

в логический блок, где они сравниваются с эталонными значениями модели. Остается проверить, попадает ли разница значений переменной эталонной модели и той же переменной объекта диагностирования в пространство исправных, работоспособных или неработоспособных состояний. В результате чего пользователю будет выведена информация о состоянии блока, контролируемого в заданной точке. Процедура выполняется на основе разработанных продукционных правил, содержание которых отличается от правил первого уровня, приведенных ранее. Это изменение связано с усложнением системы продукционных правил, т.к. приходится анализировать параметры от трех устройств в их комбинации, а в случае с моделью МЗ система правил становится еще сложнее и имеет значительное число записей для правил.

В результате исследований электромеханической системы были отлажены модели, каждая из которых

обеспечивает заданную глубину для данного уровня декомпозиции и пригодна для диагностирования.

Список литературы

1. Ермоленко Е.Ю., Веселов О.В. Обеспечение стабильности характеристик ЭМС с использованием иерархической декомпозиции // Проблемы исследования и проектирования машин: сборник статей II Международной научно-технической конференции. Пенза, 2006.
2. Бесекиерский В.А., Попов Е.П. Теория систем автоматического регулирования. М.: Наука. 1975.
3. Веселов О.В., Ермоленко Е.Ю. Метод пространства состояний в определении работоспособности приводов // Проблемы машиностроения на современном этапе. Владимир, 2003.
4. Веселов О.В. Идентификация параметров электромеханических систем гибких производственных модулей // Изв. вузов. сер. Электромеханика. 1998. №1.
5. Чиликин М.Г., Ключев В.И., Сандлер А.С. Теория автоматизированного электропривода. М.: Энергия. 1979.

Ермоленко Екатерина Юрьевна — инженер,

Веселов Олег Вениаминович — д-р техн. наук, проф. Владимирского государственного университета.

Контактный телефон (4922) 279-830. E-mail: if_@mail.ru

МОДЕЛИРОВАНИЕ И АНАЛИЗ СИСТЕМЫ МАССОВОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ ВУЛКАНИЗАЦИОННОГО ПРОИЗВОДСТВА

А.Н. Фищенко (Ярославский государственный технический университет)

Выявлены условия, которым должны удовлетворять предметные области, чтобы было возможным применять для их исследования теорию массового обслуживания. Предложена модель функционирования ТП вулканизации в шинном производстве, записанная в терминах теории массового обслуживания. Проведен расчет полученной модели на примере реальных данных, полученных на Ярославском шинном заводе.

Введение

За последнее время в разных областях промышленности возникла необходимость в решении вероятностных задач, связанных с работой так называемых систем массового обслуживания (СМО). Задача заключается в определении зависимости результирующих показателей работы СМО (вероятность того, что заявка будет обслужена; математического ожидания числа обслуженных заявок и т.д.), построении модели СМО производства, а также исследовании поведения характеристик ее эффективности. Результирующими показателями и ключевыми характеристиками СМО являются показатели эффективности СМО, описывающие способность данной системы справиться с потоком заявок.

Моделирование процесса обслуживания необходимо для определения распределения вероятностей и математического ожидания следующих величин: длины очереди, числа требований (заявок) на обслуживание, времени ожидания требования в системе, периода занятости системы и т.п. Одной из главных целей исследования является оптимизация и выявление узких мест работы системы, а также снижение числа потерь заявок на обслуживание и, как следствие, увеличение производительности предприятия. Для моделирования используются методы и способы

теории массового обслуживания. В статье происходит выработка единого подхода для производственных систем, в состав которых входит и система обслуживания, а также условия применения аппарата теории массового обслуживания (ТМО) для выбранной области.

Новизна представленных подходов заключается в том, что математический аппарат, использующийся для стохастического моделирования именно ТП, мало представлен в литературе и самое широкое распространение находит лишь по исторически сложившейся тенденции в области распределенных информационных систем и сетей связи. Разработанная математическая модель может быть гибко адаптирована для применения во многих ТП, характеризующихся некоторыми рассмотренными ниже признаками, и выступать основой для более сложных моделей цехов, производств и других больших систем.

Предлагаемые математические методы позволяют оценить эффективность работы существующей СМО на примере функционирования цехов вулканизационного производства и разработать при необходимости более сложные и точные модели процесса обслуживания. Известно, что вулканизация является завершающей стадией в производстве автомобильных покрышек. Собственно процесс вулканизации про-

исходит в специальных аппаратах, форматорах, каждый из которых вулканизирует одновременно две покрышки, полученные из цеха сборки. Число форматоров в цехе может быть достаточно велико (несколько десятков), что обуславливает необходимость эффективной системы обслуживания производства. Попытка разработки подобной системы и представлена в данной работе. Теоретические результаты проиллюстрированы расчетами одной из существующих систем обслуживания цеха вулканизации Ярославского шинного завода.

Несмотря на широту возможных вариантов применения описываемой модели для ТП производства, не стоит забывать и об ограничениях, заключающихся в наличии в модели динамически изменяющихся приоритетов, большого числа рассматриваемых субъектов, трудностей определения потоков и т.д. Как возможно преодолеть эти ограничения, рассмотрено на примере соответствующих решений. Таким образом, подтверждаются широкие возможности модели, построенной на математической основе СМО.

Условия использования теории массового обслуживания

В общем случае возможность применения теории массового обслуживания для исследования предметной области определяется следующими факторами [1]:

- число заявок в СМО должно быть массовым как, например, при поступлении случайных заявок на вулканизацию покрышек. Заявки могут поступать в случайные моменты времени и могут обладать различной степенью сложности и различным объемом, что приводит к случайному времени их исполнения [2];
- заявки, поступающие на вход СМО, должны быть однотипными [3];
- для проведения расчетов необходимо знать законы, определяющие поступление заявок и интенсивность их обработки; потоки заявок должны быть Пуассоновскими [4];
- структура СМО (последовательность обработки заявки) должна быть жестко зафиксирована [5];
- субъектов из системы необходимо исключить или описывать с постоянной интенсивностью обработки [6];
- число используемых приоритетов должно быть минимальным, а приоритеты заявок — постоянными (неизменными) в процессе обработки внутри СМО.

Особенности построения аналитических моделей вулканизационных систем

ТП вулканизации шинных покрышек полностью удовлетворяет всем перечисленным условиям и может быть промоделирован в терминах теории массового обслуживания. Рассмотрим построение модели устройств с точки зрения теории массового обслуживания на примере форматора-вулканизатора и погрузчика автопокрышек. В большинстве случаев, форматор и погрузчик представляют собой одноканальные устройства, то есть обладают только одним каналом об-

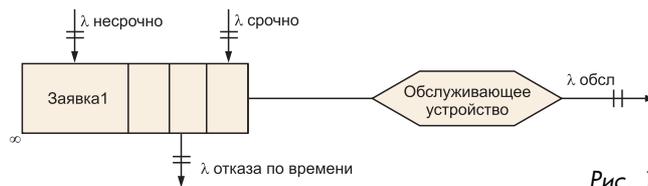


Рис. 1

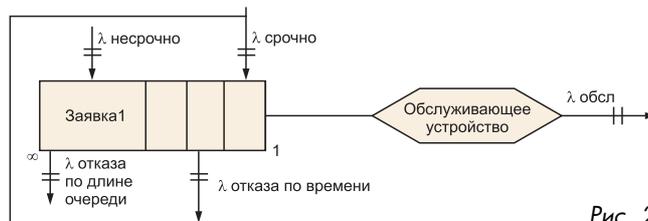


Рис. 2

служивания. Под каналом обслуживания будем понимать возможность выполнения одной задачи.

Обслуживающее устройство имеет ограниченное число источников заявок. Кроме того, необходимо учитывать разнообразие заявок. Следовательно, наиболее подходящей моделью является одноканальная разомкнутая СМО.

Для расчета можно принять, что очередь имеет неограниченный размер, то есть необходимо обслужить все заявки, поступающие в очередь. Каждая заявка должна быть выполнена в определенные сроки, поэтому СМО должна содержать заявки с приоритетами (абсолютными и относительными).

На практике заказы на обслуживание Z для вулканизации можно разбить на r составных частей z_r . Каждую часть можно обрабатывать отдельно: $Z = \{z_1, z_2, \dots, z_r\}$.

Потеря заявок неприемлема для данной предметной области, так как может принести дополнительные расходы. Относительные приоритеты не позволяют выполнить заказ, если в обслуживании находится большая партия, поэтому остаются варианты с использованием абсолютных приоритетов. Выбор одного из них зависит от времени выполнения нового заказа T , требуемых для этого ресурсов Res , исполнителя Hu и др. Если процент выполненной работы меньше какого-нибудь критерия Kr , то заявка обслуживается заново полностью:

$$Z_i/Z < Kr, Kr = func(T, Res, Hu \dots),$$

где Z_i — доля выполненной работы.

Основная сложность математической модели такой СМО заключается в том, что заявка с малым приоритетом может быть не обслужена. Для избежания таких ситуаций необходимо менять приоритеты во время обслуживания.

Главным критерием для выставления приоритетов является время выполнения заказа. Отсюда следует, что нужно использовать СМО с ограниченным временем ожидания (рис. 1).

В рассматриваемой СМО не должно быть отказов, а это значит, что поток отказов по времени выполнения заявки $\lambda_{отк.вз.}$ нужно перенаправить и добавить в поток срочных заказов $\lambda_{срочно}$ (рис. 2). В результате этих операций получится суммарный поток $\lambda_{срочно}$. Объединение потоков переводит СМО в разряд замкнутых.

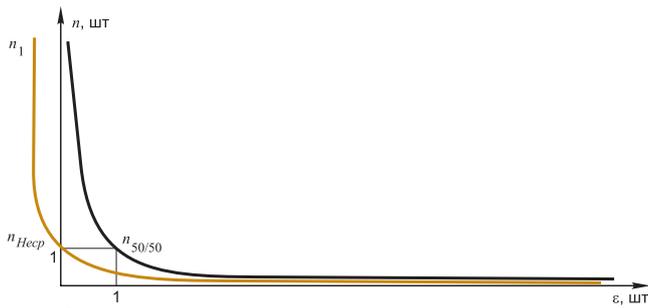


Рис. 3

Такая схема организации требует ограничения очереди таким образом, чтобы все заказы были выполнены вовремя. Размер очереди в этом случае уменьшится и будет равен n . Это приведет к появлению потока отказов по длине очереди $\lambda_{отк.до}$. Если в системе имеется несколько типов приоритетов, то схема системы массового обслуживания значительно усложнится [7].

Для упрощения математической модели можно воспользоваться одноканальной разомкнутой СМО с ограниченной очередью размером m . Основными параметрами этой модели СМО являются абсолютная пропускная способность A (число заявок в единицу времени) и вероятность отказа заявки $P_{отк}$:

$$P_{отк} = [(\lambda/\rho)^{m+1}(1 - \lambda/\rho)]/[1 - (\lambda/\rho)^{m+2}],$$

$$A = \lambda(1 - P_{отк}) =$$

$$\lambda(1 - [(1/\rho)^{m+1}(1 - \lambda/\rho)]/[1 - (\lambda/\rho)^{m+2}]),$$

где λ — интенсивность поступления заявок; ρ — интенсивность обслуживания заявок.

Средняя длина очереди (число элементов, ожидающих обслуживания) ω , среднее время ожидания заявки в очереди T_ω и время пребывания заявки в системе массового обслуживания T_q являются важными характеристиками для СМО с очередями:

$$\omega = (\lambda/\rho)^2 \{1 - (\lambda/\rho)m[m + 1 - m(\lambda/\rho)]\} /$$

$$[1 - (\lambda/\rho)^{m+2}](1 - \lambda/\rho)$$

$$T_\omega = \omega/\lambda, T_q = T_\omega + A/\lambda\rho.$$

Соотношение длин очередей n и m зависит от процентного содержания работ с разными приоритетами и временем их выполнения.

Для простоты вычислений положим, что существует два типа приоритетов заказов. Введем некий коэффициент ξ , характеризующий соотношение между потоками срочных $\lambda_{срочно}$ и несрочных заказов партий покрышек $\lambda_{несрочно}$:

$$\xi = (\lambda_{срочно})/\lambda_{несрочно}, \quad (1)$$

$$(\lambda_{срочно}) = \xi(\lambda_{несрочно}).$$

Чтобы обеспечить эффективность работы, время обработки всех заказов должно быть больше, чем интенсивность заявок:

$$(1/\rho) < 1/(\lambda_{срочно} + \lambda_{несрочно}), (\lambda_{срочно} + \lambda_{несрочно}) < \rho.$$

Подставляя в это соотношение (1), получим:

$$\lambda_{срочно} < \rho \cdot \xi/(\xi + 1); \lambda_{несрочно} < \rho/(\xi + 1).$$

Если известно оптимальное значение коэффициента ξ и интенсивность обработки заявок за единицу времени, можно найти ограничения для потоков и соотношение между ними. Оценим значение коэффициента ξ . Очевидно, что чем больше срочных заказов, тем меньше должна быть длина очереди. Следовательно, коэффициент ξ обратно пропорционален длине очереди:

$$\xi \sim 1/n, \xi = k/n, n_1 = (k_1 \cdot n_{50/50})/\xi,$$

$$k = k_1 \cdot n_{50/50},$$

где k — коэффициент пересчета длины очереди; k_1 — коэффициент соответствия (он определяется законами распределения поступления и обработки заявок); $n_{50/50}$ — длина очереди при наличии 50% срочных и 50% несрочных заявок; n_1 — новое значение длины очереди.

Если исходить из длины очереди $n_{несрочно}$, в которой все заявки несрочные, то формула примет следующий вид:

$$n_1 = k_1 \cdot n_{несрочно}/(\xi + 1).$$

На рис. 3 приведен график, иллюстрирующий зависимость длины очереди от коэффициента ξ .

Рассмотрим предельные случаи. При $\xi \rightarrow \infty, n \rightarrow 0$ очередь будет отсутствовать. На вход поступают два независимых потока заявок λ_1 и λ_2 . Требования первого потока обладают старшим абсолютным приоритетом. Очередь отсутствует, поэтому заявка младшего приоритета, обслуживание которой прервано, теряется. Теряется также и заявка старшего приоритета, когда канал занят обслуживанием заявки этого же приоритета. Вероятность потери заявки $P_{пот}$ определяется следующей формулой:

$$P_{пот} = [\lambda_1(\lambda_1 + \lambda_2 + \rho_2) + \rho_1(\lambda_1 + \lambda_2)] /$$

$$[(\lambda_1 + \lambda_2)(\lambda_1 + \lambda_2 + \rho_2)].$$

Если рассматривать заявки без приоритетов, то получится одноканальная СМО с отказами. Такая ситуация вполне возможна для шинного производства. Например, имеется очень большое (для расчетов можно принять бесконечное) число заказов на вулканизацию покрышек. Тогда отсутствует необходимость создавать очередь. Такие ситуации могут возникать лишь на небольшие промежутки времени во время сильного роста производства.

При $\xi \rightarrow 0, n \rightarrow \infty$ очередь неограниченно возрастает. Установившийся режим работы СМО может быть только в случае, когда интенсивность входного потока не больше интенсивности обслуживания ($\lambda/\rho \leq 1$). Пропускная способность будет равняться интенсивности входного потока, а среднее число заявок в очереди m_k будет одной из важнейших характеристик данной СМО.

Отметим, что построенная система выступает более простым и в то же время адекватным аналогом системе имитационного моделирования, способной выполнять схожие задачи, но для построения которой требуется менее формализованное применение технологии транзактов (задач) и которая отличается несоизмеримо более высокой вычислительной сложностью.

Пример моделирования СМО цеха вулканизации автопокрышек шинного завода

С целью исследования существующей СМО и последующего ее анализа рассмотрим заключительную стадию производства автомобильных шин на Ярославском шинном заводе – вулканизацию покрышек.

Существующая система является однолинейной, так как используется единственный прибор обслуживания заявок на линии (погрузчик). Структура моделируемой системы, характеризующейся интенсивностью общего потока требований μ_i на накопитель и интенсивностью обслуживания требований m_i одним устройством, может быть записана как $M_B | M_O | n | r$, где M_B – распределение интервалов времени между поступлениями требований; M_O – распределение времени обслуживания; n – число обслуживающих устройств в СМО; r – число мест ожидания.

Значения интервалов времени между последовательными моментами поступления требований и интервалов времени обслуживания требований являются независимыми в совокупности случайными величинами. Поэтому поток заявок и поток обслуживания для данной системы является рекуррентным и характеризуется показательной функцией распределения. В качестве потока заявок и потока обслуживания в данной системе приняты Пуассоновские потоки с показательными функциями распределения:

$$M_B = 1 - e^{-\lambda \cdot t}, M_O = 1 - e^{-\mu \cdot t}.$$

Основные характеристики СМО цеха вулканизации автопокрышек:

- число форматоров-вулканизаторов в линии $N = 12$;
- общая продолжительность вулканизации в форматоре-вулканизаторе $t_{вулк} = 0,483$ ч;
- число пресс-форм форматора (число одновременно вулканизируемых покрышек) $S = 2$;
- среднее время обслуживания заявки $\tau_{об} = 0,064$ ч;
- число обслуживающих устройств $n = 1$;
- число мест ожидания $r = N = 12$;

Фищенко Александр Николаевич – инженер Ярославского государственного технического университета.

Контактный телефон (4852) 51-42-74.

E-mail: fischenkov@gmail.com

БИБЛИОТЕКА

ТЕКУЩЕЕ СОСТОЯНИЕ РЫНКА СНГ В ОБЛАСТИ ПРОГРАММНЫХ И ТЕХНИЧЕСКИХ СРЕДСТВ АВТОМАТИЗАЦИИ И РАЦИОНАЛЬНЫЙ ВЫБОР СРЕДСТВ ДЛЯ КОНКРЕТНОГО ОБЪЕКТА

Под редакцией зав. лаб. методов автоматизации производства Института Проблем Управления РАН Э.Л. Ицковича.

Объективные описания, анализ и сопоставление важнейших показателей средств отечественных и зарубежных производителей в обзорах:

Выпуск 1. "Программы связи операторов с ПТК (SCADA-программы) на рынке СНГ", Версия 8, 2004 г.;

Выпуск 2. "Микропроцессорные программно-технические комплексы (ПТК) отечественных фирм", Версия 7, 2004 г.;

Выпуск 3. "Сетевые комплексы контроллеров зарубежных фирм на рынке СНГ", Версия 3, 2005 г.;

Выпуск 4. "Микропроцессорные распределенные системы управления на рынке СНГ", Версия 4. 2005 г.;

Расчет системы массового обслуживания при использовании данного количества обслуживающих устройств показал, что система массового обслуживания линии форматоров-вулканизаторов перегружена на 40,4%, а производительность линии составляет 72,4% от максимальной производительности линии. Оптимальное количество обслуживающих устройств равно двум, тогда производительность форматора-вулканизатора равна 96,71% от максимальной производительности линии при 70,2% загрузке системы обслуживания.

Кроме того, в результате проведенных в соответствии с представленной выше методикой расчетов была получена структура СМО: $M_B | M_O | 2 | 12$. Дальнейшее увеличение числа обслуживающих устройств в данном примере приведет к незначительному выигрышу по производительности линии и к сильному снижению загрузки обслуживающей системы, что при данных начальных условиях является экономически неэффективным.

Таким образом, предложена математическая модель описания процесса обслуживания цеха вулканизации автопокрышек. Разработана методика применения аппарата теории СМО к ТП вулканизации в форматорах-вулканизаторах. Анализ данной СМО позволяет сделать вывод о запасе производительности на устройствах обслуживания и возможности ее увеличения (однако это невозможно без увеличения производительности остальных позиций линии).

Список литературы

1. *Ивченко Г.И., Каштанов, Коваленко И.Н.* Теория массового обслуживания. М.: Высш. Школа. 1982.
2. *Волков И.К., Загоруйко Е.А.* Исследование операций. М.: Изд. МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2000.
3. *Кофман А., Крюон Р.* Массовое обслуживание. Теория и приложения. М.: Мир, 1965.
4. *Давыдов Э.Т.* Исследование операций. М.: Высш. Школа. 1990.
5. *Ширяев В.И.* Исследование операций и численные методы оптимизации // Челябинск: ЧГТУ. 1993.
6. *Таха Х.* Введение в исследование операций. М.: Издательский дом "Вильямс", 2001.
7. *Гнеденко Б.Б., Коваленко И.Н.* Введение в теорию массового обслуживания. М.: Наука. 1966.

Выпуск 5. "Перспективные программные и технические средства автоматизации: их стандартизация, свойства, характеристики, эффективность эксплуатации", Версия 3, 2004 г.;

Конкурсный выбор средств и систем под конкретные требования:

"Методика проведения конкурса" с приложением программы "Вычисление общей ранжировки конкурсных заявок и анализ работы экспертов". Версия 2. 2004 г.

Справки по приобретению любой из перечисленных работ можно получить у Э.Л. Ицковича по тел. и факсу (495) 334-90-21, по E-mail: itskov@ipu.rssi