Math-Net.Ru

Общероссийский математический портал

В. С. Лубенцова, А. В. Ефремов, Моделирование производственной программы автотранспортного предприятия с использованием марковских случайных процессов, *Вестн. Сам. гос. техн. ун-та. Сер. Физ.-мат. науки*, 2002, выпуск 16, 155–160

DOI: <https://doi.org/10.14498/vsgtu114>

Использование Общероссийского математического портала Math-Net.Ru подразумевает, что вы прочитали и согласны с пользовательским соглашением

<http://www.mathnet.ru/rus/agreement>

Параметры загрузки:

IP: 3.85.7.115

26 апреля 2023 г., 10:29:15

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОИЗВОДСТВЕННОЙ ПРОГРАММЫ АВТОТРАНСПОРТНОГО ПРЕДПРИЯТИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МАРКОВСКИХ СЛУЧАЙНЫХ ПРОЦЕССОВ

Проведён анализ процесса эксплуатации группы автомобилей как случайного процесса с дискретными состояниями и непрерывным временем (пробегом). Приведены результаты расчётов основных показателей производственной программы автотранспортного предприятия (АТП): коэффициента выпуска автомобиля, коэффициента технической готовности, годового пробега автомобиля и провозных возможностей АТП.

Развитие рыночных отношений в экономике обуславливает необходимость перехода к принципам управления, наиболее соответствующим современным условиям, принципам логистики, дающим возможность гибкого реагирования производственных и торговых систем на быстро изменяющиеся приоритеты потребителей.

Принципиальная новизна логистического подхода к управлению АТП состоит в том, что оно рассматривается как внутрипроизводственная логистическая система на макро- и микроуровне. На макроуровне АТП выступает в качестве элемента макрологистических систем. На этом уровне АТП обеспечивают ритм работы этих систем, являясь источниками транспортных услуг. На микроуровне АТП представляет собой совокупность подсистем, находящихся в отношениях и связях друг с другом и образующих целостность. Эти подсистемы обеспечивают вхождение материального потока в микрологистическую систему, прохождение внутри неё и выход из системы в виде транспортных услуг.

Моделирование производства транспортных услуг, его материального обеспечения и надёжности работы подвижного состава, участвующего в данном производстве, необходимо рассматривать как единый процесс, обеспечивающий получение достоверной оценки возможностей АТП по созданию конкурентоспособной продукции (транспортных услуг).

Основными итоговыми показателями расчёта производственной программы по эксплуатации подвижного состава являются коэффициент технической готовности, коэффициент выпуска, годовые пробеги автомобилей и провозные возможности АТП. Величина провозных возможностей АТП в значительной степени зависит от коэффициента выпуска автомобилей.

Коэффициент выпуска автомобилей, по существу, является вероятностью безотказной работы автомобилей. Действительно, вероятность безотказной работы – вероятность того, что в пределах заданной наработки отказ объекта не возникнет. Статистически вероятность безотказной работы $P(t)$ определяется отношением количества оставшихся к моменту наработки t работоспособных объектов $N(t)$ к общему числу объектов $N(0)$:

$$P(t) = \frac{N(t)}{N(0)} = 1 - \frac{N(0) - N(t)}{N(0)} = 1 - \frac{r(t)}{N(0)}, \quad (1)$$

где $r(t)$ – количество отказавших объектов к моменту t .

Коэффициент выпуска автомобилей представляет собой отношение количества эксплуатирующихся к моменту t автомобилей A_3 к общему количеству автомобилей в парке $A_{\text{сп}}$:

$$\alpha_v = \frac{A_3}{A_{\text{сп}}} = 1 - \frac{A_{\text{сп}} - A_3}{A_{\text{сп}}} = 1 - \frac{A_{\text{пр}}}{A_{\text{сп}}}, \quad (2)$$

где $A_{\text{пр}}$ – количество автомобилей, которые к моменту t простаивают по различным причинам (находятся в ремонте, техническом обслуживании, без водителя, без шин; бездорожье и др.).

Простое сравнение формул (1) и (2) позволяет говорить о том, что коэффициент выпуска автомобилей и вероятность безотказной работы автомобилей – понятия адекватные.

Для моделирования коэффициента выпуска автомобилей воспользуемся аппаратом марковских дискретных случайных процессов с непрерывным временем. Представим автомобиль как некоторую систему S с дискретными состояниями $S_0, S_1, \dots, S_n$, которая переходит из состояния в состояние под влиянием случайных событий (отказов). На стадии планирования работы автомобиля целесообразно рассматривать следующие состояния, в которых он может находиться в процессе эксплуатации, и которые характеризуются целодневными простоями: S_0 – исправен, работает; S_1 – находится в капитальном ремонте (КР); S_2 – проходит ТО-2; S_3 – находится в текущем ремонте (ТР); S_4 – исправен, не работает по организационным причинам

(без водителя, без шин, без запасных частей); S_5 – не работает, снятие агрегата для отправки в капитальный ремонт; S_6 – не работает, списание агрегата, замена на новый; S_7 – исправен, не работает (выходные и праздничные дни); S_8 – списывается.

Для анализа процесса эксплуатации автомобиля как случайного процесса построим граф состояний автомобиля (рис. 1).

Рассматриваемые состояния автомобиля S_j характеризуются средним числом дней пребывания автомобиля в каждом состоянии D_j . Показатели D_j находят отражение в статистической отчётности АТП. Отношение

$$P_j = \frac{D_j}{D_k}, \quad (3)$$

Р и с . 1. Граф состояний автомобиля

где D_k – число календарных дней в году, можно

трактовать как вероятность нахождения автомобиля в j -том состоянии.

Вероятности состояний автомобиля $P_1, \dots, P_j, \dots, P_n$ как функции пробега в случае непрерывных марковских цепей удовлетворяют уравнениям Колмогорова, записываемым в виде

$$\begin{cases} \frac{dP_0(L)}{dL} = -l_c \sum_{i=1}^n I_{0i}(L)P_0(L) + \sum_{i=1}^{n-1} m_{i0}(L)P_i(L); \\ \frac{dP_i(L)}{dL} = l_c I_{0i}(L)P_0(L) - m_{i0}(L)P_i(L), \quad i = \overline{1, n-1}; \\ \frac{dP_n(L)}{dL} = l_c I_{0n}(L)P_0(L), \end{cases} \quad (4)$$

где $P_i(L)$ – вероятность нахождения автомобиля в i -том состоянии ($i = \overline{0, n}$); $I_{0i}(L)$ – интенсивность перехода автомобиля из нулевого в i -тое состояние; $m_{i0}(L)$ – интенсивность перехода автомобиля из i -того в нулевое состояние; l_c – коэффициент, отражающий связь между наработками в днях и километрах пробега (среднесуточный пробег). Вероятность нахождения автомобиля в состоянии “исправен, работает” $P_0(L)$ представляет собой коэффициент выпуска $\alpha_v(L)$, а сумма вероятностей $P_0(L) + P_4(L) + P_7(L)$ – коэффициент технической готовности автомобиля $\kappa_{тг}$.

Согласно расчётам, проведённым на основе статистических данных эксплуатации автомобиля, все потоки, переводящие автомобиль из состояния в состояние, являются пуассоновскими или сводятся к ним путём рассмотрения процесса эксплуатации на малых интервалах пробега (1 – 2 тыс. км) и корректировки исходного потока отказов деталей для исключения последствий. Таким образом, процесс, протекающий в системе, является марковским.

В таблице приведены формулы интенсивностей перехода для расчёта $\alpha_v(L)$ и $\kappa_{тг}$.

Нужно учесть, что для расчёта производственной программы АТП необходимо за частую определять показатели работы группы автомобилей определённой модели j – возраста (коэффициент выпуска и годовой пробег автомобиля j – возрастной группы). Для описания процесса функционирования группы автомобилей может быть использован метод динамики средних. Удобство его заключается в том, что, зная возможные состояния одного (условного) автомобиля, можно моделировать процесс функционирования группы из любого числа автомобилей. Схема, изображающая процесс работы условного автомобиля, аналогична схеме на рис. 1 лишь с той разницей, что через I_{ij} и m_{ij} обозначены средние интенсивности потоков событий, переводящих автомобиль из состояния S_i в состояние S_j и наоборот. При этом каждое состояние характеризуется средней численностью $N_j(t)$, находящихся в нём в момент времени t . Величина $N_j(t)$ для любого t представляет собой случайную величину, а вообще, при меняющемся t – случайную функцию времени.

Интенсивности перехода I_{ij} и m_{ji}

Интенсивность	Формула, принятая в расчёте	Примечание
Исправен – капитальный ремонт	$I_{01}(L) = \frac{1}{\sqrt{2ps}} e^{-\left(\frac{L-m}{s}\right)^2}$	$m = 50, s = 5$
Исправен – проходит ТО-2	$I_{02}(L) = (\bar{L}_{\text{то}})^{-1}$	$\bar{L}_{\text{то}}$ – средняя периодичность ТО-2, $\bar{L}_{\text{то}} = 10 \text{ тыс. км}$
Исправен – находится в ТР	$I_{03}(L) = \frac{F}{L_{\text{инт}}}$	F – число ДЛН автомобиля, $F = 35$ шт., $L_{\text{инт}}$ – рассматриваемый интервал пробега, $L_{\text{инт}} = 100$ тыс. км
Исправен – простаивает по организационным причинам	$I_{04}(L) = (l_c \bar{T}_{\text{пр}})^{-1}$	$\bar{T}_{\text{пр}}$ – среднее время между простоями, $\bar{T}_{\text{пр}} = 7$ дн.; l_c – среднесуточный пробег, $l_c = 0,25$ тыс. км
Исправен – капитальный ремонт агрегата	$I_{05}(L) = \frac{A}{L_{\text{инт}}}$	A – число агрегатов автомобиля, $A = 5$ шт.
Исправен – списание агрегата	$I_{06}(L) = \frac{A}{L_{\text{инт}}}$	
Исправен – не работает (праздничные и выходные дни)	$I_{07}(L) = (l_c \bar{T}_{\text{вых}})^{-1}$	$\bar{T}_{\text{вых}}$ – среднее время между простоями, $\bar{T}_{\text{вых}} = 7$ дн.
Исправен – списание автомобиля	$I_{08}(L) = (L - L_0) / d^2$	$d^2 = 1600 \text{ тыс. км}$, $L_0 = 270 \text{ тыс. км}$, $L > L_0$
Капитальный ремонт – исправен	$m_{10}(L) = (\bar{T}_{\text{кр}})^{-1}$	$\bar{T}_{\text{кр}}$ – средняя продолжительность капитального ремонта, $\bar{T}_{\text{кр}} = 20$ дн.
ТО-2 – исправен	$m_{20}(L) = (\bar{T}_{\text{то}})^{-1}$	$\bar{T}_{\text{то}}$ – средняя продолжительность ТО-2, $\bar{T}_{\text{то}} = 1$ дн.
Находится в ТР – исправен	$m_{30}(L) = (\bar{T}_{\text{т}})^{-1}$	$\bar{T}_{\text{т}}$ – средняя продолжительность ТР, $\bar{T}_{\text{т}} = 1$ дн.
Простаивает по организационным причинам – исправен	$m_{40}(L) = (\bar{T}_{\text{п}})^{-1}$	$\bar{T}_{\text{п}}$ – средняя продолжительность простоя, $\bar{T}_{\text{п}} = 1$ дн.
Капитальный ремонт агрегата – исправен	$m_{50}(L) = (\bar{T}_{\text{кр}}^a)^{-1}$	$\bar{T}_{\text{кр}}^a$ – средняя продолжительность простоя при снятии агрегата, $\bar{T}_{\text{кр}}^a = 1$ дн.
Списание агрегата – исправен	$m_{60}(L) = (\bar{T}_{\text{р}}^c)^{-1}$	$\bar{T}_{\text{р}}^c$ – среднее время замены агрегата, $\bar{T}_{\text{р}}^c = 1$ дн.
Исправен, не работает (праздничные и выходные дни) – исправен, работает	$m_{70}(L) = (\bar{T}_{\text{пр}})^{-1}$	$\bar{T}_{\text{пр}}$ – средняя продолжительность простоя, $\bar{T}_{\text{пр}} = 1$ дн.

Аналогично случаю с одним автомобилем, для группы автомобилей все потоки, переводящие условный автомобиль из состояния в состояние, с достаточной степенью точности согласуются с пуассоновскими, и система дифференциальных уравнений для средних численностей состояний принимает следующий вид:

$$\begin{cases} \frac{dN_0(L)}{dL} = -l_c \sum_{i=1}^n I_{0i}(L)N_0(L) + \sum_{i=1}^{n-1} m_{i0}(L)N_i(L); \\ \frac{dN_i(L)}{dL} = l_c I_{0i}(L)N_0(L) - m_{i0}(L)N_i(L), \quad i = \overline{1, n-1}; \\ \frac{dN_n(L)}{dL} = l_c I_{0n}(L)N_0(L). \end{cases} \quad (5)$$

Отношение $N_0(L)/N$ равно коэффициенту выпуска автомобилей определённой модели на пробеге L с начала их эксплуатации, а отношение $(N_0(L) + N_4(L) + N_7(L))/N$ – коэффициенту технической готовности автомобилей.

В результате исследования группы из 16 автомобилей одной модели и возраста были получены следующие результаты (на конец исследуемого интервала пробега): $\alpha_v = 0,653$; $\kappa_{гг} = P_0 + P_4 + P_7 = 0,839$. Графики их поведения приведены на рис. 2, 3.

Р и с . 2. График зависимости коэффициента выпуска от величины пробега

Р и с . 3. График зависимости коэффициента технической готовности от величины пробега

В ходе решения системы дифференциальных уравнений определяется коэффициент выпуска α_v через интервал пробега ΔL , равный 1000 км. Таким образом, нам известны значения α_v на начало года и через каждую тысячу километров пробега в течение года для автомобилей каждой j -той возрастной группы:

$$\alpha_v(L_{0j}), \alpha_v(L_{0j} + \Delta L), \alpha_v(L_{0j} + 2\Delta L), \dots, \alpha_v(L_{0j} + k\Delta L), \dots, \quad (6)$$

где $j = 1, \dots, h, k = 1, 2, \dots$

Период рабочего времени $ДР$, за который автомобиль выполнит пробег, равный 1000 км, равен

$$ДР = \Delta L / l_c. \quad (7)$$

К интервалов пробега, равных ΔL , автомобиль выполнит за $ДК_{kj}$ календарных дней, определяемых формулой

$$ДК_{kj} = \sum_{k=1}^K \Delta ДК_{kj}, \quad (8)$$

где $\Delta ДК_{kj}$ – период календарного времени, в течение которого автомобиль j -той возрастной группы реализует k -тый по счету интервал пробега, равный ΔL .

Годовой пробег автомобиль выполняет $ДК$ календарных дней, $ДК = 365$ дн. Допустим, что на 365-й день величина годового пробега автомобиля попадает в K -тый по счету интервал ΔL (рис. 4).

Годовой пробег автомобиля L_{rj} (см. рис. 4) складывается из $(K - 1)$ интервалов ΔL и величины Δl_j , соответствующей какой-то части K -того по счету интервала ΔL :

$$L_{rj} = (K - 1)\Delta L + \Delta l_j, \quad (9)$$

Определим величину Δl_j . Для этого рассчитаем число календарных дней $\Delta ДК$, за которые автомобиль выполнит пробег Δl_j :

$$\Delta ДК_j = ДК - ДК_{(K-1)j}, \quad (10)$$

где $ДК_{(K-1)j} = \sum_{k=1}^{K-1} \Delta ДК_{kj}$.

Пробег автомобиля Δl_j j -того возраста за период $\Delta ДК_j$ определяется по формуле

$$\Delta l_j = \Delta ДК_j l_c (a_b (L_{0j} + (K - 1)\Delta L) + a_b (L_{0j} + K\Delta L)) / 2. \quad (11)$$

Расчет производится для всех возрастных групп каждой модели подвижного состава. Этот способ определения годового пробега позволяет снизить ошибку, получаемую в ходе аппроксимации данных α_b на 10 - 16%, и тем самым повысить достоверность прогнозов годового пробега.

Для условного автомобиля годового пробег составил $L_r = 59,51$ тыс. км.

Провозные возможности автотранспортного предприятия определяются по формулам

$$P = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m q_i g_i b_i L_{ij}; \quad (12)$$

$$Q = \sum_{i=1}^n \frac{P_i}{l_{cpi}}, \quad (13)$$

где L_{ij} – годового пробег автомобиля j -того возраста i -той модели, тыс. км; q_i – грузоподъемность автомобиля i -той модели, т; g_i – коэффициент использования грузоподъемности автомобиля i -той модели; b_i – коэффициент использования пробега автомобиля i -й модели; l_{cpi} – среднее расстояние перевозки тонны груза, тыс. км; P_i – грузооборот, выполняемый автомобилями i -той модели, тыс. ткм; Q – объем перевозок АТП, тыс. т; P – грузооборот АТП, тыс. ткм.

Для исследуемой группы автомобилей эти показатели составили $P = 685551$ ткм; $Q = 22852$ т при следующих значениях коэффициентов: $q = 2$ т; $g = 0,9$; $b = 0,4$; $l_{cpi} = 30$ тыс. км.

Результаты прогноза коэффициентов выпуска, годовых пробегов, провозных возможностей служат основанием для расчета остальных показателей производственной программы по эксплуатации подвижного состава. Данный подход к прогнозированию основных показателей производственной программы обеспечивает комплексный учет надежности и интенсивности эксплуатации подвижного состава, позволяет отказаться от циклового метода расчета показателей производственной программы.

Р и с . 4. Временная эпюра случайной ситуации, сложившейся при определении годового пробега L_{rj} автомобиля j -той возрастной группы.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Лукинский В.С., Бережной В.И., Бережная Е.В., Цвиринько И.А.* Логистика автомобильного транспорта: концепция, методы, модели. М.: Финансы и статистика, 2000. 280 с.
2. *Смехов А.А.* Основы транспортной логистики. М.: Транспорт, 1995. 197 с.
3. *Сергеев В.И.* Менеджмент в бизнес-логистике. М.: Филинь, 1997. 772 с.
4. *Сергеев В.И.* Логистика в бизнесе. М.: ИНФРА-М, 2001. 608 с.