

**УДК 004:339**

**В.М. Давыдов**

**Тихоокеанский государственный университет**

**(г. Хабаровск)**

**А.В. Рудецкая**

**Хабаровский государственный университет экономики и права**

## АНАЛИЗ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ СИСТЕМ РАСПРЕДЕЛЕННОГО ДОСТУПА МЕТОДАМИ ТЕОРИИ МАССОВОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ

*В статье рассмотрена аналитическая модель функционирования автоматизированных систем распределенного доступа методами теории массового обслуживания. Для описания функционирования автоматизированных систем использовались аналитические зависимости, полученные в теории массового обслуживания. Рассмотрен алгоритм функционирования двухуровневой подсистемы автоматизированной системы распределенного доступа с учетом надежности работы подсистем.*

**Ключевые слова:** автоматизированные системы, автоматизированная торговля, вендинг, мехатронный автомат.

*The article presents the analytical model of functioning of the automated systems for distributed access by methods of the theory of waiting lines. Analytical dependences obtained in theory of waiting lines were used to describe the functioning of automated systems. The algorithm of functioning of the two-level subsystem of the automated system of the distributed access with the reliability of work of subsystems is considered.*

**Keywords:** automated systems, automated trading, vending, mechatronic machine.

Осуществление проектирования методов и средств организации автоматизированных систем предполагает проектирования. В основе технологии использование определённой технологии проектирования лежит технологический процесс, соответствующий процесс, который определяет действия, их масштабу и особенности, последовательность, состав разрабатываемого проекта. Технология исполнителей, средства и ресурсы, проектирования – это совокупность требуемые для выполнения этих методологии и средств проектирования действий. Так, технологический процесс проектирования автоматизированных проектирования автоматизированных

систем в целом делится на совокупность последовательно-параллельных, связанных и соподчиненных цепочек действий. Действия, которые выполняются при проектировании подобных систем, могут быть определены как неделимые технологические операции или как подпроцессы технологических операций. Все действия могут быть собственно проектировочными, которые формируют или модифицируют результаты проектирования, и оценочными действиями, которые вырабатывают по установленным критериям оценки результатов проектирования.

Таким образом, технология проектирования задаётся регламентированной последовательностью технологических операций, выполняемых в процессе создания проекта на основе того или иного метода. К основным требованиям, предъявляемым к выбираемой технологии проектирования распределительных систем, относятся следующие:

- выбранная технология должна максимально отражать все этапы цикла функционирования распределительной системы;
- выбираемая технология должна обеспечивать минимальные трудовые и стоимостные затраты на проектирование

и сопровождение проекта;

- технология должна быть основой связи между проектированием и сопровождением проекта;
- технология должна способствовать росту производительности труда;
- технология должна обеспечивать надёжность процесса проектирования и эксплуатации распределительной системы;
- технология должна способствовать простому ведению проектной документации.

Выполнить эти требования в рамках единого описания удаётся лишь для простых изделий. Как правило, требуется структурирование описаний и соответствующее разбиение представлений об объекте на иерархические уровни и аспекты.

Разделение описаний по степени детализации отображаемых свойств и характеристик объекта лежит в основе блочно-иерархического подхода к проектированию и приводит к появлению иерархических уровней (уровней абстрагирования) в представлениях об объекте.

Аналитические модели функционирования систем массового обслуживания достаточно подробно описаны в работах отечественных и зарубежных авторов. В данном исследовании разработана обобщённая модель на основе теории массового

обслуживания, описывающая работу подсистем автоматизированных систем распределённого доступа (АСРД), под которыми понимается упорядоченное множество, основанное на синергетическом объединении мехатронных агрегатов, модулей, узлов с упорядоченными связями, динамически функционирующими во времени и пространстве, и предназначенное для автоматизации процессов в сфере обращения, в том числе в розничной торговле.

Процессы, протекающие в системах, подобных АСРД, являются марковскими случайными процессами, а потоки событий, переводящие систему из состояния в состояние, близки к пуассоновским. Для описания функционирования АСРД можно воспользоваться аналитическими зависимостями, полученными в теории массового обслуживания (ТМО).

Рассмотрим алгоритм функционирования двухуровневой подсистемы АСРД с учётом надёжности работы подсистем. Подсистема работает по следующему циклу. От одного из устройств нижнего уровня поступает заявка на обслуживание (запись фрагмента УП, передача данных, загрузка или разгрузка объекта манипулятором и т.п.), и если очереди нет, то заявка

начинает обслуживаться. После обслуживания устройство нижнего уровня начинает работать в автономном режиме.

Если во время обработки информации на устройстве нижнего уровня происходит отказ, то после его восстановления подаётся заявка на обслуживание устройству верхнего уровня. Иначе заявка подаётся после обработки всей информации, и цикл повторяется. В случае если все обслуживаемые устройства верхнего уровня, доступные устройству нижнего уровня, заняты, то заявка становится в очередь с приоритетом «первый пришёл – первый обслужился». Если обслуживаемое устройство даёт отказ, то оно исключается из процесса управления до момента восстановления. При выходе из строя обслуживаемого устройства во время обслуживания вновь подаётся заявка на обслуживание, и она опять становится в очередь на обслуживание или обслуживается другим управляющим устройством по рассмотренным выше принципам. Функционирование СМО может быть описано в виде размеченного графа состояний с указанием возможных переходов (см. рисунок). Интенсивности переходов, переводящие систему из одного состояния в другое, обозначены стрелками:  $\lambda_c$  – интенсивность потока

заявок на обслуживание от вышестоящего уровня управления;  $\mu_c$  – интенсивность потока обслуживания;  $\lambda_n$  – интенсивность потока отказов управляющего устройства;

$\mu_n$  – интенсивность потока восстановления управляющего устройства бригадой ремонтников.

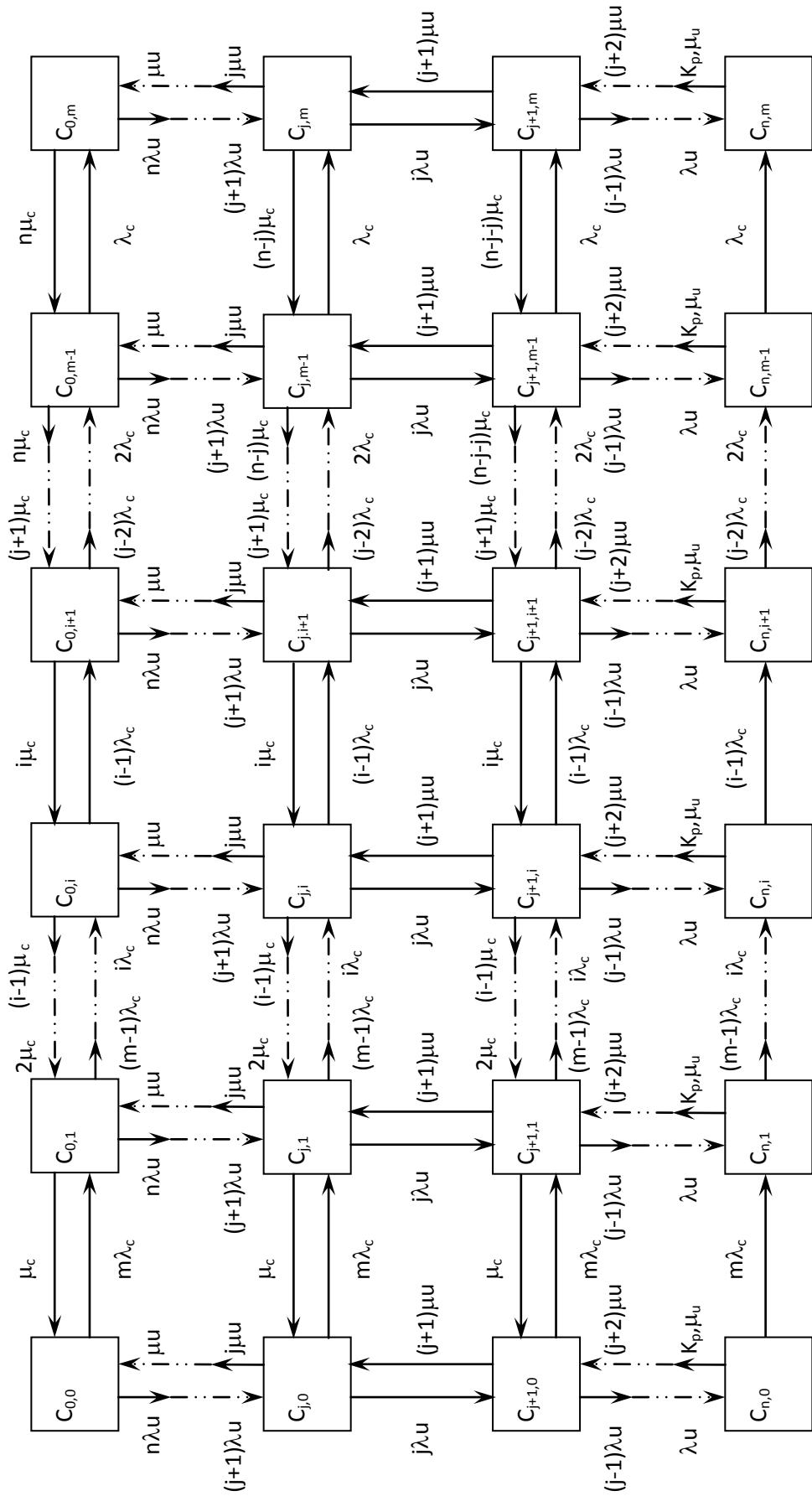


Рисунок – Граф состояний АСРД с учётом надёжности работы подсистем

АСРД может находиться в следующих состояниях:  $C_{o,o}$  –  $m$  подсистем работают и все  $n$  управляющих устройств исправны;  $C_{o,o}$  –  $i$  подсистем обслуживаются, очереди нет (при  $0 < i \leq n-1$ ),  $(i - n)$  подсистем стоят в очереди (при  $m > i \geq n$ ), остальные  $(m - i)$  подсистем работают в автономном цикле, все управляющие устройства исправны;  $C_{o,m}$  –  $m$  подсистем обслуживаются,  $(m - n)$  стоят в очереди, все управляющие устройства исправны;  $C_{j,o}, \dots, C_{j,i}, \dots, C_{j,m}$  – состояния аналогичные  $C_{o,o}, \dots, C_{o,i}, \dots, C_{o,m}$ , но при условии, что  $j$  управляющих устройств ремонтируется ( $0 < j \leq n - 1$ ), при этом если  $\gamma \geq n - j$  очереди бригадам ремонтников на восстановление управляющих устройств нет, если  $\gamma < n - j$ , то  $(n - j - \gamma)$  управляющих устройств стоит в очереди на ремонт;  $C_{n,o}$  –  $m$  подсистем работают в автономном режиме,  $n$  управляющих устройств неисправны,  $(n - \gamma)$  управляющих устройств стоит в очереди на ремонт;  $C_{n,i}$  –  $(m - i)$  работают в автономном режиме,  $i$  станков в очереди на обслуживание,  $n$  управляющих устройств неисправны, из них  $K_p$  управляющих устройств ремонтируется, а остальные  $(n - K_p)$  стоят в очереди на ремонт;  $C_{n,m}$  – подсистем

стоят в очереди на обслуживание,  $n$  управляющих устройств неисправны,  $K_p$  управляющих устройств ремонтируется, а остальные  $(n - K_p)$  стоят в очереди на ремонт.

Для определения вероятностей  $P_{j,i}(t)$  нахождения системы в момент времени  $t$  в  $C_{j,i}$  состоянии можно составить систему дифференциальных уравнений Колмогорова. Воспользуемся при этом следующим мнемонистическим правилом. Число дифференциальных уравнений, описывающих систему в целом, равно числу состояний. В левой части каждого уравнения стоит производная по времени от вероятности нахождения в  $C_{j,i}$  состоянии. Каждый член правой части равен сумме произведений интенсивностей потока на вероятность того  $C_{j,i}$  состояния, из которого выходит эта интенсивность. При этом если выходит из  $C_{j,i}$  состояния, то знак произведений отрицательный, если входит – положительный.

Тогда на основании рисунка можно составить в общем виде систему дифференциальных уравнений (для простоты записи опустим параметр  $t$  при вероятностях  $P_{j,i}(t)$ ):

$$\frac{dP_{0,0}}{dt} = -(m\lambda_c + n\lambda_u)P_{0,0} + \mu_u P_{1,0} + \mu_c P_{0,1} \quad (j_k = 0, i = 0, \gamma = 0)$$

$$\frac{dP_{0,i}}{dt} = (m - i + 1)\lambda_c P_{0,i-1} - (i\mu_c + n\lambda_u + (m - i)\lambda_c)P_{0,i} + \mu_u P_{1,i} + (i + 1)\mu_c P_{0,i+1}$$

(j = 0, 1 ≤ i ≤ n - 1, γ = 0)

$$\frac{dP_{0,i}}{dt} = (m-i+1)\lambda_c P_{0,i-1} - (n\mu_c + n\lambda_u + (m-i)\lambda_c)P_{0,i} + \mu_u P_{1,i} + n\mu_c P_{0,i+1}$$

$(j=0, n \leq i \leq m-1, \gamma=0)$

$$\frac{dP_{0,m}}{dt} = \lambda_c P_{0,m-1} - n(\mu_c + \lambda_u)P_{0,m} + \mu_u P_{1,m} + \mu_u P_{1,m} \quad (j=0, i=m, \gamma=0)$$

$$\frac{dP_{j,0}}{dt} = -(\gamma\mu + m\lambda_c + (n-j)P_{j,0} + (\gamma+1)\mu_u P_{j+1,0} + (n-j)\mu_c P_{j,1} + (j+1)\lambda_u P_{j-1,0}$$

$(1 \leq j \leq n-1, i=0, 0 < j < K_p)$

$$\frac{dP_{j,i}}{dt} = (m-i+1)\lambda_c P_{j,j+1} - (i\mu_c + \gamma\mu_u + (m-i)\lambda_c + j\lambda_u)P_{j,i} + (\gamma+1)\mu_u P_{j+1,i} +$$

$$+ (i+1)\mu_c P_{j,i+1} + (j+1)\lambda_u P_{j-1,i}$$

$(1 \leq j \leq n-1, 1 \leq i \leq j-1, 0 < \gamma < K_p)$

$$\frac{dP_{j,i}}{dt} = (m-i+1)\lambda_c P_{j,j-1} - ((i+1)\mu_c + \gamma\mu_u + (m-i)\lambda_c + j\lambda_u)P_{j,i} + (\gamma+1)\mu_u P_{j+1,i} +$$

$$+ (n-j)\mu_c P_{j,i+1} + (j+1)\lambda_u P_{j-1,i}$$

$(1 \leq j \leq n-1, j \leq i \leq m-1, 0 < \gamma < K_p)$

$$\frac{dP_{j,m}}{dt} = \lambda_c P_{j,m-1} - (j\mu_c + \gamma\mu_u + j\lambda_u)P_{j,m} + (\gamma+1)\mu_u P_{j+1,m} + (j+1)\lambda_u P_{j-1,m}$$

$(1 \leq j \leq n-1, i=m, 0 < \gamma < K_p)$

$$\frac{dP_{n,0}}{dt} = -(K_p \mu_u + m\lambda_c)P_{n,0} + \lambda_u P_{n-1,0} \quad (j=n, i=0, \gamma=K_p)$$

$$\frac{dP_{n,i}}{dt} = (m-i+1)\lambda_c P_{n,i-1} - (K_p \mu_u + (m-i)\lambda_c)P_{n,i} + \lambda_u P_{n-1,i}$$

$(j=n, 1 \leq i \leq m-1, \gamma=K_p)$

$$\frac{dP_{n,m}}{dt} = \lambda_c P_{n,m-1} - K_p \mu_u P_{n,m} + \lambda_u P_{n-1,m} \quad (j=n, i=m, \gamma=K_p),$$

где  $P_{0,0}, \dots, P_{0,i}, \dots, P_{0,m}$  – вероятность пребывания подсистемы соответственно в

состоянии  $C_{0,0}, \dots, C_{0,i}, \dots, C_{0,m}$  и т. д.;  $\gamma$  – текущее значение числа ремонтных бригад, занятых восстановлением управляющих устройств ( $0 \leq \gamma \leq K_p$ ).

В работе было получено, что системы группового управления обладают свойством эргодичности. Тогда любой процесс, обладающий свойством эргодичности, имеет установившийся режим, наступающий после достаточно продолжительного функционирования системы и не зависящий от её состояния в начальный момент.

Для эргодических систем интенсивности пуассоновских потоков не

зависят от времени, а описывающие их системы дифференциальных уравнений превращаются в системы обыкновенных линейных дифференциальных уравнений с постоянными коэффициентами. Таким образом, для установившихся процессов систему дифференциальных уравнений можно заменить системой алгебраических уравнений, для чего необходимо правые части приравнять к нулю. Решение системы уравнений позволяет определить вероятности каждого состояния АСРД. Следует заметить, что число уравнений можно на одно уменьшить, введя нормировочное условие:

$$\sum_{i=0}^m \sum_{j=0}^n P_{j,i}(t) = 1.$$

Зная предельные вероятности, можно определить основные характеристики систем, например среднее число подсистем, стоящих в очереди на обслуживание:

$$\bar{\omega}_c = \sum_{i=n-j+1}^m \sum_{j=0}^n (i-n+j) P_{j,i}.$$

Среднее число подсистем, работающих в автономном цикле:

$$\bar{\omega} = \sum_{i=0}^{m-1} \sum_{j=0}^n (m-i) P_{j,i}.$$

Среднее число управляющих устройств, занятых обслуживанием заявок:

$$\bar{n} = \sum_{j=1}^n \sum_{i=0}^{m-n} j P_{j,i} + \sum_{j=1}^n \sum_{i=m-n+1}^m n P_{j,i} - \sum_{j=1}^n \sum_{i=0}^m j P_{j,i}.$$

Среднее число неисправных управляющих устройств:



$$\bar{n}_{OT} = \sum_{i=0}^m \sum_{j=0}^n j P_{j,i} .$$

Среднее число операторов, занятых восстановлением управляющих устройств:

$$\bar{K}_p = \sum_{i=0}^m \sum_{j=1}^{K_p} j P_{j,i} + \sum_{i=0}^m \sum_{j=K_p+1}^n K_p P_{j,i} .$$

Среднее число управляющих устройств, стоящих в очереди на восстановление к операторам

$$\omega_b = \sum_{i=0}^m \sum_{j=K_p}^n (j - K_p) P_{j,i} .$$

Тогда основные характеристики подсистем АСРД можно найти по формулам:  
коэффициент простоя подсистем

$$\xi_{n.c} = \frac{m - \omega}{m} ;$$

коэффициент простоя управляющих устройств

$$\xi_{n.y} = \frac{n - \bar{n} - \bar{n}_{OT}}{n} ;$$

коэффициент загрузки операторов, занятых восстановлением управляющих устройств

$$\xi_{рем} = \frac{\bar{K}_p}{K} .$$

Таким образом, аналитическая модель позволяет не только получать зависимости при ненадёжной работе управляющих устройств, но и получать такие характеристики, как занятость операторов, что, в свою очередь, позволяет с достаточной достоверностью оценивать число операторов для обслуживания АСРД.

#### Список использованных источников

- 1 Аршанский М. М. Мехатроника : основы глоссария / М. М. Аршанский, Е. В. Шалобаев // Мехатроника. 2001. № 4. С. 47–48.
- 2 Гослинг Д. Проектирование торговых комплексов / Д. Гослинг, Б. Мэйтленд; пер. с англ. М. : Стройиздат, 2009. 136 с.
- 3 Давыдов В. М. Аппаратные и

программные средства технологии автоматизированного производства : учеб. пособие / В. М. Давыдов, Ю. Ф. Огнев, Е. А. Кудряшов. Курск, 2010. 279 с.

4 Давыдов В. М. Концептуальное проектирование мехатронных модулей механообработки / В. М. Давыдов, Ю. Г. Кабалдин. Владивосток : Дальнаука, 2003.

5 Давыдов В. М. Агентно-ориентированное моделирование интеллектуальной мехатронной системы / В. М. Давыдов, П. П. Кибяков // Вестник ХГАЭП. 2003. № 2–3 (13). С. 188–195.

6 Давыдов В. М. Синтез децентрализованного периодического управления нелинейно-нестационарным объектом с запаздыванием по состоянию / В. М. Давыдов, А. И. Годяев, Е. А. Шеленок // Вестник Тихоокеанского гос. ун-та. 2012. № 1 (24). С. 23–32.

7 Давыдов В. М. Проблемно-ориентированная имитационная модель для исследования надёжности мехатронной системы / В. М. Давыдов // Мехатроника. 2002. № 2. С. 11–13.

8 Кликич Л. М. Экономика сферы услуг : проблемы методологии и анализ / Л. М. Кликич. Уфа : БПАУ, 2004. 381 с.

9 Мисарович М. Теория иерархических многоуровневых систем / М. Мисарович, Д. Мано, И. Такаха. М. : Мир, 1973.

10 Рудецкая А. В. Особенности организации автоматизированной розничной торговли / А. В. Рудецкая // Вестник Тихоокеанского гос. ун-та, 2009. № 2 (13). С.

139–144.

11 Рудецкая А. В. Формирование системы эффективной организации процессов автоматизированной торговли / А. В. Рудецкая // Вестник ХГАЭП. 2012. № 1 (58). С. 9–14.

12 Рудецкая А. В. Концепция формирования вендинговой сети / А. В. Рудецкая // Гуманизация образования. 2015. № 2. С. 118–124.

13 Рудецкая А. В. Вендинг : роль и значение в современной экономике / А. В. Рудецкая // Научное обозрение. 2016. № 1. С. 138–141.

14 Третьяков М. М. Управление услугами вендинга : монография / М. М. Третьяков, А. В. Рудецкая. Хабаровск : Изд-во ТОГУ, 2014. 150 с.

15 Хакен Г. Синергетика : Иерархии неустойчивостей / Г. Хакен. М., 1985.

16 Яковлева Т. Самоорганизация системы как условие эффективного управления / Т. Яковлева, В. Давыдов // Вестник ХГАЭП. 2001. № 2. С. 25–27.