

## МАРКОВСКАЯ МОДЕЛЬ ПЕРИОДИЧНОСТИ ДИАГНОСТИРОВАНИЯ УЗЛОВ И АГРЕГАТОВ

Чернявский А.И., Строганов В.Ю.

Станции технического обслуживания в настоящее время получили широкое распространение [1 – 3]. Спрос на услуги постоянно возрастает. Это объясняется рядом факторов, а именно: зачастую создаваемые предприятия не планируют формировать ремонтную базу, рассчитывая на услуги автосервиса; для снижения себестоимости действующие предприятия освобождаются от ремонтных цехов; потребители новейших моделей не могут и не хотят ремонтировать их сами, стараясь избежать дополнительных затрат на специализированное оборудование и обучение ремонтников.

Любое авторемонтное предприятие представляет собой систему, т.е. совокупность взаимосвязанных и взаимодействующих компонентов. В нем движутся материальные, финансовые и информационные потоки. На нее воздействуют различные внешние факторы. При этом процесс управления имеет циклический характер и содержит множество этапов (рисунок 1.).

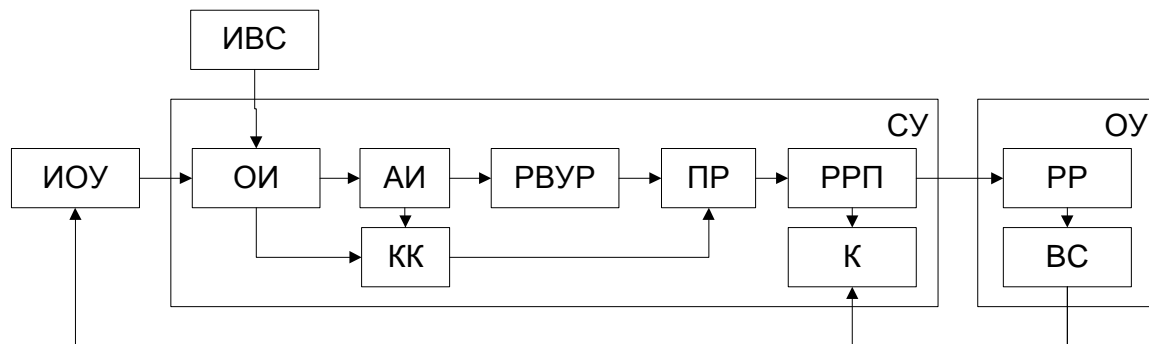


Рисунок 1 - Этапы процесса управления

К основным этапам относятся: обработка исходной информации (ОИ) об объекте управления (ИОУ) и внешней среде (ИВС), анализ информации (АИ) и выбор критериев качества, разработка вариантов управленческих решений (РВУР), принятие управленческого решения (ПР), разработка руководящего предписания (РРП). В объекте управления осуществляется реализация принятого решения (РР), вследствие чего происходит изменение состояния объекта управления (ИС). Изменение состояния объекта управления (ОУ) контролируется в системе управления (СУ) в блоке контроля (К), в котором сравниваются параметры измененного состояния объекта управления с параметрами, отраженными в руководящем предписании.

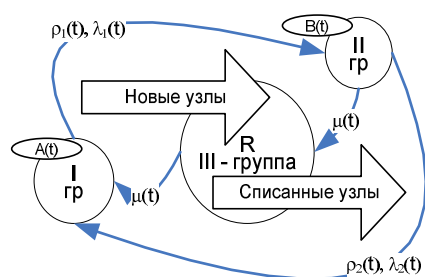
Процесс управления – это воздействие на систему и ее элементы, которое обеспечивает ее эффективное функционирование. С этой точки зрения эффективное функционирование предприятия – достижение наилучших результатов при

рациональном использовании его ограниченных ресурсов в соответствии с целями предприятия.

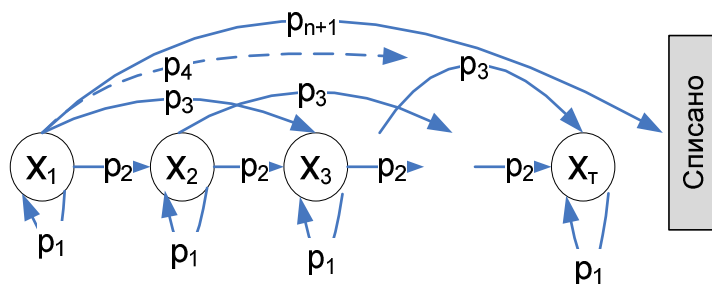
Так, для определения оптимальной периодичности диагностирования узлов была разработана модель (рисунок 2, а.), описывающая изменение эксплуатационного состояния. Граф этой модели приведен на рисунок 2, б).

Все узлы, находящиеся в эксплуатации, были разбиты на три группы:

- узлы, по своим параметрам удовлетворяющие нормативам, соответствующим сезону эксплуатации (группа I);
- узлы, сохраняющие работоспособность, но по своим параметрам не удовлетворяющие действующим нормативам (группа II);
- узлы, находящиеся в ремонте, новые узлы, подготавливаемые к эксплуатации и узлы, подлежащие списанию (буферная группа III).



а) эксплуатационные состояния



б) граф-схема состояний узлов

Рисунок 2 - Марковская модель изменения состояний узлов

В модели были приняты следующие обозначения:

$A(t)$ ,  $B(t)$  - распределение узлов по времени нахождения в эксплуатации соответственно в I, II и III группах;

$\lambda_1(t)$  - соответственно плотность распределения и интенсивность потока переходов узлов из группы I в группу II;

$\lambda_2(t)$  - соответственно плотность распределения и интенсивность потока переходов узлов из группы II в группу I;

$\mu(t)$  - плотность потока выхода в ремонт или на списание и плотность потока поступлений новых и отремонтированных узлов в эксплуатацию.

Приняты обозначения:  $A(t)$  - распределение узлы в группе A по времени эксплуатации с момента перехода в данную группу;  $B(t)$  - распределение в группе B по времени эксплуатации с момента перехода узлы в данную группу. В работе получены аналитические выражения для  $A(t)$  и  $B(t)$  как при отсутствии, так и при наличии системы управления надежностью узлы по состоянию. Эти решения также описывают долю узлов, находящихся в предотказном состоянии. Эта доля зависит как от периодичности проведения диагностирования, так и от параметров законов

распределения для функций вероятности, являющихся образующими для  $\lambda_1(t)$  и  $\lambda_2(t)$ . В простейшем варианте (без диагностирования) эти выражения имеют вид:

$$A(t)=A_0P_1(t), B(t)=B_0P_2(t)e^{-\mu t}. \quad (1)$$

Сбор данных проводился за большой промежуток времени по формулярам автомобилей на предприятиях, поддерживавших высокий уровень автоматизации производственной деятельности [1, 4 - 8].

В работе также использовалась модель, целью построения которой была оценка оптимальной периодичности проведения проверок состояния тормозных барабанов, и шаг расточки барабанов. Этот шаг выбирается с целью минимальных потерь ресурса барабана и затрат рабочего времени на их расточку в соответствии со статистическими данными (замеров износа), полученными по каждому конкретному предприятию. Построение необходимой модели проведено с использованием граф-схемы, описывающей дискретный ряд состояний объекта с тем или иным набором функций перехода между этими состояниями - вершинами графа (рисунок 2,б). За вершины приняты моменты времени, соответствующие фактам механической обработки деталей. Для нахождения функций перехода между состояниями (определяются в каждом конкретном случае для различных деталей) необходимы статистические данные об изменении технического состояния детали в реальных условиях эксплуатации. При этом необходимо учитывать воздействие на адекватность описания модели краевых условий задачи, таких как разброс значений геометрических параметров новой детали в момент установки на автомобиль, при ее списании и т.д.

Для задачи идентификации состояний узлов предложена модель скрытой Марковской цепи, которая позволяет классифицировать состояния по косвенным признакам на основе накопленной статистики [4 - 8]. Модель представляет кортеж  $SMM = \{S, V, \lambda\}$ ,  $\lambda = (A, B, \pi)$ , где:

1.  $S = \{S_1, S_2, \dots, S_N\}$  - множество состояний модели, где  $N$  - количество состояний,  $q_t$  - текущее состояние в момент времени  $t$ .

2.  $V = \{v_1, v_2, \dots, v_M\}$  - алфавит наблюдаемой последовательности.

3.  $A = \|a_{ij}\|$  - матрица вероятностей переходов, где  $a_{ij}=P[q_{t+1}=S_j | q_t=S_i]$ ,  $1 \leq i, j \leq N$ .

4.  $B = \|b_j(k)\|$  - распределение вероятностей появления символов в  $j$ -том состоянии, где  $b_j(k)=P[v_k | q_t=S_j]$ ,  $1 \leq j \leq N$ ,  $1 \leq k \leq M$ .

5.  $\pi_i=P[q_1=S_i]$ ,  $1 \leq i \leq N$ .

SMM генерирует наблюдаемую последовательность:  $O_1, O_2, \dots, O_T$ , где  $O_t \in V$ ,  $T$  - длина последовательности.

Алгоритм генерации последовательности включает:

Шаг 1. Выбираем начальное состояние  $q_1=S_i$  в соответствии с распределением  $\pi$ .

Шаг 2. Устанавливаем  $t=1$ .

Шаг 3. Выбираем  $O_t=v_k$  в соответствии с распределением  $b_j(k)$  в состоянии  $S_i$ .

Шаг 4. Переводим модель в новое состояние  $q_{t+1}=S_j$  в соответствии с матрицей переходов  $\|a_{ij}\|$  с учетом текущего состояния  $S_i$ .

Шаг 5. Устанавливаем время  $t:=t+1$ ; возвращаемся к шагу 3, если  $t < T$ ; иначе – конец алгоритма.

На основе представленной модели в диссертации решается задача: Задана наблюдаемая последовательность  $O_1, O_2, \dots, O_T$  и модель  $\lambda=(A, B, \pi)$ . Необходимо вычислить  $P(O|\lambda)$  - вероятность того, что данная наблюдаемая последовательность построена именно для данной модели.

Рассмотрим вариант подсчета вероятности появления последовательности наблюдений для каждой возможной последовательности состояний модели на примере одной последовательности состояний  $Q=\{q_1, q_2, \dots, q_T, \}$ , где  $q_1$  - начальное состояние модели. Вероятность появления последовательности  $O$  равна

$$P(O|Q, \lambda) = \prod_{t=1}^T P(O_t | q_t, \lambda)$$

, где имеет место статистическая независимость наблюдений. Вероятность совмещения  $O$  и  $Q$ , то есть вероятность их одновременного проявления, выражается произведением  $P(O, Q | \lambda) = P(O | Q, \lambda) \cdot P(Q, \lambda)$ .

Вероятность появления  $O$  - это сумма вероятностей по всем возможным комбинациям

$$P(O | \lambda) = \sum_Q P(O | Q, \lambda) \cdot P(Q, \lambda)$$

состояний  $q$  системы:

Для решения задачи предлагается использовать алгоритмы прямого и обратного хода. При этом  $\alpha_t(i)$  определим как  $\alpha_t(i) = P(O_1, O_2, \dots, O_t, q_t = S_i | \lambda)$ , то есть вероятность того что для заданной модели  $\lambda$  к моменту времени  $t$  наблюдалась последовательность  $O_1, O_2, \dots, O_t$  и в момент  $t$  система находится в состоянии  $S_i$ .

Для поиска значения  $\alpha_t(i)$  предлагается рекуррентная схема:

1) Инициализация:  $\alpha_1(i) = \pi_i b_i(O_1), 1 \leq i \leq N$ .

2) Индукция:  $\alpha_{t+1}(j) = \left[ \sum_{i=1}^N \alpha_t(i) a_{ij} \right] b_j(O_{t+1}), 1 \leq t \leq T-1, 1 \leq j \leq N$ .

3) Завершение:  $P(O | \lambda) = \sum_{i=1}^N \alpha_T(i)$ .

Оптимизируемая система рассматривается как совокупность  $N$  типов нерезервированных сменных модулей, для каждого из которых заданы стоимость одного модуля ( $w$ ), а также значения интенсивности внезапного отказа в отключенном ( $\lambda_0$ ) и включенном ( $\lambda_1$ ) состояниях. Систему характеризуют суммарная стоимость ( $W$ ) и вероятность обеспеченности запасными частями ( $P$ ) при известных временах нахождения системы в выключенном ( $t_0$ ) и включенном ( $t_1$ ) состояниях.

Рассмотрим две постановки оптимизационной задачи.

Задача 1. Найти количество запасных модулей каждого типа ( $z$ ) для минимизации стоимости запасных частей при ограниченной вероятности обеспечения ЗИП:

$$\begin{cases} \vec{z} = \mathbf{arg\ min}(\vec{w} \cdot \vec{z}) \\ P \geq Pz \end{cases}, \quad (2)$$

где  $Pz$  – заданное значение вероятности обеспечения ЗИП.

Задача 2. Найти количество запасных модулей каждого типа ( $z$ ), для максимизации вероятности обеспечения ЗИП при ограниченной стоимости:

$$\begin{cases} \vec{z} = \mathbf{arg\ max}(P) \\ \vec{w} \cdot \vec{z} \leq Wz \end{cases}, \quad (3)$$

где  $Wz$  – заданное значение стоимости ЗИП.

В задачах (2) и (3) вероятность обеспеченности системы ЗИП составляет

$$P = \prod_{n=0}^{N-1} \left[ e^{-s_n} \left( 1 + \sum_{m=1}^{z_n} (s_n)^m / m! \right) \right], \quad (4)$$

где  $s_n = (\lambda 0_n \cdot t_0 + \lambda 1_n \cdot t_1) \cdot x_n$ ;  $x_n$  – количество модулей  $n$ -го типа (без учёта ЗИП) в системе;  $\lambda 0_n$ ,  $\lambda 1_n$  – интенсивности отказов модуля  $n$ -го типа.

Задачи (2) и (3) относятся к классу нелинейных целочисленных оптимальных задач с неотрицательными аргументами и характеризуются следующими особенностями:

- с помощью логарифмирования выражения (4) задачи могут быть приведены к сепарабельному виду;
- если для системы в целом  $P \geq Pz$ , то это условие справедливо и для каждого типа модулей, образующих систему.

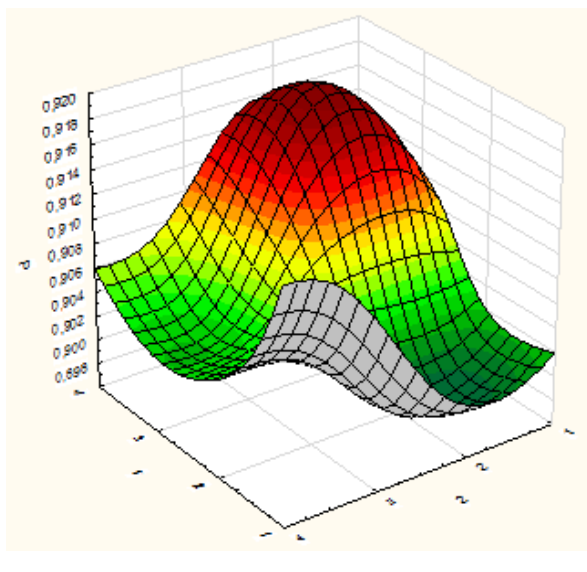
Задача оптимизации приведена к итерационной процедуре последовательного расчета функций

$$f(z, s, w) = w^{-1} \cdot \left\{ \ln \left[ 1 + \sum_{m=1}^{N-1} (s^m / m!) \right] - s \right\}. \quad (5)$$

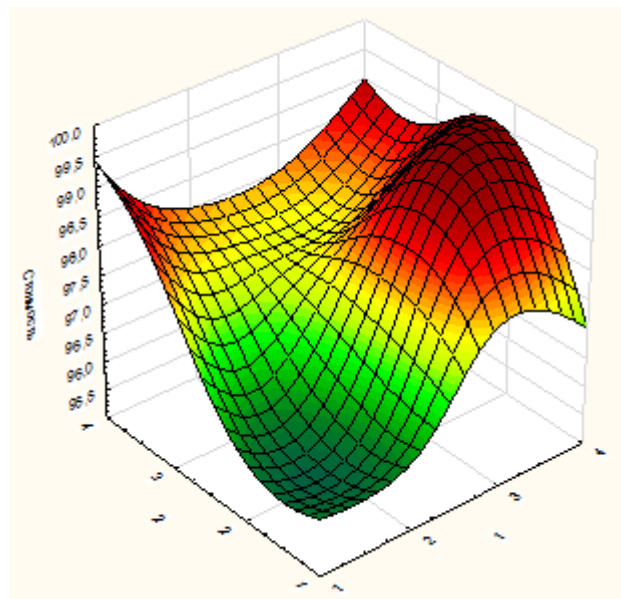
На каждой итерации процедуры с учётом ограничений определяется приоритетное направление

$$nopt = \mathbf{arg\ max}\{f(z+1, s_n, w) - f(z, s_n, w)\}. \quad (6)$$

Результаты расчетов для различных комбинаций резервирования запчастей с точки зрения двух поставленных задач, представлены на рисунке 3.



а) вероятность



б) стоимость

**Рисунок 3 - Показатели обеспечения надежности при изменении количества агрегатов**

Разработана система информационной поддержки процесса сопровождения данных о текущем состоянии и истории ремонта обслуживаемой техники постоянных заказчиков (рисунок 4), которая включает подсистемы регистрации перечня техники заказчика, регистрации данных о выполненных ТО и ремонтах, а также формирования отчетов о текущем состоянии и истории ремонта обслуживаемой техники постоянных заказчиков [1, 4 – 8].



**Рисунок 4 - Информационная система поддержки регистрации перечня обслуживаемой техники заказчика**

Результатом процедуры 1 являются зарегистрированные в информационной системе перечни обслуживаемой техники постоянных заказчиков. К входящим документам относится перечень машин, подлежащих ремонту и техническому обслуживанию с основными реквизитами: заказчик, перечень машин и др.

Результатом выполнения процедуры 2 – зарегистрированные в информационной системе данные о текущем состоянии и истории ремонта техники заказчика. К входящим документам относится акт выполненных работ с основными реквизитами: номер акта, дата, номер заказа, заказчик, отремонтированная техника, перечень запчастей, фактически использованных при ремонте, фактически выполненные работы, фактически понесенные трудозатраты.

Процедура 3 формирования отчетов о текущем состоянии и истории ремонта обслуживаемой техники постоянных заказчиков включает табличные и графические формы в информационной системе по: машине, заказчику, датам, видам работ и т.д. К исходящим документам относятся: заказчик, марка машины, гаражный номер, номер шасси, наработка в моточасах, участок, производивший ремонт, номер договора, дата выполнения работ, номер акта выполненных работ, вид работ (ТО, ТР, КР, АР), ремонтируемая система (ДВС, ходовая, гидравлика и т.д.), выполненные работы, исполнитель работ, сумма по работам, установленные запчасти, сумма по запчастям, закупленные запчасти, запчасти, изготовленные в РМЦ, запчасти, изготовленные силами субподрядной организации.

### **Список информационных источников**

- [1] Остроух А.В. Информационные технологии в научной и производственной деятельности / [ред. А.В. Остроух] - М: ООО "Техполиграфцентр", 2011. - 240 с. - ISBN 978-5-94385-056-1.
- [2] Куфтинова Н.Г. Процессно-ориентированный подход к автоматизации планирования и управления транспортировкой продукции предприятий промышленности / А.В. Остроух, Н.Г. Куфтинова // Вестник МАДИ – 2010. - Вып. 4(23). - С. 62-66.
- [3] Алтунина А.В. Система автоматизации и контроля за продажами и производством автомобилей / А.В. Остроух, А.В. Алтунина // Автотранспортное предприятие. - 2011. - №3. - С. 41-43.
- [4] Остроух А.В. Исследование начального периода моделирования на точность среднеинтегральной оценки имитационных моделей / А.В. Остроух, А.А. Солнцев, Н.В. Солдатов, К.А. Новицкий, П.С. Якунин // Вестник МАДИ – 2010. - Вып. 2(21). - С. 61-65.
- [5] Остроух А.В. Математическая модель связей в системе диагностики электрооборудования автомобилей / А.В. Остроух, А.А. Солнцев, О.Ф. Калухов, Г.Г. Ягудаев // Вестник МАДИ – 2010. - Вып. 2(21). - С. 66-70.
- [6] Солнцев А.А., Ивахненко А.А. Формальное описание процессов движения комплектующих на основе управляемых сетей // Автоматизация и управление в технических системах. – 2013. – № 1(3); URL: [auts.esrae.ru/3-69](http://auts.esrae.ru/3-69) (дата обращения: 05.09.2013).
- [7] Приходько В.М., Солнцев А.А., Саная А.Г. Сетевая теоретико-игровая модель рациональных закупок в задаче формирования адаптивного механизма

согласованных цен в схеме снабжения дилерской сети // Автоматизация и управление в технических системах. – 2013. – № 1(3); URL: [auts.esrae.ru/3-70](http://auts.esrae.ru/3-70) (дата обращения: 05.09.2013).

- [8] Солнцев А.А. Модели нечеткого ситуационного анализа при описании вложенных процессов многоцелевой деятельности дилерской сети // Автоматизация и управление в технических системах. – 2013. – № 1(3); URL: [auts.esrae.ru/3-71](http://auts.esrae.ru/3-71) (дата обращения: 05.09.2013).