

УДК 656.13:519.86

Ю.В. Климов

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ПРОЦЕССОВ В АВТОСЕРВИСНЫХ ОРГАНИЗАЦИЯХ

Рассматривается моделирование стохастических производственных процессов в организациях автосервиса с целью повышения их эффективности, выбора оптимальной стратегии и методов управления при заданных условиях функционирования системы ремонта, сокращения затрат и времени на проведение эксперимента. Для поиска оптимального технического решения используется метод имитационного моделирования.

Введение

Совершенствование сложных стохастических процессов связано с большими затратами времени и ресурсов, поскольку требует построения различных организационных структур и схем. По этой причине реализация натурного эксперимента в организациях автосервиса затруднительна, а оптимизацию производственных процессов целесообразно выполнять с использованием специальных математических методов [1, 2].

В существующих в настоящее время методах используются детерминированные выражения и аналитические зависимости теории массового обслуживания [3–5]. Расчеты по этим методам очень удобны, однако они лишь частично учитывают случайный характер процессов и характеризуют систему в уже установившемся режиме функционирования. Для упрощения математической модели предлагаются некоторые допущения, так как процесс описания в явном виде основных распределений случайных величин затруднен. Следовательно, уже на этом этапе физическая сущность явлений искажается, что и приводит к некоторым погрешностям в расчетах.

Указанных погрешностей можно избежать, если использовать имитационную модель, позволяющую учитывать вероятностные закономерности процессов и выбрать оптимальный организационный вариант при заданных условиях функционирования.

1. Моделирование потока требований, входящего в систему ремонта автомобилей

Как показывает практика, поток требований, входящий в систему ремонта носит случайный характер, неравномерен и нестационарен во времени. Невозможно с достаточной точностью определить, сколько требований будет приходиться на определенный день работы. Случайный характер входящего потока требований обусловлен в основном вариацией суточных пробегов, внезапным характером отказов и неисправностей, интенсивностью и условиями эксплуатации подвижного состава, пропускной способностью системы ремонта и рядом других факторов [3, 6].

Учитывая все эти обстоятельства, для определения входящего потока требований разработана программа, позволяющая имитировать функционирование автомобилей и системы ремонта. При этом принимались во внимание реальные закономерности и характер интенсивности эксплуатации подвижного состава, фактическая эксплуатационная надежность и время восстановления отказавшего автомобиля, ряд определенных эксплуатационных показателей, характеризующих его работу. Блок-схема программы, моделирующей входящий поток требований и процессы постовых работ в системе ремонта, приведена на рис. 1.

Для моделирования входящего потока требований наряду с исходными данными использовались следующие переменные: NN , NNI – порядковый номер недели и количество недель работы соответственно подвижного состава и системы ремонта; D – порядковый номер дня недели; J , AC – порядковый номер автомобиля и количество автомобилей в организации; LRI , LRC – математическое ожидание и среднее квадратическое отклонение пробега с начала эксплуатации, тыс. км; $L[J]$ – текущее значение пробега с начала эксплуатации J -го автомобиля m -й модели, тыс. км; MM – математическое ожидание наработки на отказ J -го автомобиля, км;

Lno – средняя наработка на отказ J -го автомобиля, км; $Lo[J]$ – наработка до k -го отказа J -го автомобиля, тыс. км; F , B , BH – случайные числа, равномерно распределенные в интервале 0–1; $KB1$, $KB2$, $KB3$ – коэффициент выпуска автомобилей на линию m -й модели; $NTO1$, $NTO2$, $NTO3$ – количество ТО-2 автомобилей m -й модели; Lc – текущее значение суточного пробега J -го автомобилей, км; VEK – эксплуатационная скорость J -го автомобиля, км/ч; TNN – время пребывания J -го автомобиля в наряде в D -й день недели, ч; TC – время наступления отказа автомобиля на линии, ч; $M1$ – $M15$, $S11$ – $S88$ – параметры распределения времени восстановления по отказавшему агрегату или системе, ч; $O1$ – $O16$ – идентификаторы распределения отказов и неисправностей по агрегатам, системам и узлам автомобиля; $K1$ – $K5$ – время восстановления отказавшего автомобиля на 1–5 каналах ремонта, ч; $KH1$ – $KH5$ – время восстановления автомобиля с учетом одновременности отказа агрегатов или систем; AV – модель автомобиля; $X1$ – $X5$ – количество автомобилей, получивших отказ на данных каналах; $RP11[x1]$ – $RP55[x5]$ – массивы времени наступления отказов автомобилей на линии, ч; $RR11[x1]$ – $RR55[x5]$ – массивы времени восстановления неисправных автомобилей, ч; $TN11[x1]$ – $TN55[x5]$ – массивы времени пребывания неисправных автомобилей в наряде, ч; $AV11[x1]$ – $AV55[x5]$ – массивы моделей автомобилей; $CV11[x1]$ – $CV55[x5]$ – массивы потерь прибыли J -го автомобиля m -й модели, руб.

В блоке 1 производится ввод исходных данных. Исходными данными являются: количество моделируемых недель; средний пробег автомобилей с начала эксплуатации и его среднее квадратическое отклонение для данной организации; средний суточный пробег и его среднее квадратическое отклонение; средняя наработка на отказ и ряд необходимых параметров функционирования системы ремонта.

В блоках 2–7 производится соответственно подсчет моделируемых недель, дней и автомобилей. Если порядковый номер недели и дня равен единице ($NN = 1$ и $D = 1$), то в блоке 8 формируются начальные параметры функционирования (исходный пробег J -го автомобиля с начала эксплуатации и математическое ожидание наработки на отказ) автомобиля с использованием процедуры $DAN1$. При этом на основании фактических материалов получены параметры и вероятностные законы распределения пробега с начала эксплуатации и наработка на отказ автомобилей определенной марки. Далее с помощью процедуры POK определяется фактическая наработка на отказ J -го автомобиля Lno и рассчитывается наработка до первого отказа $Lo[J]$ по формуле

$$Lo[J] = L[J] + Lno. \quad (1)$$

После определения исходных значений $L[J]$, $Lo[J]$ и α_b в блоке 8 осуществляется моделирование непосредственно процесса эксплуатации автомобилей на линии. Моделирование осуществляется с шагом в один день с изменениями параметров законов распределения случайных величин (суточного пробега, наработки на отказ, времени восстановления и др.) по времени или пробегу в соответствии с фактическими. Это позволяет учесть неравномерность, нестационарность и вариацию входных переменных параметров и таким образом максимально приблизить к реальному моделируемый входящий поток требований. Также в данной модели реализуется режим, при котором автомобили работают в субботние и воскресные дни, а система ремонта в большинстве организаций в эти дни обычно не работает.

Поскольку моделирование по каждому автомобилю за определенный день недели осуществляется идентично, рассмотрим моделирование процесса эксплуатации J -го автомобиля определенной модели за D -й день N -й недели.

В будние дни ($D < 6$, система ремонта работает) моделирование осуществляется следующим образом. Генерируется равномерно распределенное случайное число F на участке 0–1 и его значение сравнивается с коэффициентом выпуска автомобилей определенной модели на линию α_b . Если случайное число F меньше значения α_b , то считается, что J -й автомобиль в D -й день работал. Далее моделируются (блок 11) совершаемый им в этот день суточный пробег Lcc и эксплуатационная скорость VEK , а также определяется текущее значение пробега с начала эксплуатации $L[J]$ по выражению

$$L[J] = L[J] + Lcc[J]. \quad (2)$$

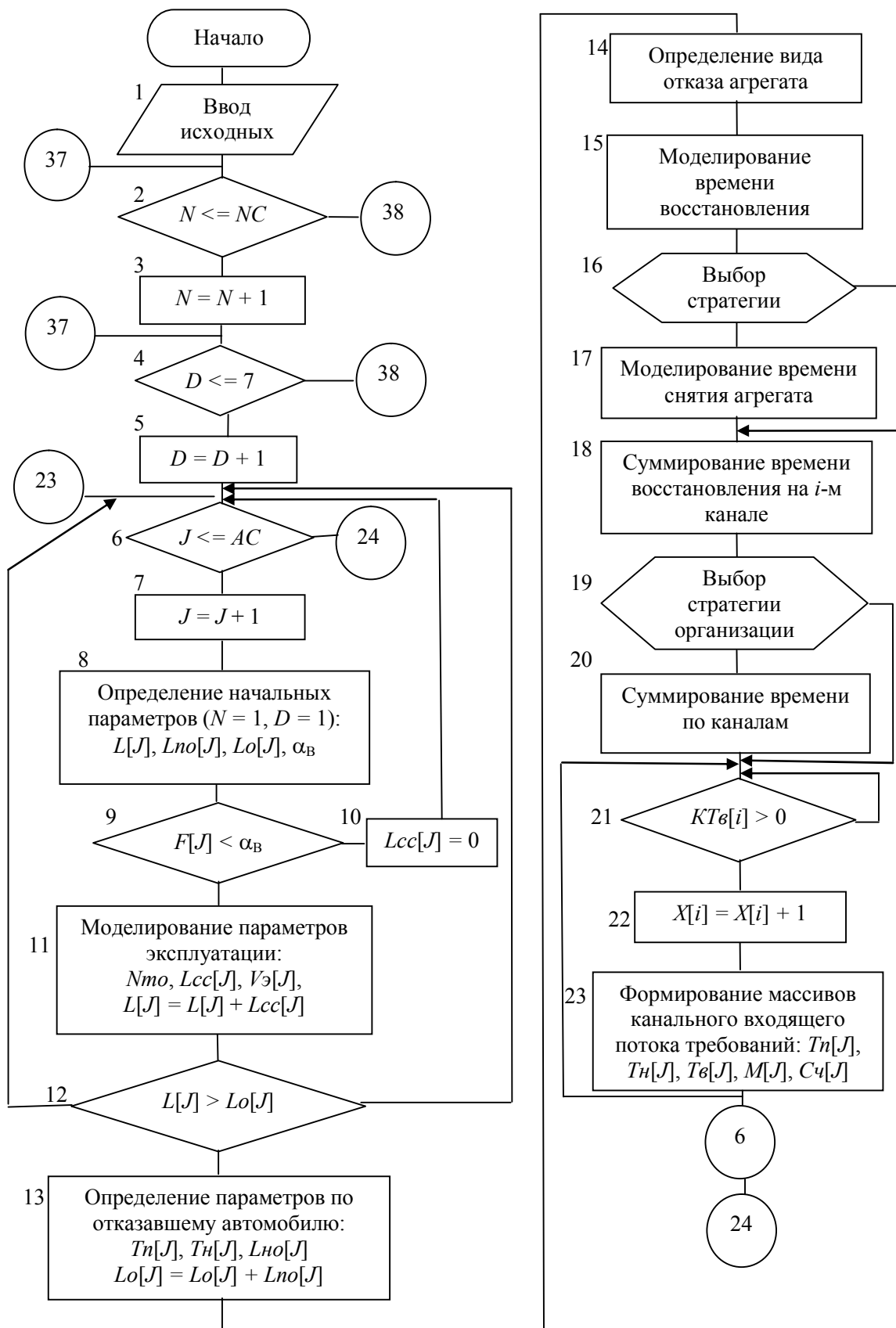


Рис. 1. Блок-схема алгоритма моделирования входящего потока требований

Формирование суточного пробега J -го автомобиля согласно нормальному закону распределения осуществляется по формуле

$$Lcc[J] = \dot{I}(\check{O}) + S(\check{O}) \cdot \left(\sum_{i=1}^{12} R_i - 6 \right), \quad (3)$$

где $M(X)$ – математическое ожидание случайной величины X ; $S(X)$ – среднее квадратическое отклонение; X – случайная величина, принимающая значения x_1, x_2, \dots, x_n из опытных данных; R_i – случайное число, равномерно распределенное в интервале (0–1).

В противном случае ($F > \alpha_v$) считается, что J -й автомобиль в рассматриваемый день не работал на линии (суточный пробег равен нулю в блоке 10). При генерировании равномерно распределенного числа F использовалась стандартная процедура языка PASKAL RANDOM, а при моделировании суточного пробега и эксплуатационной скорости применялась разработанная автором процедура NORMA.

В дальнейшем проверяется условие (блок 12), превысил ли текущий пробег с начала эксплуатации $L[J]$ наработку до k -го отказа $Lo[J]$ J -го автомобиля. Если это условие не выполняется, осуществляется переход к моделированию $(J + 1)$ -го автомобиля. Если данное условие выполняется, это означает, что у J -го автомобиля произошел отказ и в блоке 13 определяется время прибытия неисправного автомобиля по выражению

$$T_n = (Lo[J] - L[J] - Lcc)/VEK. \quad (4)$$

Кроме того, здесь же определяется время пребывания отказавшего автомобиля в наряде по формуле

$$T_n = Lcc/VEK. \quad (5)$$

В дальнейшем у отказавшего J -го автомобиля моделируется текущая (новая) наработка на $(k + 1)$ -й отказ Lno с использованием процедуры DAN1 по установленному закону распределения, а также производится определение текущей наработки до $(k + 1)$ -го отказа:

$$Lo[J] = L[J] + Lno. \quad (6)$$

Следующим этапом (блок 14) является определение вида отказа в соответствующих агрегатах или системах. Это производится в соответствии с полученной статистической информацией (процедура DAN2) по известным средним вероятностям распределения отказов соответствующего вида. Вид отказа устанавливается путем генерирования и сравнения случайного числа B из вероятностного соотношения $P_{s-1} < B < P_s$. Время восстановления отказавших агрегатов или систем J -го автомобиля (блок 15) моделируется по установленным законам распределения (нормальному, Вейбулла и показательному) с использованием процедур NORMA, VEB, POK, разработанных автором.

Управление системой ремонта с учетом использования оборотного фонда (блок 16) предусматривает две возможные стратегии. При первой стратегии оборотный фонд отсутствует, а ремонт производится индивидуальным методом. Вторая стратегия состоит в том, что система ремонта обеспечена оборотным фондом, т. е. реализуется политика проведения ремонта агрегатно-узловым методом. При выборе второй стратегии происходит проверка условия целесообразности снятия агрегата (узла). Если время восстановления превышает время снятия, моделируется время на замену агрегата (узла) в блоке 17.

В процессе моделирования происходит постепенное заполнение ячеек массивов (блок 23) эксплуатационных показателей отказавших автомобилей $RP11-RP55$, $RR11-RR55$, $TN11-TN55$, $AV11-AV55$, $CV11-CV55$ для однородных специализированных постов (ремонтных каналов). Здесь же определяется суммарное количество требований, поступивших за день в определенный ремонтный канал (блок 22). Если рассматривается последний автомобиль, цикл моделирования процесса эксплуатации автомобилей и входящего потока требований за D -й день заканчивается и управление передается на следующий $(D + 1)$ -й день.

В реальных условиях система ремонта представляет собой сложную замкнутую систему, в которой выходные параметры одной подсистемы являются входными параметрами другой.

В данном случае от пропускной способности системы ремонта зависит поток автомобилей, которые возвращаются в исправное состояние. Поэтому особенностью модели является то, что суммарное количество требований на каждый ремонтный канал в D -й день определяется с учетом требований, поступивших в D -й день и не обслуженных, оставшихся в системе ремонта с $(D - 1)$ -го дня. Это достигается использованием специальной процедуры MASIV.

2. Моделирование процессов постовых работ текущего ремонта

В предыдущем разделе было дано описание формирования потока требований. Блок-схема программы, моделирующей процессы постовых работ в системе ремонта, приведена на рис. 2. Массивы, полученные в результате моделирования входящего потока, используются для дальнейшего моделирования процессов постовых работ ремонта с помощью процедуры OHER (блоки 24–36).

Основными исходными переменными, используемыми при работе процедуры OHER, являются массивы показателей, которые сформированы в блоках, моделирующих входящий поток требований. Дополнительно для имитации оперативного планирования и управления, а также процессов постовых работ использовались следующие основные переменные: ZZ – количество однородных ремонтных постов, ед.; TZ , $TZ\Sigma$ – соответственно параметры текущего времени и окончания работы системы ремонта, ч; STR – используемая стратегия оперативного планирования и управления ремонтом автомобилей; G – количество отказавших автомобилей, находящихся в очереди на ремонт на определенный канал; MIN , JP , I , T , CC , TN , AA – идентификаторы, используемые для индивидуальных параметров требования; S – потери прибыли от простоя k -го поста; $Tok[k]$ – календарное время окончания ремонта на k -м посту, ч; J – количество автомобилей, которые не обслужены и обслуживание которых переносится на начало $(D + 1)$ -го дня; $TP1$, $TBA1$, $TVV1$, $AVV1$, $CVV1$ – массивы необслуженных требований, перенесенных на начало $(D + 1)$ -го дня; $TP2$ – количество обслуженных требований в D -й день; $P1$, $PSS1$ – соответственно потери рабочего времени неисправного автомобиля и суммарные потери обслуженных автомобилей от простоя в системе, ч; $CSS1$ – суммарные потери прибыли от простоя обслуженных автомобилей, руб.; $P2$, $PSS2$ – соответственно потери рабочего времени неисправного автомобиля и суммарные потери необслуженных автомобилей от простоя в системе ремонта, ч; $CSS2$ – суммарные потери прибыли от простоя необслуженных автомобилей, руб.; PSS , CSS – суммарные потери рабочего времени и прибыли от простоя обслуженных и необслуженных автомобилей, руб.

Процедура работает следующим образом (см. рис. 1). После присвоения ряду переменных (параметрам работы системы, выбору стратегии оперативного управления ремонтом автомобилей и др.) исходных значений осуществляется проверка, работает ли в данный момент система ремонта ($TZ > TZ\Sigma$). Если да, то управление передается операторам определения свободного поста канала ($TZ > Tok[k]$) в блоке 24. При нахождении свободного поста ремонта производится просмотр всех неисправных автомобилей G и непосредственно выбор i -го автомобиля путем вычисления выбранного критерия оперативного планирования и управления на заданный момент времени. Рассмотренные операции реализуются в блоке 25. Выбор критерия производится с помощью значения метки-переключателя, которое задается при вводе исходных данных. В результате этого формируются и запоминаются индивидуальные признаки очередного требования на ремонт (время поступления в ремонт, время восстановления, значения стоимостных показателей, время пребывания в наряде). Если имеется свободный пост, а неисправных автомобилей на данный момент времени нет, то в блоке 26 определяются суммарное время и потери от простоя однородных постов:

$$S = S + 0,125 \cdot Cn. \quad (7)$$

Блок 27 предназначен для определения календарного момента времени окончания ремонта выбранного автомобиля на k -м ремонтном посту:

$$Tok[k] = TZ + Tvmin, \quad (8)$$

где TZ – текущее время работы системы ремонта, ч; $Tvmin$ – время восстановления выбранного автомобиля, ч.

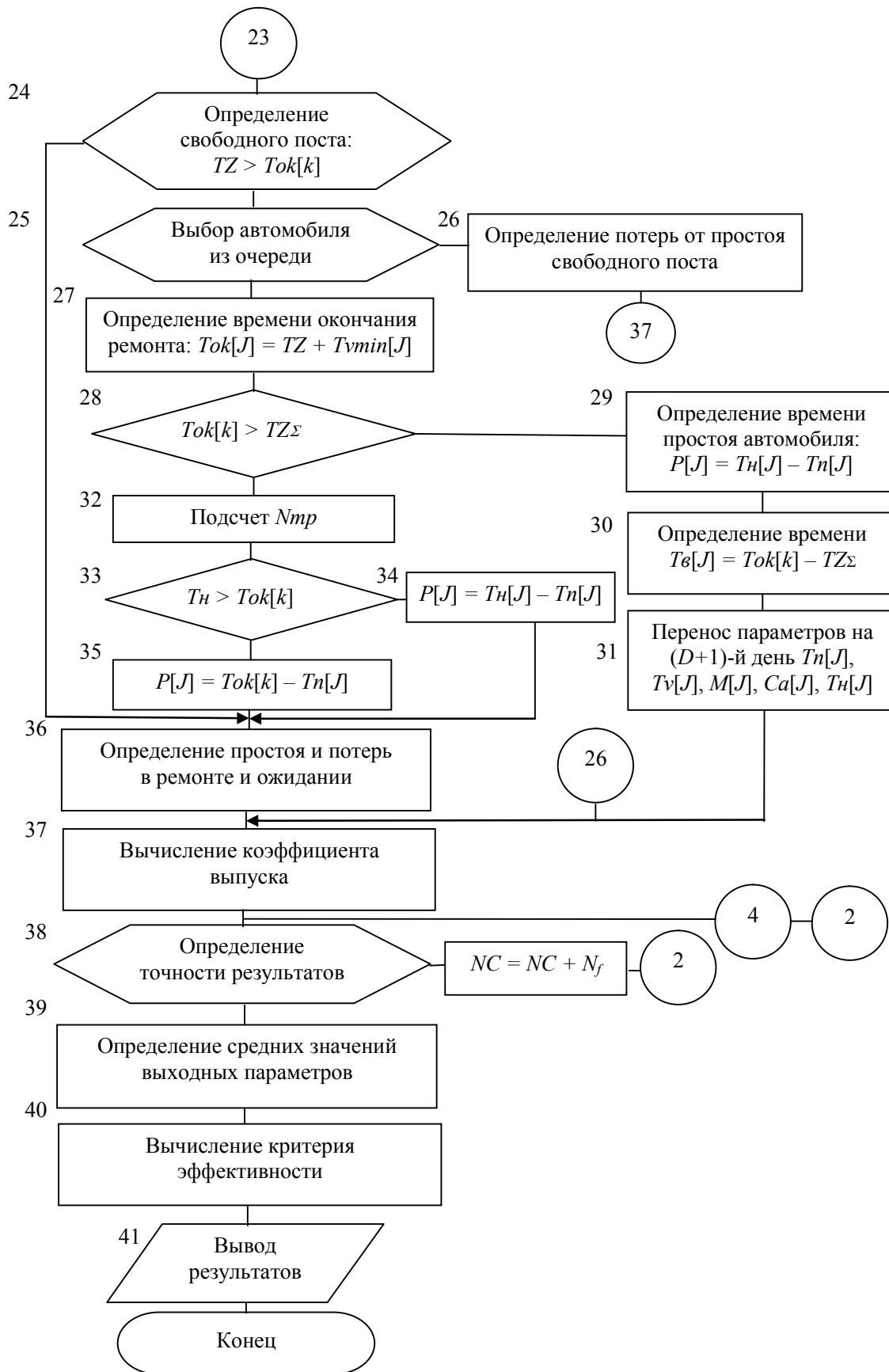


Рис. 2. Блок-схема алгоритма моделирования работы системы ремонта

При этом учитывается время восстановления и время начала ремонта автомобиля. Если календарное время окончания ремонта в блоке 28 превышает время работы системы ($Tok[k] > TZ\Sigma$), считается, что ремонт не окончен и автомобиль остается в системе ремонта на следующий день. Тогда время простоя (блок 29) автомобиля определяется следующим образом:

$$P = T_n - T_n. \quad (9)$$

Если завершить ремонт в D -й день невозможно, рассчитывается оставшееся время восстановления:

$$Tv[J] = Tok[k] - TZ\Sigma. \quad (10)$$

При этом время поступления требования приравнивается нулю ($TP1[J] = 0$), а индивидуальные признаки требования (стоимостные показатели, индекс марки автомобиля, время в наряде) переносятся на следующий день без изменения.

Если календарное время окончания ремонта на посту не превышает время работы системы ($Tok[k] < TZ\Sigma$), в блоках 33–35 происходит проверка возможности выхода из ремонта и работы автомобиля на линии ($TN > Tok[k]$). Здесь же определяется время простоя автомобиля в системе ремонта:

$$P = Tok[k] - T_n, \quad (11)$$

где $Tok[k]$ – время окончания ремонта автомобиля на k -м посту, ч; T_n – время поступления требования в систему ремонта, ч.

При невозможности работы на линии ($T_n < Tok[k]$) отремонтированного автомобиля время простоя определяется как

$$P = T_n - T_n. \quad (12)$$

На заключительном этапе работы процедуры ОНЕР (блок 36) определяются суммарные потери времени и прибыли от простоя неисправных автомобилей и ремонтных постов. Эти данные передаются в головную программу. Таким образом были получены основные временные и стоимостные показатели, характеризующие работу системы ремонта автомобилей за D -й день. Для статистической обработки выходной информации, полученной при моделировании, разработана процедура STAT. В процессе работы этой процедуры на печать выводятся следующие результаты: математическое ожидание, среднее квадратическое отклонение и коэффициент вариации случайной величины.

После моделирования работы последнего автомобиля начинается процедура SUM1, которая занимается последовательным суммированием параметров по дням недели. Кроме того, в этой процедуре (блок 37) производится расчет коэффициента выпуска автомобилей на линию на следующий день по формуле

$$\alpha_b = Ae/Asp, \quad (13)$$

где Ae – количество автомобилей в эксплуатации, ед.; Asp – списочное количество автомобилей в автосервисной организации, ед.

Так как рассматривается функционирование не всего предприятия, а только процесс организации текущего ремонта, целесообразно провести исследование по подсистемам. Вероятностные составляющие, входящие в другие подсистемы (например, ТО-1), определяются без особого труда в процессе моделирования и в реальных условиях деятельности предприятия. Наибольшее влияние на коэффициент выпуска оказывает нахождение автомобилей в текущем ремонте. Поэтому совершенствование организации ремонта играет первостепенное значение.

В дальнейшем проверяется условие (блоки 2 и 4), превышает ли количество смоделированных дней и недель работы системы ремонта заданную величину. Если это условие не вы-

полняется, осуществляется переход к моделированию следующего дня (недели). При выполнении данного условия в работу вступают операторы блока 38, реализующие алгоритм оценки точности полученных результатов.

Если относительная погрешность меньше заданной, моделирование процессов постовых работ прекращается и обеспечивается заданная точность вычислений. В этом случае в блоке 39 определяются средние значения выходных параметров за моделируемый период (процедура SUM2), используя данные процедуры SUM1. Критерий эффективности работы системы ремонта рассчитывается в блоке 40. В качестве критерия эффективности использованы суммарные потери прибыли от простоя автомобилей и потери, связанные с простоем ремонтных постов, обусловленные реализуемым организационным вариантом.

На печать (блок 41) выводятся следующие выходные параметры: количество автомобилей, требующих ремонта в разрезе ремонтных каналов по дням; суммарное количество автомобилей, требующих ремонта с учетом необслуженных требований с предыдущего дня; потери рабочего времени специализированных постов; потери рабочего времени от простоя неисправных автомобилей на ремонтном канале; среднее время пребывания требования в системе; коэффициент использования рабочего времени поста; количество выполненных ремонтов за моделируемый день; потери прибыли от простоя неисправных автомобилей; критерий эффективности (целевая функция); средняя длина очереди на пост; коэффициент восстановления требований; параметр потока восстановления.

Заключение

Систему ремонта в организациях автосервиса не представляется возможным подвергнуть натурному эксперименту вследствие трудностей с изменением значений переменных в реальных условиях. Для проведения эксперимента используется метод имитационного моделирования, целью которого является поиск оптимальных технических решений.

Разработанная имитационная модель позволяет формировать близкий к реальности поток требований на ремонт в зависимости от интенсивности и условий эксплуатации автомобилей, а также моделировать производственные процессы в автосервисных организациях.

Прикладное программное обеспечение может быть использовано для оптимизации оперативно-производственного управления и совершенствования организации ремонта автомобилей.

Список литературы

1. Малыхин, В.И. Математические методы и модели исследования операций / В.И. Малыхин, В.А. Колемаев. – М. : ЮНИТИ-ДАНА, 2008. – 592 с.
2. Шапкин, А.С. Математические методы и модели исследования операций / А.С. Шапкин, В.А. Шапкин. – М. : Дашков и Ко, 2009. – 400 с.
3. Бедняк, М.Н. Моделирование процессов технического обслуживания и ремонта автомобилей / М.Н. Бедняк. – Киев : Вища школа, 1983. – 131 с.
4. Завадский, Ю.В. Решение задач автомобильного транспорта методом имитационного моделирования / Ю.В. Завадский. – М. : Транспорт, 1977. – 72 с.
5. Кузнецов, Е.С. Управление технической эксплуатацией автомобилей / Е.С. Кузнецов. – М. : Транспорт, 1990. – 272 с.
6. Кузнецов, Е.С. Техническая эксплуатация автомобилей / Е.С. Кузнецов, В.М. Власов, А.П. Болдин. – М. : Наука, 2001. – 535 с.

Поступила 16.03.09

*Белорусский государственный
экономический университет,
Минск, пр. Партизанский, 26
e-mail: xpark@mail.ru*

Y.V. Klimov

**SIMULATION OF THE PRODUCTION PROCESSES
IN AUTOSERVICE ORGANIZATIONS**

The paper deals with simulation of the stochastic production processes in service centers to improve their efficiency choose the optimal strategy and methods of control under given operating conditions of the repair system to reduce costs and time of conducting the examinations. In order to find an optimal engineering solution the method of simulation modeling is employed.