

УДК 656.072

Сергей Владимирович Булатов, аспирант, направление подготовки 23.06.01 Техника и технологии наземного транспорта, ФГБОУ ВО «Оренбургский государственный университет»  
e-mail: bul.sergey2015@yandex.ru

**ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ ПАССАЖИРСКОГО АВТОТРАНСПОРТНОГО ПРЕДПРИЯТИЯ МЕТОДОМ ДИНАМИЧЕСКОГО ПРОГРАММИРОВАНИЯ**

*Предмет.* Подвижной состав пассажирского автотранспортного предприятия.

*Цели.* Обновление парка предприятия с учетом его возрастной структуры.

*Методология.* Используемый метод динамического программирования позволяет качественно и рационально провести обновление парка с максимальной прибылью для предприятия.

*Результаты.* Проведенный эксперимент показал, что подвижный состав (возраста более 10 лет невыгоден, а величина максимальной прибыли, определяемая функцией Беллмана  $f_{10}(7)$ , равняется 60.

*Выводы.* Эффективность динамического программирования обусловлена использованием рекуррентных формул, которые позволяют осуществить рациональный процесс поиска оптимальных вариантов решения задач, возникающих на предприятии.

**Ключевые слова:** подвижной состав, плановый период, система, прибыль, функция Беллмана.

Обновление парка пассажирского автотранспортного предприятия (ПАТП) новым современным подвижным составом одна из главных задач, требующая оптимального решения. Наступает момент, когда замена неисправных деталей узлов и агрегатов становится экономически невыгодной и встает вопрос о списании подвижного состава взамен на приобретение нового. Так как подвижной состав в процессе эксплуатации изнашивается, стареет физически и «морально», соответственно падает его производительность, растут эксплуатационные расходы и т. д. [1, 2, 5, 8, 9].

Рассмотрим плановый период из нескольких лет, вначале которого имеется один автобус фик-

сированного возраста. В процессе эксплуатации автобус «приносит» прибыль предприятию, требует эксплуатационных затрат и имеет остаточную стоимость, причем все перечисленные характеристики зависят от возраста подвижного состава. Задача ПАТП состоит в следующем: для каждого года в плановом периоде необходимо решить – сохранять имеющийся в этот момент автобус или продать его и купить новый так, чтобы суммарная прибыль за весь плановый период была максимальной. Переход системы  $S$  (автобуса) из одного состояния в другое за 1 год в зависимости от принятого решения можно изобразить графически (рисунок 1).

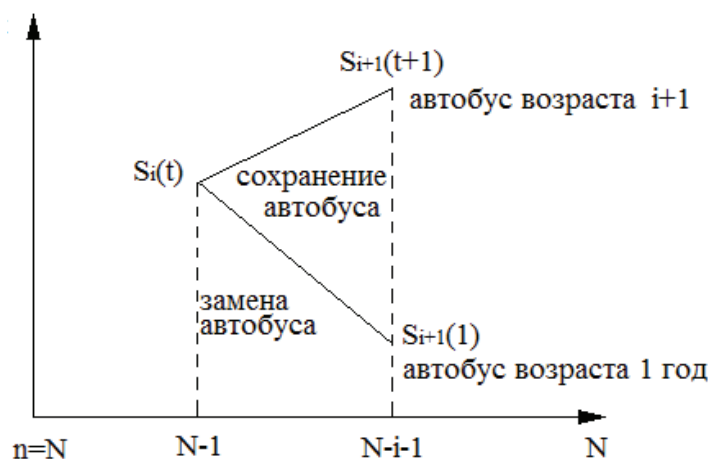


Рисунок 1. Переход системы  $S$  из нового состояния в состояние через 1 год

Введем в рассмотрение функцию  $f_n(t)$  – величину суммарного дохода за последние  $n$  лет планового периода при условии, что в начале этого периода из  $n$  лет имеется автобус возраста  $t$ . Функции  $f_1(t)$ ,  $f_2(t)$ , ...,  $f_n(t)$  учитывают вклад последующих шагов в общий эффект [3,4]. С помощью этих функций ведется анализ задач динамического программиро-

вания. Вычисление  $f_n(t_0)$  будет являться решением поставленной на ПАТП задачи. Предположим, что к началу последнего года планового периода  $n = 1$  у нас имеется автобус возраста  $t$ . В распоряжении у предприятия два варианта, которые и рассмотрим.

1. Сохранить автобус и, следовательно, получить за последний год прибыль:

$$Z(t) - U(t) \tag{1}$$

где  $t$  – возраст подвижного состава ( $t = 0$  – новый автобус,  $t = 1$  – автобус возраста 1 год и т. д.);

$Z(t)$  – доход, «приносимый» за 1 год автобусом возраста  $t$ , тыс. руб.;

$U(t)$  – эксплуатационные затраты за 1 год на автобус возраста  $t$ , тыс. руб.;

$N$  – длина планового периода, год.

Плановый период разбит на промежутки длиной в 1 год и в каждый из них решается задача сохранение или замены подвижного состава.

2. Продать имеющийся автобус и купить новый, что обеспечит в последний год прибыль:

$$S(t) - P + Z(0) - U(0) \tag{2}$$

где  $S(t)$  – остаточная стоимость автобуса возраста  $t$ , тыс. руб.;

$T$  – текущее время в плановом периоде, год;

$P$  – цена нового автобуса, тыс. руб.;

$t_0$  – начальный возраст автобуса, год.

Для принятия решения необходимо вычислить функцию Беллмана  $f_1(t)$  для нашего случая:

$$f_1(t) = \max \begin{cases} Z(t) - U(t) & \text{сохранение автобуса;} \\ S(t) - P + Z(0) - U(0) & \text{замена автобуса.} \end{cases} \tag{3}$$

Задача будет решена, если мы определим доход за весь плановый период, т. е. найдем значение функции  $f_N(t)$ . Вначале попытаемся установить связь между выражениями  $f_{n+1}$  и  $f_n$ .

Если связь между ними будет найдена, то последовательно, двигаясь с конца, где  $n = 1$ , и зная  $f_1(t)$ , сможем найти  $f_2(t), \dots, f_n(t), \dots, f_N(t)$  и тем самым решить задачу [6].

Таблица 1. Исходные данные

$t$	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$Z(t)$	17	17	17	16	16	15	15	14	14	13	12
$U(t)$	7	8	9	9	10	10	11	11	12	12	12
$\Delta$	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0

Тогда формулы (3 и 6) принимают вид:

$$f_1(t) = Z(t) - U(t) \text{ сохранение машины} \tag{7}$$

$$f_{n+1}(t) = \max \begin{cases} Z(t) - U(t) + f_n(t+1) & \text{сохранение автобуса;} \\ f_n(1) & \text{замена автобуса.} \end{cases} \tag{8}$$

Используя полученные формулы, вычислим зна-

Предположим, что с конца планового периода остается  $n + 1$  год; в нашем распоряжении имеется автобус возраста  $t$  и мы ищем оптимальное решение для периода длиной  $n + 1$  год.

Рассмотрим все возможные решения в «первом году» для автобуса возраста  $t$  и для каждого состояния системы найдем оптимальное решение в оставшейся части из  $n$  последних лет. Так мы получим решения на весь период из  $n + 1$  последних лет, лучшее из которых и будет условно оптимальным для всего периода. В случае сохранения автобуса прибыль за рассматриваемый период определяется выражением:

$$Z(t) - U(t) + f_n(n+1) \tag{4}$$

В случае замены автобуса аналогичным имеем:

$$S(t) - P + Z(0) - U(0) + f_n(1) \tag{5}$$

Для принятия окончательного решения вычислим функцию Беллмана следующего вида:

$$f_{n+1} = \max \begin{cases} Z(t) - U(t) + f_n(t+1) & \text{сохранение автобуса;} \\ S(t) - P + Z(0) - U(0) + f_n(1) & \text{замена автобуса.} \end{cases} \tag{6}$$

Рекуррентные формулы (3 и 6) позволяют реализовать концепцию динамического программирования и развернуть процесс нахождения оптимального решения с конца, последовательно находя  $f_1(t), f_2(t), \dots, f_n(t), \dots, f_N(t)$  для различных значений  $t$ .

Рассмотрим ситуацию на примере ПАТП г. Оренбурга. Функции  $Z(t), U(t)$  и значения  $\Delta = Z(t) - U(t)$  заданы в таблице 1.

Мы ограничились автобусом возраста  $t \leq 10$  лет, так как из таблицы 1 видно, что автобус возраста  $t > 10$  лет невыгоден.

значения функций Беллмана  $f_n(t)$  при различных  $n$  и  $t$  (таблица 2).

Чтобы понимать, в результате какого решения получается оптимальный доход, мы будем величину оптимального дохода, соответствующую политике замены, записывать особым цветом, например, красным. Итак, значение  $f_2(6)$  в таблице будет записано красным цветом. Можно показать, что  $f_2(7) = f_2(8) = f_2(9) = f_2(10) = 9$  и соответствует замене автобуса. В итоге черный

цвет в таблице соответствует политике сохранения автобуса, а красный – политике его замены. Построенная таблица 2 содержит ценную информацию и позволяет решать целый ряд задач. До-

пустим, вначале имеется автобус возраста 7 лет. Посмотрим, какое будет оптимальное решение для получения максимальной прибыли за 10 лет планового периода.

Таблица 2. Метод динамического программирования

$f_n(t)$ \ $t$	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$f_1(t)$	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
$f_2(t)$	19	17	15	13	11	9	9	9	9	9	9
$f_3(t)$	27	24	21	18	17	17	17	17	17	17	17
$f_4(t)$	34	30	26	24	24	24	24	24	24	24	24
$f_5(t)$	40	35	32	31	30	30	30	30	30	30	30
$f_6(t)$	45	41	39	37	36	35	35	35	35	35	35
$f_7(t)$	51	48	45	43	41	41	41	41	41	41	41
$f_8(t)$	58	54	51	48	48	48	48	48	48	48	48
$f_9(t)$	64	60	56	55	54	54	54	54	54	54	54
$f_{10}(t)$	70	65	63	61	60	60	60	60	60	60	60

Величина максимальной прибыли определяется функцией Беллмана  $f_{10}(7) = 60$ . Теперь найдем оптимальное решение, которое обеспечит эту прибыль. Так как  $f_{10}(7)$  вписано в таблицу красным цветом, то для достижения максимальной прибыли необходимо в первом году рассматриваемого периода заменить автобус на новый. По истечении одного года мы за 9 лет до конца планового периода будем иметь автобус возраста один год. Теперь надо действовать оптимально в оставшийся период, располагая автобусом возраста один год, т. е. найти  $f_9(1)$  из девяти лет. Из та-

блицы 2 видно, что  $f_9(1)$  – черное, следовательно, во втором году надо сохранить автобус. Рассматривая процесс по годам, замечаем:  $f_8(2)$  – черное,  $f_7(3)$  – черное,  $f_6(4)$  – черное,  $f_5(5)$  – красное. Последнее выражение ( $f_5(5)$  – красное) указывает на то, что по истечении пяти лет планового периода автобус надо менять на новый. Действуя далее оптимально, найдем последовательно:  $f_4(1)$  – черное,  $f_3(2)$  – черное,  $f_2(3)$  – черное,  $f_1(4)$  – черное. Итак, используя таблицу 2, мы найдем оптимальное решение, которое можно представить схемой, представленной на рисунке 2.

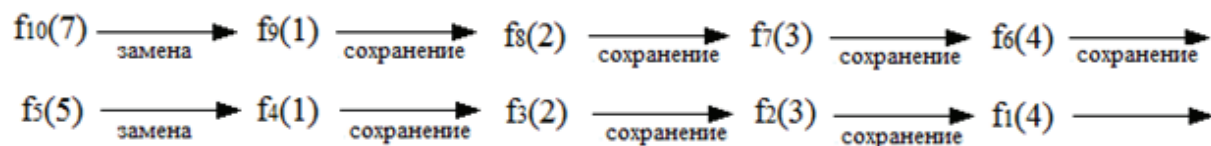


Рисунок 2. Оптимальное решение поставленной задачи

В том случае, если какие-либо автотранспортные предприятия примут решение о покупке поддержанного подвижного состава, то им необходимо будет включить в число возможных решений следующее ограничение: замена имеющегося в парке автобуса возраста  $t$  на автобус возраста  $t_1 < 5$ . Динамическое программирование позволяет учесть

все решения, которые могут возникнуть в процессе работы ПАТП [7, 10]. Эффективность данного метода обусловлена использованием рекуррентных формул (3 и 6), позволяющих найти оптимальный вариант для своевременного обновления парка с получением максимальной прибыли.

---

*Литература*

1. Булатов, С.В. Определение зависимости затрат на запасные части автомобилей ВАЗ от сроков эксплуатации / С.В. Булатов, О.В. Юсупова // Вестник Оренбургского государственного университета. – 2015. – № 4. – С. 148-153.
2. Булатов, С.В. Определение вероятности отказов подвижного состава на пассажирских автотранспортных предприятиях / С.В. Булатов // Наземные транспортно-технологические средства: проектирование, производство, эксплуатация: материалы I Всерос. заочной науч.- практ. конф. – Чита: ЗабГУ, 2016. – С. 267-270.
3. Гарифуллин, К.М. Управление затратами / К.М. Гарифуллин // Издательство Казанского государственного финансово-экономического института. – 2005. – № 5. – С. 40-56.
4. Горяева, И.А. Зависимость затрат на запасные части от возраста подвижного состава автомобильного транспорта / И.А. Горяева, Е.Н. Горяева // Вестник ЮУрГУ. – 2012. – № 44. – С. 185-186.
5. Дьячкова, О.М. Определение необходимого количества подвижного состава для внутригородских перевозок с использованием различных методик и при различной вместимости автобусов на маршрутах / О.М. Дьячкова, А.С. Рыжова, П.П. Володькин // Информационные технологии и инновации на транспорте. Материалы 2-ой Международной научно-практической конференции, под общей редакцией д.т.н., проф. А.Н. Новикова (17–18 мая 2016 года, ФГБОУ ВО «ОГУ имени И.С. Тургенева»). – Орел: ФГБОУ ВО «ОГУ имени И.С. Тургенева», 2016. – С. 383-393.
6. Ким, Б.Г. К вопросу о методике выбора критерия оптимизации потребного количества элементов резерва парков машин / Б.Г. Ким, Р. Насруллоева // Транспортные системы Сибири. Развитие транспортной системы как катализатор роста экономики государства. Международная научно-практическая конференция (Красноярск, 7–8 апреля 2016 г.): сб. науч. тр. : в 2 ч. Ч. 2 / под общ. ред. В.В. Минина. – Красноярск: Сиб. федер. ун-т, 2016. – С. 434-437.
7. Кулев, А.В. Повышение эффективности функционирования городского пассажирского транспорта / А.В. Кулев, А.Н. Новиков, М.В. Кулев, Н.С. Кулева // Информационные технологии и инновации на транспорте. Материалы 2-ой Международной научно-практической конференции, под общей редакцией д.т.н., проф. А.Н. Новикова (17–18 мая 2016 года, ФГБОУ ВО «ОГУ имени И.С. Тургенева»). – Орел: ФГБОУ ВО «ОГУ имени И.С. Тургенева», 2016. – С. 378-383.
8. Ляхов, Е.Ю. Исследование марочной и возрастной структуры автобусного парка г. Рыбница и Рыбницкого района / Е.Ю. Ляхов, М.Р. Вудвуд // Транспортные системы Сибири. Развитие транспортной системы как катализатор роста экономики государства. Международная научно-практическая конференция (Красноярск, 7–8 апреля 2016 г.): сб. науч. тр. : в 2 ч. Ч. 2 / под общ. ред. В.В. Минина. – Красноярск: Сиб. федер. ун-т, 2016. – С. 431-434.
9. Родионов, Ю.В. Анализ условий эксплуатации автомобилей / Ю.В. Родионов, Е.А. Островская // Проблемы качества и эксплуатации автотранспортных средств: Эксплуатация и развитие автомобильного транспорта [Текст]: материалы XII междунар. заочн. науч.-техн. конф. 15 апреля 2016 г., Пенза / [редкол.: Э.Р. Домке (отв. ред.) и др.]. – Пенза: ПГУАС, 2016. – С. 146-152.
10. Степанов, А.С. Прогнозирование отказов подсистем автомобильного пассажирского транспорта / А.С. Степанов // Транспортные и транспортно-технологические системы: материалы Международной научно-технической конференции. – Тюмень: ТюмГНГУ, 2016. – С. 287-293.