

Нахождение решения рассматриваемой задачи начинаем с определения условного оптимального управления для последнего 10-го года, в связи с чем, находим множество допустимых состояний автобуса к началу данного года. Так как в начальный момент имеется новый автобус $(t=0)$, то возраст автобуса к началу 10-го года может составлять 1, 2, … 9 года. Поэтому допустимые состояния на данный период таковы: $t_1^{(10)}=1$, $t_2^{(10)}=2$, …, $t_9^{(10)}=9$.

Для каждого из этих состояний найдем условное оптимальное решение и соответствующие значения функции $W_{10}\left(t^{(10)}\right)$.

Используя уравнение 1, получаем:

$$W^*_{10}\left(t^{(10)}\right)=\min\begin{cases} r\left(t^{(10)}\right) & \text{при } U_k=U^C \\ p+r(0)-\varphi\left(t^{10}\right) & \text{при } U_k=U^З \end{cases}.$$

Подставляя теперь в эту формулу вместо $t^{(10)}$ его значение, равные 1, 2, 3, 4, и учитывая данные табл. 1, находим:

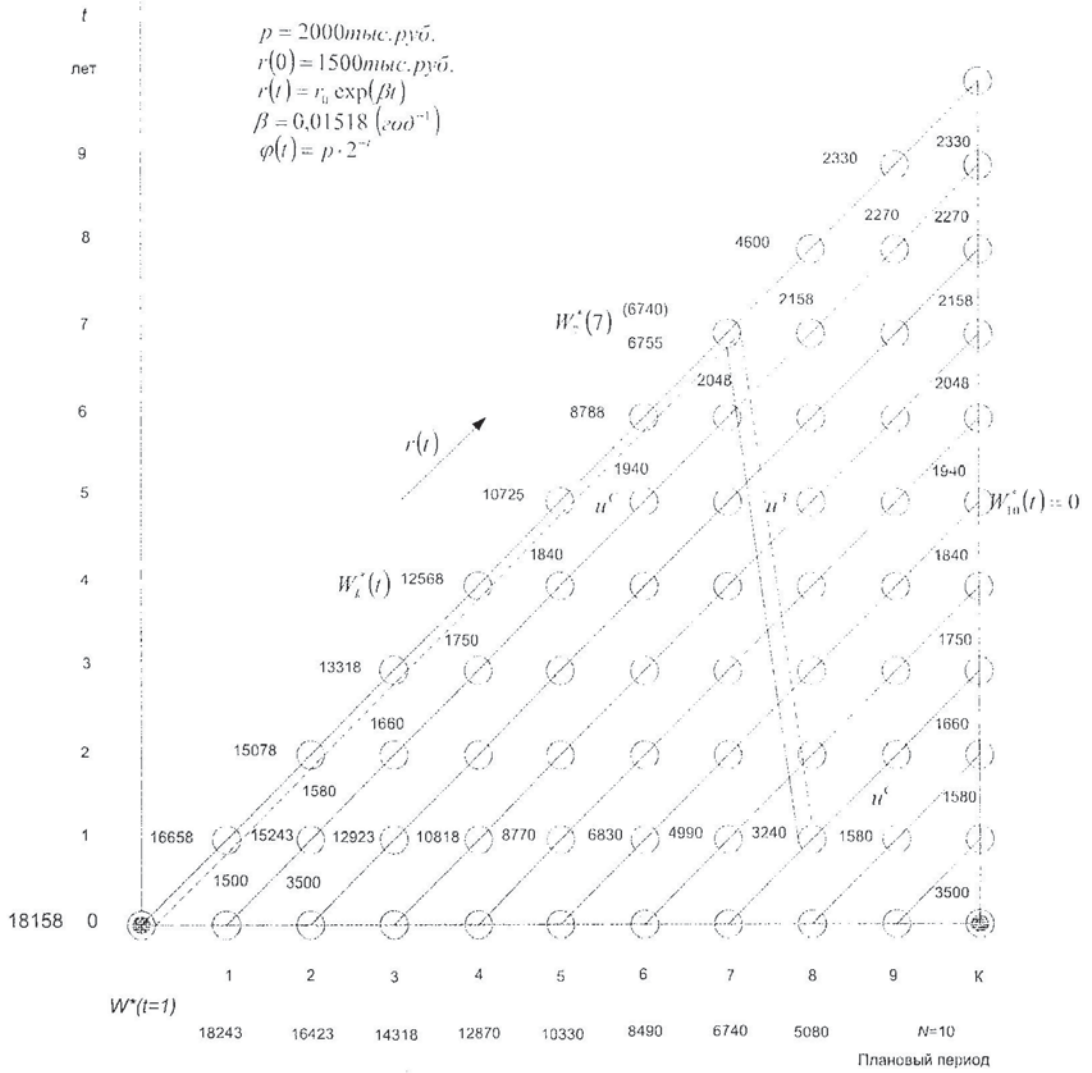

Рис. 2. График реализации рациональной политики замены автобусов по экономическим показателям

$$W^*_{10}(t_1 = 1) = \min\begin{Bmatrix}1580 \\ 2000 + 1500 - 1000\end{Bmatrix} = \min\begin{Bmatrix}1580 \\ 2500\end{Bmatrix} = 1580,\ U = U^C.$$

Значит, условное оптимальное решение в данном случае – сохранить.

Проведем аналогичные вычисления для других допустимых состояний автобуса, результаты которых отражены на рис. 2 и сведены в табл. 2.

Анализируя данные табл. 2, отмечаем, что на 7-ом шаге имеем $W_k^*(t) > W_k^*(t=1)$, то согласно выражению (2) следует принять управление u^3, т. е. в течение семи лет (шагов) следует сохранять автобус, а на 8-ом году заменить его новым. Таков оптимальный режим замены автобусов по экономическим показателям.

Рассмотренную задачу можно совершенствовать, если предположить, что ежегодные затраты на эксплуатацию, ликвидная и начальная стоимости зависят не только от возраста автомобиля t, но и от времени прошедшего с начала планового периода, тогда: $r_k(t)$ — затраты на эксплуатацию в течение k-го года, если со времени последней замены прошло t лет; $\varphi_k(t)$ — ликвидная стоимость автомобиля возраста t лет, если он продается в начале k-го года; p_k — начальная стоимость автомобиля, если он куплен в начале k-го года.

Таблица 2

k	0	1	2	3	4	5
$w_k^*(t)$	18158	16658	15078	13318	12568	10725
$W_k^*(t)=1$		18243	16423	14318	12870	10890
k	6	7	8	9	10	
$w_k^*(t)$	8778	6755	4600	2330	0	
$W_k^*(t)=1$	8890	6740	5080	3500		

В этом случае затраты на k-ом шаге зависят от выбранного управления. При управлении $U_k = U^C$ эти затраты равны:

$$W^C{}_k = r_k(t),$$

а при управлении $U_k = U^3$ составляют:

$$W^3{}_k = -\varphi_k(t) + p_k + r_k(0).$$

Пусть $W^*_k(t)$ — условные минимальные затраты за $n-k+1$ шагов с k-го по n-й включительно. Если к началу k-го шага возраст автомобиля составлял t лет, при условии, что был выбран оптимальный режим эксплуатации, то рекуррентное соотношение для $W^*_k(t)$ имеет вид:

$$W_k^*(t) = \min\begin{cases} r_k(t) + W_{k+1}^*(t+1) & \text{при } U_k = U^C \\ p_k(t) + r_k(0) - \varphi\ (t) + W_{k+1}^*(1) & \text{при } U_k = U^3 \end{cases}.$$

Верхняя строка системы представляет собой суммарные расходы при сохранении эксплуатируемого автобуса в k-ом году; вторая строка — приведенные расходы в случае замены эксплуатируемого автобуса новым (более совершенным).

Рассмотренная система действительна для случая, когда заменяют те автобусы, срок службы которых истек или который могут быть использованы в других целях. Если заменяемый автобус, срок службы которого не истек, списывается в металлолом, то во втором уравнении системы необходимо учесть дополнительные затраты $C(t)$, представляющие собой стоимость непогашенную амортизационными отчислениями. Величина $L_k(m)$ предполагает собой стоимость металлолома, равную 4-10% от первоначальной стоимости автобуса.

Если в процессе замены можно из нескольких конкурентноспособных вариантов выбрать один из наиболее рациональных, то эту задачу следует решать предварительно перед определением оптимальной альтернативы.

При расчетах необходимо иметь развернутые выражения величин $r_k(0)$ и $\varphi_k(t)$ — остаточной стоимости заменяемого автобуса. Выражение для $C(t)$ и $\varphi_k(t)$ — должны учитывать физический и моральный износ автобуса. Получение зависимостей для $r_k(t)$ и $\varphi_k(t)$ не представляет принципиальной трудности.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Авдонькин Ф. Н. Оптимизация изменения технического состояния автомобиля в процессе эксплуатации. — М.: Транспорт, 1993. — 350с.
2. Беллман Р. Динамическое программирование. — М.: Иностранная литература, 1960.
3. Калихман И. Л., Войтенко М. А. Динамическое программирование в примерах и задачах. — М.: Высшая школа, 1979. — 125 с.