

Моделювання в економіці, організація виробництва та управління проектами

УДК 519.872:004.318

Р.В. Артюх¹, Д.Э. Лысенко²

¹ Харьковський національний університет радіоелектроніки, Харків

² Національний аерокосмічний університет ім. Н.Е. Жуковського "ХАИ", Харків

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ МНОГОФАЗНЫХ МАТЕРИАЛЬНЫХ ПОТОКОВ ВНУТРИПРОИЗВОДСТВЕННОЙ ЛОГИСТИКИ

Статья посвящена задаче математического моделирования процессов внутрипроизводственной логистики. Рассмотрены возможности использования для моделирования разных видов производственных процессов моделей систем массового обслуживания, отличающихся структурой очередей и другими параметрами. Построена модель технологического процесса в форме многофазной одноканальной системы массового обслуживания. Получены расчётные формулы для определения ряда характеристик производственного процесса. Моделирование позволяет проанализировать возможности технического и ресурсного оснащения производственного процесса, оценить его эффективность и выявить "узкие" места. Результаты моделирования могут быть использованы для повышения эффективности планирования и управления логистическим обеспечением производства.

Ключевые слова: внутрипроизводственная логистика, материальный поток, система массового обслуживания.

Введение

Управление внутрипроизводственной логистикой играет важную роль в обеспечении ритмичности производственных процессов. Упорядоченная последовательность процесса изготовления изделия определяется технологическим процессом и маршрутной документацией. Технологическая маршрутизация регламентирует движение материальных производственных потоков на межцеховом и внутрицеховом уровнях и является основой для формирования логистического управления материальными потоками внутренней (производственной) логистики.

Функционально перечень материальных производственных потоков состоит из множества отдельных потоков со своими параметрами и отражает динамику функционирования процессов производства. Здесь будут рассматриваться материальные потоки предметов труда с позиции моделирования динамических параметров процессов производства и получения информации для проведения логистического планирования и контроля процессов комплексного материально-технического обеспечения сборочного производства.

Учитывая, что производственные процессы в силу ряда возмущающих воздействий внешней среды обладают некоторым уровнем неопределённости, искомые оценки будут носить вероятностный харак-

тер. Учитывая эти обстоятельства, моделирование рассматриваемых процессов возможно производить, используя аппарат теории систем массового обслуживания СМО, интерпретируя общие положения в понятиях среды и объекта исследования [1 – 3].

Обычно используется две основные схемы организации технологических маршрутов – линейная и разветвлённая. Для моделирования материальных потоков при различных схемах организации производства могут использоваться разные модели СМО, отличающиеся структурой очередей, количеством каналов и фаз обслуживания и другими параметрами (рис. 1).

Путём моделирования характеристических свойств материальных потоков можно получить информацию о ходе производственного процесса по целому ряду характеристик технико-экономического характера, таких как:

- среднее время ожидания обработки;
- длина очереди на обработку (объём незавершённого производства);
- коэффициент использования (загрузки) оборудования;
- коэффициент загрузки оборудования по видам работ и т.п.

Задачей данной работы является получение расчётных математических выражений для основных операционных характеристик многофазного

одноканального материального потока, представленного последовательностью технологических операций.

Модель последовательных многофазных потоков

Одноканальные многофазные материальные (операционные) потоки строятся по технологическому принципу, когда на каждой операции добавленная стоимость и весь операционный поток представляет собой поток, где в начале технологического процесса исходный продукт имеет определённые начальные значения параметров $Q_j = f(\alpha_{ij})$, где α_{ij} – i-й пара-

метр j-го исходного продукта. После выполнения операций изделие будет обладать уровнем качества Q_e , отличным от начального Q_j . Каждое изменение качества исходного продукта реализуется в ходе соответствующей операции Z_i . Тогда исследуемый процесс можно представить последовательностью операций Z_i (рис. 2). Материальный поток, формируемый в соответствии с технологическим процессом, несёт в себе также информационную составляющую, на основе которой осуществляется логистическое планирование и контроль процессов материально-технического обеспечения сборочных работ.

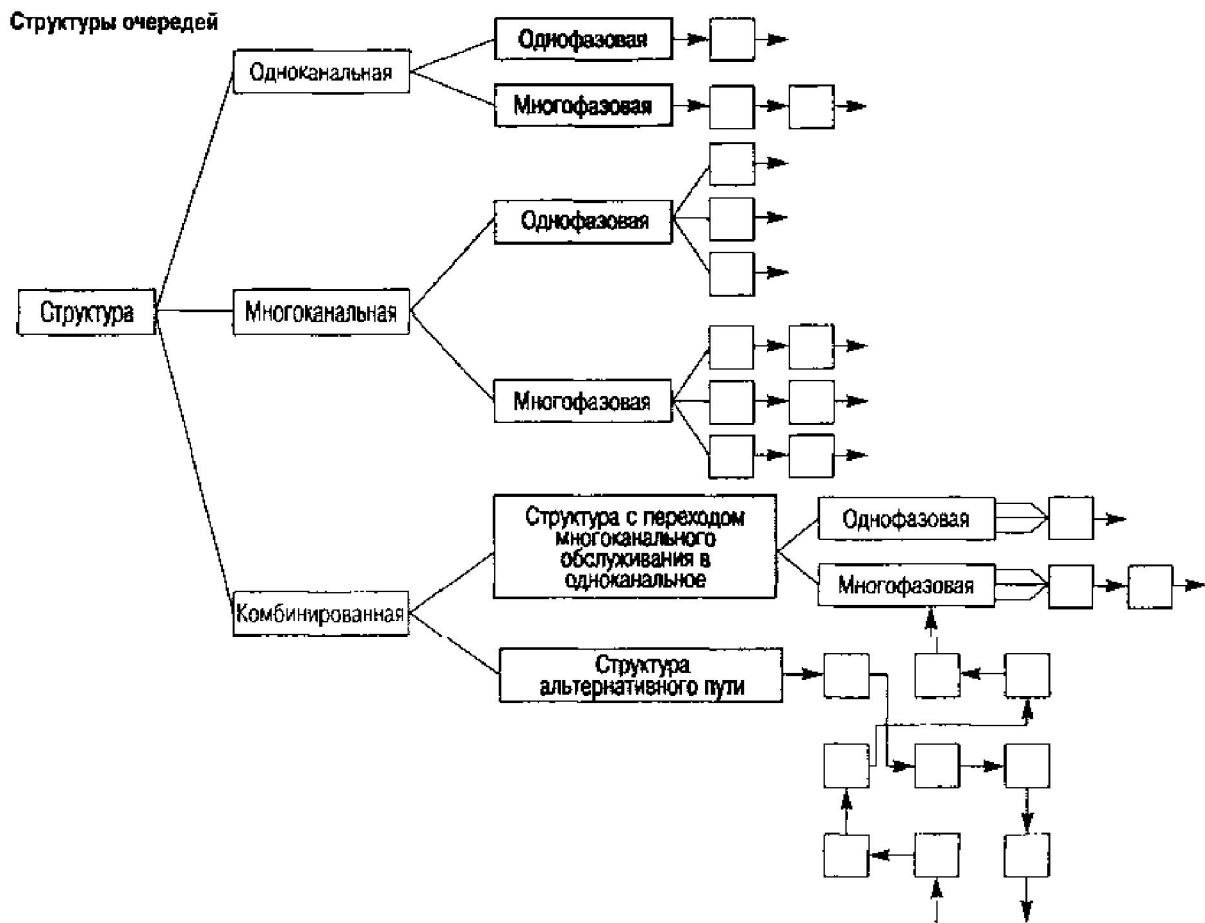


Рис. 1. Структуры очередей в СМО

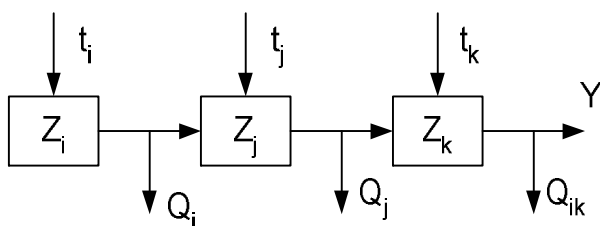


Рис. 2. Многофазный материальный поток

В дальнейшем будем рассматривать этот технологический процесс в терминах теории массового

обслуживания как модель производственного процесса.

Рассмотрим одноканальную многофазную СМО. В этой системе входной поток – интенсивность поступления деталей на обработку обозначим μ_2 . Параллельно с одинаковой интенсивностью μ_1 функционирует производство, и готовые изделия поступают на склад. Необходимые ресурсы также поступают со склада.

Будем рассматривать следующие операционные характеристики:

P_n – вероятность того, что в процессе обработки находится n изделий;

L_s – среднее число обрабатываемых изделий (ресурсная характеристика производительности);

L_q – среднее число изделий на промежуточном складе (объем незавершенного производства);

W_s – средняя продолжительность обработки изделия (временная характеристика производительности);

W_q – средняя продолжительность пребывания изделия на промежуточном складе (суммарное непроизводственное время).

Состояние системы полностью определяется общим числом i изделий, находящихся в системе [4 – 6]. Поскольку процесс является вероятностным, число изделий в системе также может быть найдено лишь с некоторой вероятностью. Закон распределения количества изделий определяется следующими уравнениями

$$P_g = \begin{cases} \rho^g \frac{1}{g!} \cdot p_0, & 1 \leq g \leq N, \\ \rho^g \frac{1}{N!N^{g-N}} \cdot p_0, & g > N, \end{cases} \quad (1)$$

$$P_0^{-1} = \sum_{g=1}^N \frac{\rho^g}{g!} + \frac{\rho^{N+1}}{N!(N-\rho)}, \quad \rho = \frac{\mu_2}{\mu_1} < N, \quad (2)$$

$$\bar{v} = \frac{N^N}{N!} P_0 \cdot \frac{\rho_\Sigma^{N+1}}{(1-\rho_\Sigma)^2} X_1, \dots, X_n,$$

$$\bar{g} = \bar{v} + \rho \cdot p_0 \left[(1-\rho_\Sigma)^{-1} \frac{\rho^N}{N!} + \sum_{g=1}^{N-1} \frac{1}{g!} \rho^g \right], \quad (4)$$

$$\rho_\Sigma = \frac{\mu_2}{\mu_1 \cdot N} < 1.$$

Рассмотрим случай, когда потери заявок (изделий) недопустимы, а агрегаты-устройства не приступают к выполнению следующего цикла, если результат предшествующего не использован (происходит простой оборудования в ожидании окончания предыдущей операции).

Агрегаты-источники считаем однотипными, как и агрегаты-устройства $k = \overline{1, N_1}$ обслуживания.

В качестве переменной состояния $i, i = \overline{0, N_1 + N_2}$ выберем сумму числа простаивающих агрегатов-источников и занятых агрегатов-устройств обслуживания. Эта переменная однозначно определяет состояние системы.

Если $i \geq N_1$, то число занятых устройств обслуживания равно i , а число простаивающих источников равно нулю. Если $i < N_1$, то все N_1 устройств обслуживания заняты, а число простаивающих источников равно $(i - N_1)$. Простой источника возможен только после выполнения им заданной операции, так что каждый простаивающий источник яв-

ляется одновременно накопителем, в котором содержится одна заявка (не обработанное изделие). Тогда

$$\lambda_i = \begin{cases} N_2 \mu_2, & 0 \leq i \leq N_1, \\ (N_1 + N_2 - i) \mu_2, & N_1 < i \leq N_1 + N_2; \end{cases} \quad (5)$$

$$\nu_i = \begin{cases} i \mu_1, & 1 \leq i \leq N_1, \\ N_1 \mu_1, & N_1 \leq i \leq N_1 + N_2. \end{cases}$$

Основной вывод состоит в том, что согласование работы последовательно включенных агрегатов путем выравнивания средних производительностей недопустимо, если в каждой фазе по одному агрегату с параметрами μ_1 и μ_2 , так как очередь растет неограниченно. Если ограничить среднее число заявок в системе нормативной константой \bar{g}_c , то

$$\rho = \frac{\bar{g}_c}{1 + \bar{g}_c}. \quad (6)$$

Предельная интенсивность работы агрегата-источника потока заявок, если она может выбираться, ограничена пропускной способностью агрегата-устройства обслуживания и нормативом \bar{g}_c так, что

$$\mu_2 \leq \frac{\bar{g}_c}{1 + \bar{g}_c} \mu_1. \quad (7)$$

Результаты остаются в силе и для многоканальной СМО, то есть при наличии группы агрегатов в каждой фазе с условием замены интенсивностей на суммарные.

Для расчета вероятностных характеристик СМО используем предположение Клейнрока [4] о получении распределения экспоненциального потока заявок на выходе ТП. Предполагая стационарный режим СМО, можно найти для каждого узла среднее число заявок L_i или для всей сети $(L_1, L_2, \dots, L_i, \dots, L_n)$, $i = \overline{1, M}$.

Вероятности состояний сети определяются по формуле:

$$P_j = \prod_{i=1}^M P_{ij}, \quad (8)$$

где P_j – вероятность того, что в обработке находится j изделий;

P_{ij} – вероятность того, что на i -м участке обрабатывается j изделий.

Интегральные характеристики производства следующие:

1. Средний объем незавершенного производства:

$$L = \sum_{i=1}^M L_i. \quad (9)$$

2. Среднее время производственного цикла:

$$T = \sum_{i=1}^M T_{c_i} . \quad (10)$$

В сбалансированной сети

$$\rho_1 \approx \rho_2 \approx \dots \approx \rho_M ,$$

$$\rho_i = \frac{\lambda_i}{\mu_i} .$$

Для несбалансированной сети пропускная способность определяется значением

$$\rho^* = \max(\rho_i, i = \overline{1, M}) .$$

Таким образом, с использованием модели СМО были определены основные операционные характеристики многофазного логистического процесса.

Заключение

Статья посвящена задаче математического моделирования процессов внутривиробничной логистики. Показано, что для моделирования материальных логистических потоков целесообразно использовать модели теории систем массового обслуживания. Рассмотрены возможности использования для моделирования разных видов производственных процессов моделей СМО, отличающихся структурой очередей и другими параметрами.

Построена модель технологического процесса в форме многофазной одноканальной системы массового обслуживания, описывающая производственный процесс, состоящий из ряда последовательных технологических операций. Получены расчётные формулы для определения ряда характеристик производственного процесса.

Моделирование позволяет определить возможности технического и ресурсного оснащения произ-

водственного процесса, оценить его эффективность, выявить "узкие места" и возможные, связанные с недостаточной производительностью применяемого оборудования или потерями времени из-за простоев.

Результаты работы могут быть использованы при разработке систем планирования и управления логистическим обеспечением производства.

Список литературы

1. Николайчук В.Е. Теория и практика управления материальными потоками (логистическая концепция) [текст] / В.Е. Николайчук, В.Г. Кузнецов. – Донецк: ДонГУ, КИТИС, 1999. – 413 с.
2. Плоткин Б.К. Экономико-математические методы и модели в логистике [текст] / Б.К. Плоткин, Л.А. Делюкин. – СПб.: Изд-во СПбГУЭФ, 2010. – 96 с.
3. Попов А.В. Использование численных методов оптимизации и систем массового обслуживания при моделировании процессов логистики [текст] / А.В. Попов, К.А. Аксенов, А.А. Бубеницкова // Теоретические основы и методология имитационного и комплексного моделирования, 2009. – С. 166-170.
4. Клейнрок Л. Теория массового обслуживания [текст] / Л. Клейнрок. – М.: Машиностроение, 1979. – 432с., ил.
5. Саати Т.Л. Элементы теории массового обслуживания и её приложения [текст] / Т.Л. Саати. – М.: Сов. радио, 1965. – 510 с.
6. Лабскер Л.Г. Теория массового обслуживания в экономической сфере [текст] / Л.Г. Лабскер, Л.О. Бабешко. – М.: ЮНИТИ, 1998. – 319 с.

Поступила в редколлегию 5.02.2013

Рецензент: д-р техн. наук, проф. В.М. Илюшко, Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского "ХАИ", Харьков.

МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ БАГАТОФАЗНИХ МАТЕРІАЛЬНИХ ПОТОКІВ ВНУТРІВІРОБНИЧОЇ ЛОГІСТИКИ

Р.В. Артук, Д.Е. Лисенко

Стаття присвячена завданню математичного моделювання процесів внутривиробничої логістики. Розглянуто можливості використання для моделювання різних видів виробничих процесів моделей систем масового обслуговування, що відрізняються структурою черг і інших параметрів. Побудовано модель технологічного процесу у формі багатофазної одноканальної системи масового обслуговування. Отримано розрахункові формули для визначення ряду характеристик виробничого процесу. Моделювання дозволяє проаналізувати можливості технічного й ресурсного оснащення виробничого процесу, оцінити його ефективність і виявити "вузькі" місця. Результати моделювання можуть бути використані для підвищення ефективності планування й управління логістичним забезпеченням виробництва.

Ключові слова: внутрішньовиробнича логістика, матеріальний потік, система масового обслуговування.

MATHEMATICAL MODELING OF MULTIPHASE INTRAPRODUCTIVE LOGISTICS MATERIAL FLOW

R. V. Artukh, D. E. Lysenko

The article is dedicated to the problem of mathematical modeling of intraproductive logistics. The possibilities of using simulations for different types of production processes queuing models with different structure of queues and other parameters are considered. A model of the process in the form of multi-phase single-channel queuing system is formed. Calculation formulas for determining the number of characteristics of the production process are obtained. Modeling allows to analyze the possibilities of technical equipment and resources of the production process, to assess its effectiveness and to identify "bottlenecks". Simulation results can be used to improve the planning and management of production logistics.

Keywords: intraproductive logistic, financial stream, queuing system.