

БЕЛОРУССКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

УДК 004.94;0043.946;519.872

ЗИРКО  
Ольга Федоровна

**ИНФОРМАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ  
ДИСКРЕТНЫХ ПРОИЗВОДСТВ НА ОСНОВЕ  
ОЧЕРЕДЕЙ ТРЕБОВАНИЙ**

Автореферат  
диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

по специальности 05.13.01 – Системный анализ,  
управление и обработка информации

Минск, 2014

Работа выполнена по личной инициативе.

Научный руководитель **Кудрявцев Владимир Иванович**, доктор технических наук, заместитель технического директора ЗАО «Мосэнергоремонтсервис»

Официальные оппоненты: **Вишняков Владимир Анатольевич**, доктор технических наук, профессор кафедры менеджмента УО Минского университета управления;  
**Комличенко Виталий Николаевич**, кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой «Экономическая информатика» УО «БГУИР»

Оппонирующая организация **Международный экологический университет имени А.Д. Сахарова**

Защита состоится 23 декабря 2014 г. в 15.00 на заседании совета по защите диссертаций К.02.05.01 при Белорусском национальном техническом университете по адресу: 220013, г. Минск, пр-т Независимости, 65, кор. 1, ауд. 202 тел.: (+375 17) 2939564.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Белорусского национального технического университета.

Автореферат разослан « 20 » ноября 2014 г.

Ученый секретарь совета  
по защите диссертаций,  
кандидат технических наук,  
доцент

Н.Н. Гурский

© Зирко О.Ф., 2014

© Белорусский национальный  
технический университет, 2014

## КРАТКОЕ ВВЕДЕНИЕ

Современные информационные технологии на предприятиях в Республике Беларусь ориентированы на повышение эффективности использования информационных моделей, которые по определению являются классом знаковых моделей, описывающих информационные процессы (возникновение, передачу, преобразование и использование информации) в системах самой разнообразной природы. Особенно актуальной является задача создания информационных моделей, ориентированных на автоматическое управление производственными процессами. Автоматизированные системы управления технологическим процессом (АСУТП) занимают один из четырех уровней, который выделен в соответствии с классификацией Международной ассоциации производителей систем управления производством MESA при информационном управлении промышленным предприятием.).

Использование производственных данных уже на уровне локальных систем автоматизации с целью перенастройки и улучшения их работы, а также согласования автоматического управления в рамках всего сложного производственного процесса на уровне АСУТП, могло бы иметь собственный синергетический эффект от совместного использования данных в составе единой базы данных. Достижение эффекта возможно с помощью технологий дискретно-событийного имитационного моделирования, опирающихся на модель очереди, в процессе которой обрабатываются требования, что позволило бы моделировать процессы дискретных производств на уровне АСУТП в рамках информационной системы, основанной на модели данных и обеспечивающей управление производственным процессом

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Связь работы с крупными научными программами и темами.** Диссертационная работа выполнена по личной инициативе. Часть материала диссертации создана в рамках НИР «Исследование методов информационного управления в производственных, технологических и социальных процессах» в УО «Белорусский государственный технологический университет».

### **Цель и задачи исследования.**

Создание модели информационной системы на основе очередей требований для производственного управления. Для достижения этой цели необходимо решить следующие задачи:

1. Провести анализ существующих методов и предложить методы и модели расчета очереди с возможностью сопоставления требования с произвольным количеством производственных данных, влияющих на его расчет в очере-

ди, в сложно соединенных очередях, а также с учетом сложного поведения требований.

2. Провести анализ связи разработанных методов расчета очереди с концептуальной моделью предметной области и моделью данных и определить их структуры.

3. Определить системные взаимодействия в информационной системе, основанной на модели очереди при управлении процессами дискретных производств.

4. Определить достижимые эффекты информационного моделирования с использованием очередей для целей производственного управления.

### **Научная новизна**

Выполненные в работе исследования позволили получить совокупность новых знаний:

- разработаны системы динамических моделей расчета очереди с представлением требования в объектной парадигме в виде численной и даталогической моделей для набора систем массового обслуживания характерных при моделировании процессов дискретного производства;

- разработаны дискретные системная и расчетная модели производственной очереди с переменными очереди и в процессе требования, а также модели расчета производственной очереди для прогнозного расчета аспектов целевого производственного события;

- разработана методология управления производственной очередью для методического обеспечения автоматического управления процессами дискретных производств и для поддержки системы производственного анализа;

- предложена процессная модель данных в виде фактологических структур на основе очереди и комплексный оргграф дискретного производства в качестве концептуальной модели предметной области для представления данных дискретного производства в структуре очереди;

- предложена модель информационной системы на основе очереди для поддержания информационного запроса на автоматическое управление и анализ дискретных производств.

### **Положения, выносимые на защиту**

1. Поточно-дискретные динамические модели расчета очереди для требований, представляемых в виде объекта с системным и внесистемными параметрами для исследования аномалий моделирования процессов дискретных производств в теории очередей с целью управления ими.

2. Дискретная системная модель производственной очереди, а также ее дискретная расчетная модель и дискретные модели расчета очереди в процессе

требования, а также с переменными очереди, позволяющие формировать прогнозный расчет процессов очереди с учетом высокой вариативности условий обработки требований и топологии дискретного производства.

3. Методология управления производственной очередью, которая предусматривает автоматическое управление прогнозным расчетом в рамках дискретной расчетной модели производственной очереди, который сочетается с планированием управляющего воздействия относительно структуры очереди и обновляется в соответствии с событиями интервала реализации требования, что обеспечивает автоматическое управление процессами дискретных производств в ходе вычислительного процесса информационной системы на основе модели очереди.

4. Процессная модель данных в виде фактологической структуры на основе производственной очереди и концептуальная модель дискретного производства в виде комплексного орграфа для отображения данных дискретного производства в фактологической структуре на основе очереди, которые обеспечивают связь прогнозного расчета целевого производственного события в рамках методологии управления производственной очередью с потоком производственных данных.

5. Модель информационной системы для управления и анализа процессов дискретных производств на основе производственной очереди, позволяющая выполнять информационный запрос на автоматическое управление для производного фрагмента дискретного производства и анализ этого фрагмента производственного процесса с целью оперативного контроля характеристик оборудования и изменения технологических схем.

#### **Личный вклад соискателя**

Все результаты и положения, выносимые на защиту, получены автором лично. Научный руководитель принимал участие в постановке задач, определении возможных путей их решения, в предварительном анализе, обсуждении теоретических результатов, выводе формул и методов, практических исследований, проведенных автором самостоятельно.

#### **Апробация результатов диссертации**

Основные положения и результаты диссертационной работы докладывались и обсуждались на IV Международной научной конференции Ассоциации «История и компьютер» (Минск, БГУ, 1997 г.); на III Міжнародній науковій конференції (ПГУ, Полацк, 1995 г.); на II международной конференции «Историческая информатика» (МГУ, Москва, 1996 г.), на Третьей международной конференции «Новые информационные технологии в образовании» (Минск, 1998), на V Международной конференции (БГУ, Минск, 1998 г.), IV, V и VI

международных конференциях «Новые информационные технологии в образовании» (БГЭУ, Минск, 2000, 2002 и 2004 г.), 63, 64, 65, 66-ой конференциях БГТУ (Минск, БГТУ, 2007-2010), на Международной научно-практической конференции «Научно-информационное обеспечение инновационного развития АПК» (ФГБНУ, Москва, 2012), на XII Международной конференции «Развитие информатизации и государственной системы научно-технической информации (РИНТИ-2013)» (НАН Беларуси, Минск, 20 ноября 2013 г.).

### **Опубликование результатов диссертации**

По материалам диссертации опубликовано 22 научных работ, в том числе: 8 статей в рецензируемых журналах, в соответствии с требованиями ВАК Беларуси; 8 статей в материалах научных конференций и 7 тезисов докладов в материалах конференций. Общий объем статей составляет 11.1 печатных авторских листов, в том числе: 3.76 печатных листа опубликованы в изданиях, которые рекомендует ВАК Беларуси; 5.57 авторских листа – в статьях материалов научных конференций; 1.76 авторских листа – в трудах тезисов докладов в материалах конференций.

### **Структура и объем диссертации**

Диссертационная работа состоит из введения, общей характеристики работы, четырех глав, заключения, списка использованных источников и приложения.

Полный объем диссертации составляет 328 страниц, в том числе: 182 страниц текста, 7 приложений на 82 страницах, 78 рисунков на 44.5 страницах и 9 таблиц на 3.5 страницах, библиографический список из 230 наименований литературных источников на 14 страницах, включающий собственные 22 публикации на 2 страницах.

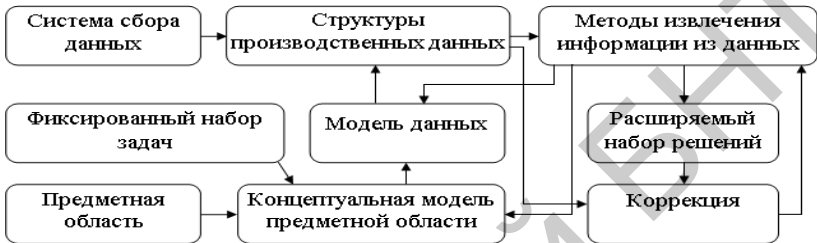
## **ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ**

Во введении рассмотрена актуальность исследований, проведенных в данной диссертационной работе и направленных на разработку моделей и методов расчета для создания современных информационных систем в целях управления процессами дискретных производств.

**В первой главе** проведен анализ современного состояния информационного моделирования, включая его развитие в промышленных информационных системах, и выявлены перспективы и проблемы информационного моделирования на уровне АСУТП.

Отсутствие концепции единой информационной системы на уровне АСУТП предприятий приводит к недостаточной гибкости реакции процессов автоматизи-

ческого управления производством на оперативные, технологические и конъюнктурные изменения в нем, включая ограничение возможностей реконфигурирования АСУТП. В связи с этим была определена примерная структура информационной системы, основанной на модели данных, представленной на рисунке 1, которая могла бы быть целесообразна на уровне АСУТП для целей производственного управления.



**Рисунок 1. - Схема информационной модели для производственного управления на уровне АСУТП, основанной на модели данных**

В качестве базовой модели для модели данных искомой системы была предложена модель очереди требований, изучаемая в теории очередей (ТО), которая используется преимущественно для моделирования процессов дискретных производств. Данная модель относится к дискретным моделям и перспективна для моделирования дискретных данных, которые только и могут быть использованы в современных информационных системах. Однако система массового обслуживания (СМО) на основе очереди, которая рассматривается в ТО, имеет ряд свойств, которые препятствуют использованию их в целях управления очередью в производственном процессе, а именно безынерционность и самоуправляемость очереди, одинаковость требований в очереди, а также расчетная оценка процесса очереди в виде вероятности реализации требования. В связи с этим необходимые отклонения от модели очереди в ТО с целью ее управления являются по отношению к ней аномалиями, перспективу отображения которых в расчете ТО следует изучить. ТО для моделирования процессов дискретных производств широко используется в компьютерных имитационных системах, но в них они опираются не на модель данных, а непосредственно на динамическую модель процессов дискретного производства, поэтому системные отношения расчета очереди, связывающие его с такой системой, должны быть преобразованы в системные отношения в соответствии со схемой на рисунке 1 с созданием модели информационной системы, названной IQM.

**Во второй главе** диссертационной работы была сделана попытка перестройки модели имитационной системы в направлении информационной сис-

темы на основе модели данных с целью создания методов извлечения информации из данных для управления с использованием очередей.

С целью изучения сложного содержания и сложного поведения требований в очередях, моделирующих процессы дискретных производств была выбрана СМО с ограниченным суммарным размером дополнительного содержания требования и временем ожидания  $M/M/n/m(\tau, QS)$  и ее версификация  $M/M/n/m(\tau, QS)$  с ограниченными суммарным размером дополнительного содержания требования и временем пребывания. Эта система изучалась также в сочетании с сопряженными процессами восстановления однородности требований, аномальных задержек требований в очереди и перестановок требований в очередях. Также было решено изучить последовательное соединение таких СМО и их соединение по схеме  $VMAP\_R\&CQ$ , в которой требования могли бы произвольно переставляться между и внутри однотипных очередей. Исходя из представления о требованиях в ТО, как об объектах очереди, отражающих дискретные предметы обработки дискретного производства, и в целях связи концепции требования с производственными данными были приведены несколько методов представления показателя требования с независимыми объектными характеристиками, в которых бы могли отображаться произвольное количество производственных данных, а именно: системным параметром  $T$  и множеством внесистемных параметров  $Q$ . Свойства такого объекта могут быть выражены численной моделью в виде комплексного числа, или даталогической моделью, в виде набора данных.

При исследовании модели расчета очереди с использованием процесса рождения и гибели (ПРГ) рассматривались все перечисленные выше образцы систем и сопряженных процессов. В качестве примера в формуле 1 приведем модель расчета очереди  $M/M/n/m(\tau, QS)$  с ограниченным временем ожидания.

$$MRR_k(T, Q) = \begin{cases} n\rho(MRR_0^{Re}(T, Q) + 2\pi i MRR_0^{Im}(T, Q)L^{(k)}(QS)), & \text{при } k = 1; \\ \frac{(n\rho)^k}{k!} \cdot (MRR_0^{Re}(T, Q) + 2\pi i MRR_0^{Im}(T, Q) \cdot L^{(k)}(QS)), & \text{при } 1 < k < n; \\ \frac{n^n}{n!} \cdot \rho^k \cdot \left\{ \left[ 1 - \exp[-n\mu\tau] \cdot \sum_{j=0}^{k-n-1} \frac{(n\mu\tau)^j}{j} \right] \cdot MRR_0^{Re}(T, Q) + \right. \\ \left. + i \left[ 1 - \exp[n\mu(\tau + iQS)] \cdot \sum_{j=0}^{k-n-1} \frac{(n\mu QS)^j}{j} \right] \cdot MRR_0^{Im}(T, Q) \cdot L^{(k)}(QS) \right\}, & \text{при } n < k \leq m+n; \end{cases} \quad (1)$$

где  $T, Q$  - соответственно системный и внесистемный параметр требования;  $QS$  - ограничение суммарного значения внесистемного параметра;  $\tau$  - ограни-



чение времени ожидания;  $n$  - количество обслуживающих приборов (ОП) в очереди;  $m$  - количество мест в очереди;  $\mu$  - интенсивность выходного потока требований;  $L^{(k)}(QS)$  - свертка Стильтьеса по  $k$  требованиям с ограничением суммарного значения внесистемного параметра. Хотя была доказана вычислимость показателя реализации требования  $MRR_k(T, Q)$ , выраженного комплексным числом, однако создать методику адекватного преобразования показателя в вероятность реализации требования не удалось. При разработке моделей расчета очереди с даталогической моделью требований был применен метод, разработанный О.М. Тихоненко. Пример одной из созданных моделей расчета очереди с определением вероятности реализации требования  $P_k(T, Q)$  приведен в формуле (2).

$$P_k(T, Q) = \begin{cases} \frac{(n\rho)^k}{k!} P_0(T, Q) L^{(k)}(QS) B_k(T), & \text{при } 1 \leq k < n; \\ \frac{n^n}{n!} \rho^k \left[ 1 - \exp[-n\mu\tau] \sum_{j=0}^{k-n-1} \frac{(n\mu\tau)^j}{j!} \right] P_0(T, Q) L^{(k)}(QS) B_k(T), & \text{при } n < k \leq m+n; \end{cases} \quad (2)$$

Хотя формально эта модель имеет перспективы вычислимости, но ее исследование в контексте образцов и аномалий модели очереди ТО, определенных для исследования, выявило проблемы, неразрешимые в рамках ТО, которые представлены в таблице 1.

Таблица 1. – Проблемы моделирования, неразрешимые в рамках существующих методов и подходов теории очередей

Свойство СМО	Проблемы модели расчета очереди с аномалией свойства СМО
Безынерционность	Невозможность моделирования точной локализации свободных вакансий требований в очереди
Самоуправляемость	Невозможность моделирования в едином математическом выражении управляемых процессов из-за разнообразия условий и схем управления
Самоуправляемость	Не поддерживает идентификации отдельных приборов одной очереди и их производственных потоков
Одинаковость требований	Не поддерживает моделирование аномалий одинаковости как свойств объекта
Одинаковость требований	Не поддерживает моделирование каскадного восстановления однородности требований в привязке к местам очереди
Одинаковость требований	Не поддерживает моделирование индивидуальных ограничений для требований в очереди
Данные и оценки расчета	Агрегационные оценки дискретных потоков требований как исходные данные и как характеристики связи с процессами управления не поддерживают управление в реальном времени
Данные и оценки расчета	Вероятность реализации требований как агрегационная оценка не поддерживает актуальную обратную связь в реальном времени и требует методики установления актуальности критерия управления.
Данные и оценки расчета	Использование сложных вычислительных конструкций, чувствительных к неточности производственных данных

Для устранения этих проблем были предложены новая системная модель очереди, названная производственной, и новая дискретная расчетная модель очереди. Их отличия от моделей ТО представлены в таблицах 2 и 3.

Таблица 2. – Различия очереди ТО и производственной очереди

Концепт очереди	Очередь ТО	Производственная очередь
Требование	Свойства объекта	Процесс формирования данных в очереди
Процесс требования	Нет	Процесс формирования данных в требованиях, связанных причинно-следственными связями
Очередь	Безынерционная	Инерционная
Место очереди	Определяется требованием	Определяется независимо от требования
Модель места очереди	Нет	Вакансия требования
Обслуживающий прибор (ОП)	Вне очереди	Место очереди с особыми условиями взаимодействия с требованием
Источник очереди	Вне очереди	Последнее место очереди
Нарушение порядка Ю	Потери	Управляющее воздействие

Таблица 3. – Различия поточно-дискретной расчетной модели очереди ТО и дискретной расчетной модели производственной очереди

Концепт расчета очереди	Очередь ТО	Производственная очередь
Системные ограничения расчета	Разомкнутая система с входным и выходными потоками требований	Замкнутая система с первоначально установленным количеством требований и контролируемые состояниями
Цель расчета	Вероятность реализации требования	Сравнение прогноза целевого события требования с критериями управляющего процесса
Форма представления расчета	Расчет по модели расчета очереди в виде математического выражения	Расчет в сочетании гибкой вычислительной конструкции, моделирующей особенности дискретного процесса, и модели расчета очереди

В соответствии с представленными выше положениями была разработана дискретная динамическая модель расчета производственной очереди со счетными переменными очереди, которая создавалась на основе поточно-дискретной динамической модели расчета очереди, изложенной Н. Джейсуолом:

$$P_k^i(\alpha_k, \gamma_{k+0}, \Delta\tau_k) = a(\alpha_k, \gamma_{k+0}, \Delta\tau_k) \times \sum_{j=0}^{k-1} (-1)^j \binom{nj}{j} \times \exp[\Delta\tau_{nj} \times (\gamma_{nj+0} \times F(\gamma_{nj+0}) - \alpha_{nj} - \beta_{nj})], \quad (3)$$

$$\text{где } a_k(\alpha_k, \gamma_{k+0}, \Delta\tau_k) = \frac{(k-1)!}{N!} \cdot \exp(\Delta\tau_k) \cdot \left[ \sum_{j=0}^{k-1} \binom{nj}{j} \cdot \exp(\Delta\tau_{nj} \cdot (\gamma_0 - \alpha_{nj} - \beta_{nj})) \right]^{-1}, \quad k = \overline{1, N}.$$

$k = \beta_k + \gamma_k + 1$ ;  $\beta_k$  – количество требований подлежащих инореализации на  $i$ -ом ИР;  $\gamma_k$  – количество требований подлежащих реализации на  $i$ -ом ИР, которые определяются из выражения;  $\alpha_k$  – количество свободных вакансий требований в очереди, ограниченной  $k$ -м требованием на момент времени фиксации ИР,  $\alpha_k = h - k$ ;  $h$  – номер места очереди, начиная с  $h = 0$  соответствующий ОП.

Достоверность всех динамических моделей расчета очереди, разработанных в этой диссертации, подтверждена посредством обратного приведения их к классической модели расчета ПРГ в условиях отсутствия в модели рассчитываемой очереди аномалий, отличающих ее от модели очереди в ТО. Управляющее воздействие на очередь представляет собой план инореализаций  $\beta_k$  требований из очереди, рассчитываемом в итерационном алгоритме. Для сочетания вычислений в дискретной модели расчета очереди в аспектах управления, а именно: расчета управляющего воздействия, определения критерия управляющего воздействия и оперативного уточнения управляющего воздействия в диссертации была разработана методология управления производственной очередью, названная QPC (Queue Processes Calculations), схема которой представлена на рисунке 2.



ДМРПО – одна из дискретных моделей расчета производственной очереди, выбор которой определяется типом производственной очереди;

$\beta_k$  - элемент плана управляющих воздействий на очередь;

$\Delta\tau_k^\beta(P_\beta), \Delta\tau_k$  – рассчитываемое значение и ограничение характерного отрезка времени элемента последовательности контролируемых событий очереди.

$P_k^i(\Delta\tau_k), P_\beta$  – рассчитываемое значение и задаваемое ограничение вероятности реализации требования в целевом событии в очереди;

$\Delta t_k$  - характерный отрезок времени элемента последовательности контролируемых событий очереди

**Рисунок 2. – Методология управления производственной очередью QPC**

В расчете по формуле (3) не поддерживаются связь требования с внесистемными параметрами, поскольку это угрожает перспективам вычислимости дифференциального уравнения процесса очереди, решением которого является формула (3). Чтобы избежать проблем с вычислимостью дифференциальных уравнений и обеспечить в расчете полноту моделирования требования и процесса требования было предложено использовать дискретную аппроксимирующую модель расчета производственной очереди со счетными переменными очереди в соответствии с формулами (4) и (5).

$$\Delta t_k = f_a(\alpha_k, \beta_k, \gamma_{k+0}) + \Delta; \quad (4)$$

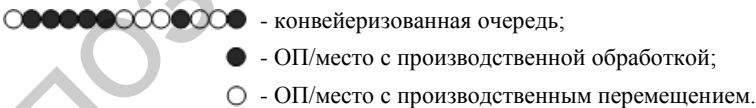
$$P_k(\alpha_k, \gamma_{k+0}, \Delta t_k) = 0,5 + \frac{P(\Delta t_k^M \pm \Delta)}{2}. \quad (5)$$

где  $\Delta t_k^M$  - математическое ожидание значения  $\Delta t_k$ ;  $\pm \Delta$  - доверительный интервал значений  $\Delta t_k$ ;  $P(\Delta t_k^M \pm \Delta)$  - надежность доверительного интервала;  $f_a(\alpha_k, \beta_k, \gamma_{k+0})$  - аппроксимирующее выражение относительно переменных очереди  $\alpha_k, \beta_k, \gamma_{k+0}$ .

Для перевода расчетных оценок аппроксимирующей модели в оценки дискретной динамической модели расчета очереди, на которых основывается QPC, разработана согласующая модель 1 на основе соотношения (5). При этом были выявлены дополнительные возможности оперативного уточнения управляющего воздействия, связанные с оценкой точности в виде доверительного интервала значений, была выявлена возможность расчета не только в переменных очереди, но и в переменных процесса требования в соответствии с формулой (6).

$$\Delta t_k = f_{a1}(\alpha_k + \beta_k, \gamma_{k+0}) + \Delta_1 + \sum_{i=0}^{\gamma} f_{a2}(\{X\}_i) + \Delta_2, \quad (6)$$

где  $f_{a2}(\{X\}_i)$  - расчетное значение времени обслуживания  $i$ -го требования в ОП в соответствии с  $i$ -м набором предпосылок  $\{X\}_i$ , они же переменные процесса требования. Переменные процесса требования могут определять обработку требования на месте очереди, а также процесс перехода на новое место производственной очереди, изображенной на рисунке 3 в следующем виде:



**Рисунок 3. – Представление конвейеризованной очереди как последовательности производственных обработок и перемещений требований**

В качестве дискретной расчетной модели конвейеризованной очереди с переменными процесса требования предложено использовать временную развертку процесса очереди на IR крайнего  $k$ -го требования замкнутой СМО, как это показано на рисунке 4.

Последняя рассматривается как вспомогательная вычислительная структура переменных вычислительного процесса QPC, в которой формализуются

результаты частных расчетов по аппроксимирующим моделям расчета обработки требований на ОП мест очереди.

h=n-1			...	h=0			$\tau_{r,i,a} - \Delta_{a,\max}$	№ тр
a	us	rt	...	a	us	rt		
0	0	0	...	0	$t_{us}^{0,0}$	$t_{rt}^{0,0}$	-	0
0	0	0	...	$t_a^{1,0}$	$t_{us}^{1,0}$	$t_{rt}^{1,0}$	$\tau_{r,i,a}^{1,0} - \Delta_{a,\max}^{1,0}$	1

0	$t_{us}^{i-1,n-1}$	$t_{rt}^{i-1,n-1}$	...	$t_a^{i-1,0}$	$t_{us}^{i-1,0}$	$t_{rt}^{i-1,0}$	$\tau_{r,i,a}^{i-1,0} - \Delta_{a,\max}^{i-1,0}$	i - 1
$t_a^{i,n-1}$	$t_{us}^{i,n-1}$	$t_{rt}^{i,n-1}$	...	$t_a^{i,0}$	$t_{us}^{i,0}$	$t_{rt}^{i,0}$	$\tau_{r,i,a}^{i,0} - \Delta_{a,\max}^{i,0}$	i
$t_a^{i+1,n-1}$	$t_{us}^{i+1,n-1}$	$t_{rt}^{i+1,n-1}$	...	$t_a^{i+1,0}$	$t_{us}^{i+1,0}$	$t_{rt}^{i+1,0}$	$\tau_{r,i,a}^{i+1,0} - \Delta_{a,\max}^{i+1,0}$	i + 1

$t_a^{k,n-1}$	$t_{us}^{k,n-1}$	$t_{rt}^{k,n-1}$	...	$t_a^{k,0}$	$t_{us}^{k,0}$	$t_{rt}^{k,0}$	$\tau_{r,i,a}^{k,0} - \Delta_{a,\max}^{k,0}$	k
---------------	------------------	------------------	-----	-------------	----------------	----------------	--	---

**Рисунок 4. – Фрагмент временной развертки процесса очереди на IR крайнего k-го требования замкнутой СМО**

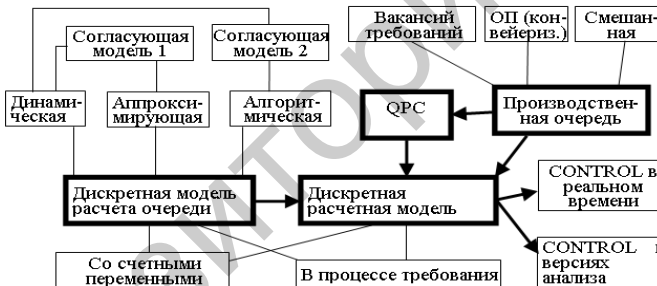
Для каждого места очереди  $h$  определяется время поступления  $t_a^{i,n-1}$  и время полезного пребывания требования  $t_{us}^{i,n-1}$  на этом месте, а также время его готовности к переходу на другое место очереди  $t_{rt}^{k,n-1}$ . Далее производится расчет соответствующих значений времени по алгоритму, воспроизводящему логику перемещения требования в очереди до места  $h=0$  соответствующему завершающему ОП и сравнение его результата с заданным значением  $\tau_{r,i,a} - \Delta_{a,\max}$ . Разработан алгоритм расчета для заполнения временной развертки, представленной на рисунке 4 в методологии QPC как в процессе расчета управляющего воздействия, так и в процессе управления рисками. Были рассмотрены сопряжения процессов в конвейеризованной очереди как сопряжение вычислительных структур этих процессов, где один процесс управляет другим процессом. Исследовался также сопряженный процесс перестановок требований на основе системы R&CQ, который был представлен как внешний процесс управления. Для перевода расчетных оценок алгоритмической модели в оценки динамической модели разработана согласующая модель 2. Архитектура дискретного моделирования расчета процессов дискретного производства представлена на рисунке 5.

**В третьей главе** предложены концепции фактологических структур (QFS), моделирующих производственные очереди, и комплексного орграфа для моделирования процессов дискретного производства в производственных очередях.

Исходя из целей поддержания вычислительного процесса QPC в части формирования вычислительных структур типа временной развертки процесса

очереди, представленной на рисунке 2, в исследовании была предложена концепция модели данных QFS. QFS представляет собой связанные двумерные таблицы, в которых требования располагаются в порядке их поступления в соответствующие очереди.

Требование представляет собой последовательность многомерных фактов, отображающих события требования в очереди, в порядке их следования в моделируемом процессе. Измерения одного и того же факта могут располагаться в разных таблицах требований связывая их таким образом друг с другом. Процесс, который отображается посредством такой связи с требованием основного производственного процесса, назван влияющим (узел влияния). Для отображения причинно-следственных связей между требованиями влияющих процессов, применены иерархические и замещающие ключи, разработанные для использования в модели RM/T, что дает возможность извлечения реляционных данных из структур QFS с использованием языка SQL в части команд, созданных на основе реляционного исчисления. Таким образом, обеспечивается совместимость модели данных QFS с реляционной моделью данных. Для отражения связи дискретного производства с QFS предложена



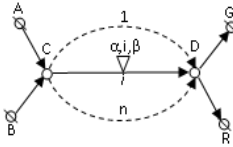
**Рисунок 5. – Архитектура дискретного моделирования расчета процессов дискретного производства**

концептуальная модель предметной области в виде комплексного орграфа с узлами простой трансформации и дистрибуции требований. В диссертации был рассмотрен пример отображения в QFS фрагмента производственной системы как в части технологического процесса, так и в части процесса обслуживания КИП и А, а также рассмотрен пример транспортной системы доставки товара. На рисунке 6 представлен фрагмент QFS в части влияющего процесса техобслуживания измерительного преобразователя.

На рисунке 6 процессы D,G и D,E описывают соответственно ремонт демонтированных приборов и их утилизацию, а таблица требований (C,i,D) на этом же рисунке требований (C,i,D) на этом же рисунке описывает историю

узла влияния (C,i,D), определяемого относительно основного производственного процесса. Параметры  $Loc$  и  $S\#$  описывают расположение и серийный номер прибора, а параметры  $t^{in}$  и  $S^{in}$ ;  $t^{out}$  и  $S^{out}$  принадлежат фактам связи требований разных таблиц требований в QFS.

(C, i, D)



$t^{in}$	$S^{in}$	Loc	S#	L	..	$S^{out}$	$t^{out}$
1046	A,C( $t^{in}=920$ )	3	PM3117	$\alpha, i, \beta$	..	Null	Null
937	B,C( $t^{in}=730$ )	2	PM3117	$\alpha, i, \beta$	..	C,i,D	108
631	A,C( $t^{in}=420$ )	2	PM5682	$\alpha, i, \beta$	..	D,G	305
229	A,C( $t^{in}=32$ )	2	PM4378	$\alpha, i, \beta$	..	D,E	598

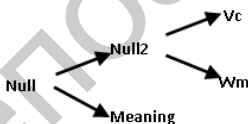
Рисунок 6. – Комплексный орграф и таблица требований техобслуживания измерительного преобразователя

По аналогии с ограничениями на целостность данных, установленными для реляционной модели для QFS были сформулированы положения процессной целостности данных на уровне факта, требования и процесса требования. Соответствия между реляционной моделью и QFS отображены в таблице 4.

Таблица 4. – Ограничения на целостность данных в IRM и QFS

Уровень целостности данных в IRM	Процессная целостность данных QFS	Уровень контроля в QFS	Нарушение целостности данных в QFS
Атрибут (1НФ)	Факт	Измерения факта	Wm
Кортеж (2 и 3НФ)	Требование	Факт	Vc
Ссылочная	Процесс требования	Ключи $S^{in}, S^{out}$	Null2,Wm
Категорная	Категорная	Ключ $t^{in}$	Null2, Wm

Контроль процессной целостности данных основан на разрешении состояний Null в таблице требований в процессе формирования данных в требовании и отображен на рисунке 7.



Null – ожидание значения;  
 Meaning – значение;  
 Null2 – невозможность значения;  
 Vc – потеря требования;  
 Wm – сбой фиксации или сбой публикации факта.

Рисунок 7. – Разрешение Null состояний в QFS

В четвертой главе рассмотрены внутренние механизмы IQM для создания и поддержки прогнозов целевых событий управления в производственных очередях, а также рассмотрены особенности прогнозного дискретного управления в очередях.

Доказана возможность представления вычислительного процесса  $PR$  в IQM как процесса прогноза в следующей общей записи:

$$PR(X_n; y_j; A_j\{M\}; Y_j^{n2}, P_j, +\delta_j^1 Y_j^{n2}, -\delta_j^2 Y_j^{n2}), \quad (7)$$

где  $Y_j^{n2}$  - прогнозируемое значение для  $j$ -го требования в  $n2$  событии очереди;  $X_n$  - диахроническая последовательность предпосылок вычислительного процесса;  $A_j$  – алгоритм, задающий вычислительный процесс для  $j$ -го требования;  $\{M\}$  – набор математических моделей, использованных в алгоритме  $A_j$ ;  $P_j$  – надежность прогноза  $Y_j^{n2}$  для  $j$ -го требования одинаковая для обоих доверительных полуинтервалов;  $+\delta_j^1, -\delta_j^2$  - доверительный интервал в виде составляющих его соответственно отрицательного и положительного полуинтервалов в относительных значениях и  $\delta_j^1 Y_j^{n2}, -\delta_j^2 Y_j^{n2}$  - в абсолютных для  $j$ -го требования.

Исходя из представления (7) вычислительного процесса, позволяющего сравнивать разные версии посредством точности расчета по данным единого прецедента, были предложены алгоритм синтеза такого процесса в реальном времени и его оценка посредством класса точности прогноза. Кроме того, поскольку управление вычислительным процессом в IQM сводится к управлению прогнозом в сочетании с отдельными информационными процессами планирования управляющего воздействия и уточнения критерия управляющего воздействия, то такое управление было названо прогнозным. В рамках модельных примеров для задач ремонтного производства было выяснено, что за счет автоматического прогнозного управления дистрибуцией требований риск ошибочности дистрибуции в ходе автоматического уточнения прогноза целевой величины может быть уменьшен в 5 раз и в ходе управления глубиной прогнозирования – в 2,5 раза. На рисунке 8 приведен пример уменьшения рисков ошибочности управления дистрибуцией требований  $P_j^{md}$  с 6,8% до 0,9% при уточнении одного из прогнозов с класса точности прогноза 5 до класса точности 2,5.

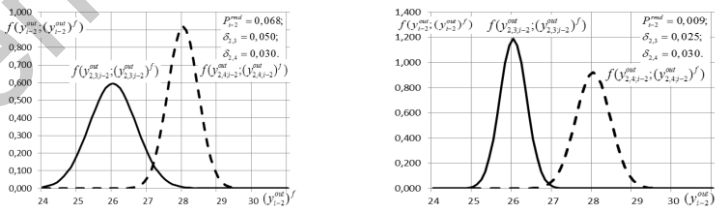


Рисунок 8. – Изменение риска ошибочности управления дистрибуцией требований при уточнении одного из прогнозов



## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

### Основные научные результаты диссертации

1. Разработаны поточно-дискретные динамические модели расчета очереди. В них требование было представлено как объект с независимыми системным и внесистемными параметрами, представляемыми в виде комплексного числа или в виде набора данных [1, 3]. Было выявлено, что для устранения недостатков поточно-дискретных динамических моделей расчета очереди необходимо произвести изменения в системной и расчетной моделях очереди, а также в методах использования модели расчета очереди в процессах управления ею [5, 6].

2. Предложены версии системной и дискретной расчетной моделей очереди для отображения процессов дискретных производств с целью управления ими. В системной модели очередь, которая названа производственной, представляет собой последовательность не только требований, но независимых от них мест очереди, а требование представляет собой отдельный событийный процесс формирования данных в очереди однотипных процессов. Дискретная расчетная модель системы производственных очередей строится на событийной схеме в ограниченном количестве требований данной системы [2, 9].

3. Предложена методология управления производственной очередью (QPC), включающая в себя расчет управляющего воздействия на очередь, управление рисками и оперативное уточнение управляющего воздействия на очередь в рамках одной из дискретных моделей расчета производственной очереди, дискретной расчетной модели очереди и событийной схемы управления [6, 15, 22].

4. Предложена дискретная расчетная модель производственной очереди со счетными переменными производственной очереди для использования ее в рамках QPC. Для нее разработана дискретная динамическая модель расчета производственной очереди со счетными переменными очереди. Предложено также использовать аппроксимирующую модель расчета производственной очереди со счетными переменными очереди для чего разработана согласующая модель, связывающая ее с QPC. Проведено сравнение данных моделей расчета очереди. Предложена дискретная расчетная модель производственной очереди в процессе требования. Для нее разработано аппроксимирующее моделирование расчета производственной очереди в процессе требования и согласующая модель, связывающая ее с методологией QPC. Разработаны образцы специализированных алгоритмов, связывающих производственные данные с расчетными значениями прогнозов системы управления очередью [3, 13, 14, 22].

5. Разработана модель данных для информационной системы дискретного производства на основе системной и дискретной расчетной моделей производственной очереди, которая представлена как фактологическая структура очередей QFS в виде связанных двумерных таблиц требований. Последние представляют собой диахронические последовательности фактов, отражающие событийную схему требования в очереди. Была предложена концептуальная модель дискретного производства в виде комплексного орграфа с узлами простой трансформации и с узлами дистрибуции требований [7, 15, 22].

6. В рамках внутренних взаимодействий в IQM предложена последовательность операций для преобразования структур QFS в вычислительные структуры анализа и вычислительные структуры расчета производственной очереди в процессе требования в реальном времени. Рассмотрены особенности прогнозного управления дистрибуцией и простой трансформацией требования в методологии QPC. Выявлены возможные технические эффекты от использования IQM на уровне модели данных QFS, на уровне информационной системы IQM и на уровне производственного управления, ключевым фактором для реализации которых является разработка СУБД на основе модели данных QFS [22].

#### **Рекомендации по практическому использованию результатов.**

Разработанные структуры и методы рекомендуется использовать при проектировании информационных систем для управления процессами дискретных производств, а также как основу для научных исследований информационного моделирования процессов непрерывных производств посредством очередей, а также информационного моделирования процессов дискретных производств как в производственных очередях, так и в узлах с функциями обработки, выходящими за пределы дистрибуции и простой трансформации требований. Предложенные подходы могут быть использованы для создания гибридных реляционных баз данных IQM и IRM, в которых журнал транзакций полностью или частично представляет собой фактологическую структуру на основе очередей, из которой традиционные реляционные структуры данных могут воспроизводиться и обновляться посредством запросов на языке SQL в той его части, которая реализует реляционное исчисление. Изложенный в диссертации материал может быть использован в преподавании курсов «Базы данных», «Информационные системы» как подход дополняющий реляционную модель данных моделью данных на основе очереди.

Информационную модель на основе очередей планируется внедрить при создании системы управления технологическими процессами авторемонтного предприятия.

## СПИСОК ПУБЛИКАЦИЙ СОИСКАТЕЛЯ

### Статьи в научных журналах

1. Зирко, О.Ф. Требования с комплексными показателями в системах массового обслуживания / О.Ф. Зирко // Труды БГТУ. Сер. VI, Физ.-мат. науки и информат. – 2007. – Вып. XV. – С.130 – 133.
2. Зирко, О.Ф. Теория массового обслуживания в циклических процессах автоматического управления / О.Ф. Зирко, В.И. Кудрявцев // Труды БГТУ. Сер. VI. Физ.-мат. науки и информ. – 2007. – Вып. XV. – С.134 – 137.
3. Зирко, О.Ф. ВМАР – модели систем массового обслуживания с ограниченным пространством при комплексном представлении требований/ О.Ф. Зирко, А.Ф. Кобайло // Труды БГТУ. Сер. VI. Физ.-мат. науки и информ. – 2008. – Вып. XVI. – С.145 – 148.
4. Кудрявцев, В.И. Модель системы массового обслуживания с высокой адаптивностью / В.И. Кудрявцев, О.Ф. Зирко // Труды БГТУ. Сер. VI. Физ.-мат. науки и информ. – 2008. – Вып. XV. – С.149 – 152.
5. Зирко, О.Ф. Расчет вероятности реализации требований в комплексной структурной модели системы массового обслуживания / О.Ф. Зирко, В.И. Кудрявцев // Труды БГТУ. Сер. VI. Физ.-мат. науки и информ. – 2009. – Вып. XVII. – С.132 – 136.
6. Кудрявцев, В.И. Описание ВМАР системы массового обслуживания в комплексной структурной модели / В.И. Кудрявцев, О.Ф. Зирко // Труды БГТУ. Сер. VI. Физ.-мат. науки и информ. – 2009. – Вып. XV. – С.149 – 152.
7. Зирко, О.Ф. Графоаналитический метод представления комплексных систем массового обслуживания / О.Ф. Зирко, В.И. Кудрявцев // Труды БГТУ. Сер. VI. Физ.-мат. науки и информ. – 2010. – Вып. XVIII. – С.180 – 185.

### Статьи в материалах научных конференций

8. Зирко, О.Ф. Проблемы обучения студентов сетевым технологиям и системам массового обслуживания на историческом факультете / О.Ф. Зирко // Матэрыялы III Міжнароднай навуковай канферэнцыі. – Полацк: Полацкі гісторыка-культурны музей-запаведнік, ПГУ, 1995. – С.140-143.
9. Зирко, О.Ф. Системы массового обслуживания с задержкой и их применение в экономике // О.Ф. Зирко // Компьютерный анализ данных и моделирование: сборник научных статей V Международной конференции, Минск, 8-12 июня 1998 г. – Мн.:БГУ, 1998. Часть 3: А-К – С.151–159.
10. Zirko, Olga F. Delay Process in the models of Queuing Systems / Olga F Zirko. — Poland: IEE, 2000. – p. 185–191.
11. Zirko, O.F. MultiAgent Querying systems / O.F. Zirko, B.A. Zhelezko // Komputernyi analiz dannyh i modelirovaniee. – NITE, Poland, 2001. – p. 94-121.
12. Зирко, О.Ф. Источник требований и его роль в системах массового обслуживания / О.Ф. Зирко // Новые информационные технологии в образовании: труды IV международной конференции, Минск, 10-14 декабря 2000 – Мн.: БГЭУ, 2000. – Т.1. – С.51 –54.

13. Зирко, О.Ф. Процесс задержки как система массового обслуживания – средство построения экономических моделей / О.Ф. Зирко // Новые информационные технологии в образовании: труды V международной конференции, Минск, 26-30 октября 2002. – Мн.: БГЭУ, 2002. – Т.1. – С.91 – 95

14. Зирко, О.Ф. Системы массового обслуживания с задержкой и их применение в экономике / О.Ф. Зирко // Компьютерный анализ данных и моделирование : Сборник научных статей VI Международной конференции, Минск, 2002 г. / Белорусский государственный университет; под ред. проф. С.А. Айвазяна и проф. Ю.С.Харина. – Мн.: БГУ, 2002. – Часть 3: А-К – С.151-158.

15. Кудрявцев, В. И., Зирко О. Ф. Основы информационного моделирования производственных процессов с использованием очередей / В. И. Кудрявцев, О. Ф. Зирко // Научно-информационное обеспечение инновационного развития АПК: матер Международной науч.-практ. конф. – М.: ФГБНУ «Росинформагротех», 2012. – С. 414–423.

#### **Тезисы докладов в материалах конференций**

16. Зирко, О.Ф. Сети ЭВМ и системы массового обслуживания в исторических исследованиях / О.Ф. Зирко // Информационный бюллетень Ассоциации “История и компьютер”, Москва, апрель 1995 г. – М: МГУ, 1995. – №14 – С.150-152.

17. Зирко, О.Ф. Возможности использования систем массового обслуживания в архивах / О.Ф. Зирко // Новые информационные технологии в образовании: Труды второй международной конференции “Историческая информатика”. – Мн.: БелНИИДАД, 1996. – Т.III. – С.18-21.

18. Зирко, О.Ф. Архив как система массового обслуживания / О.Ф. Зирко // Информационный бюллетень Ассоциации “История и компьютер”. – М.: МГУ, 1996. – № 17. – С. 45-47.

19. Зирко, О.Ф. Проблемы использования систем массового обслуживания в исторических исследованиях / О.Ф. Зирко // Информационный бюллетень Ассоциации “История и компьютер”, Минск, март 1997. – Минск: БГУ, 1997. – № 21. – С.18–20.

20. Зирко, О.Ф. Будущее систем массового обслуживания в экономике / О.Ф. Зирко // Новые информационные технологии в образовании : Труды Третьей международной конференции, Минск, 12-13 ноября 1998 г. – Мн.: БГЭУ, 1998. –Т.II. – С. 54-56.

21. Зирко, О.Ф. Операция “задержки” требований как инструменты анализа моделей систем массового обслуживания / О.Ф. Зирко // PATTERN recognition and INFOMATION processing. – Minsk–Szczecin: Belarus-Poland, IEE,1999. – V.2 – pp. 325–331.

22. Зирко, О.Ф. Кудрявцев В.И. Информационное моделирование массовых производственных процессов / О.Ф. Зирко, В.И. Кудрявцев // Развитие информатизации и государственной системы научно-технической информации (РИНТИ-2013): доклады XII Международной конференции, Минск, 20 ноября 2013 г. – Минск: ОИПИ НАН Беларуси, 2013. – С.140-146.

## РЭЗІЮМЭ

Зірко Вольга Фёдараўна

### **Інфармацыйнае мадэляванне працэсаў дыскрэтных вытворчасцей на аснове чэргаў патрабаванняў**

**Ключавыя словы:** кіраванне працэсамі дыскрэтнай вытворчасці; інфармацыйная сістэма; чарга патрабаванняў; вытворчая чарга; тэорыя масавага абслугоўвання; камплексны орграф прыкладной галіны; структура фактаў; вылічальныя працэсы сістэмы кіравання; вылічальныя працэсы інфармацыйнай сістэмы.

**Мэтай працы** з'яўляецца стварэнне тэарэтычных асноў інфармацыйнага мадэлявання працэсаў дыскрэтных вытворчасцей з выкарыстаннем чэргаў для вытворчага кіравання.

**Атрыманыя вынікі і іх навізна:** Распрацавана сістэма струменева-дыскрэтных дынамічных мадэляў разліку чаргі з выкарыстаннем прад-ўяўленні патрабаванняў ў разліку ў выглядзе комплекснага ліку, створаная ў мэтах даследавання вылічальнасці такіх мадэляў разліку. Распрацавана сістэма струменева-дыскрэтных дынамічных мадэляў разліку чаргі, створаных на аснове metodyкі А.М. Ціханенка, для ўліку пазасістэмны параметраў патрабаванняў ў мэтах даследавання сістэмных, разліковых і мэтавых канфліктаў мадэлявання працэсаў дыскрэтных вытворчасцей пры разліку чэргаў, а вынікі гэтага даследавання стварылі перадумовы для змены сістэмнага, разліковага мадэлявання і мадэлявання кіравання чэргамі. Прадстаўлена канцэпцыя вытворчай чаргі, якая фармалізуе працэсы дыскрэтных вытворчасцей для наступнага разліку. Распрацавана канцэпцыя дыскрэтнай разліковай мадэлі вытворчай чаргі з падліковай зменнымі чэргі і зменнымі працэсу патрабаванняў. Створана метадалогія кіравання вытворчай чаргой QPC. Распрацаваны дыскрэтная дынамічная мадэль разліку вытворчай чаргі з падліковай зменнымі працэсу чэргі і алгарытмічная мадэль разліку вытворчай чаргі з зменнымі працэсу патрабаванняў. Распрацавана канцэптэуальная мадэль прадметнай вобласці інфармацыйнай сістэмы для кіравання вытворчымі чэргамі IQM ў выглядзе комплекснага орграфа. Створаны і даследаваны факталагічныя структуры чэргаў QFS. Прапанаваны metodyка пераўтварэнні QFS ў вылічальныя мадэлі аналізу і кіравання алгарытмічнай мадэлі разліку чаргі з зменнымі працэсу патрабаванняў, і канцэпцыя прагнознага кіравання чаргой.

## РЕЗЮМЕ

Зирко Ольга Федоровна

### **Информационное моделирование процессов дискретных производств на основе очередей требований**

**Ключевые слова:** управление процессами дискретного производства; информационная система; очереди требований; теория массового обслуживания; комплексный оргграф прикладной области; моделирующая очереди структура фактов; вычислительные процессы системы управления; вычислительные процессы информационной системы

**Целью работы** является создание теоретических основ информационного моделирования процессов дискретных производств с использованием очередей для производственного управления.

**Полученные результаты и их новизна:** Разработана система поточно-дискретных динамических моделей расчета очереди с использованием представления требования в расчете в виде комплексного числа, созданная в целях исследования вычислимости таких моделей расчета. Разработана система поточно-дискретных динамических моделей расчета очереди, созданных на основе методики О.М. Тихоненко, для учета внесистемных параметров требования в целях исследования системных, расчетных и целевых конфликтов моделирования процессов дискретных производств при расчете очередей, а результаты этого исследования создали предпосылки для изменения системного, расчетного моделирования и моделирования управления очередями. Представлены концепция производственной очереди, формализующей процессы дискретных производств, а также концепция дискретной расчетной модели производственной очереди со счетными переменными очереди и переменными процесса требования. Создана методология управления производственной очередью (QPC). Разработаны дискретная динамическая модель расчета производственной очереди со счетными переменными процесса очереди и алгоритмическая модель расчета производственной очереди с переменными процесса требования. Разработана концептуальная модель предметной области информационной системы для управления производственными очередями IQM в виде комплексного оргграфа. Созданы и исследованы фактологические структуры очередей QFS. Предложены методика преобразования QFS в вычислительные структуры анализа и управления алгоритмической модели расчета очереди с переменными процесса требования, и концепция прогнозного управления очередью в рамках QPC.

## SUMMARY

Zirko Olga Fedorovna

### **Information modeling of discrete manufacturing processes queues-based requirements**

**Keywords:** discrete manufacturing process control; information system; queues of requirements, queuing theory, complex application area digraph; simulating the queue structure of facts; computational processes management system; computational processes information system.

**The aim** is the establishment of the theoretical foundations of information modeling discrete manufacturing processes using queues for production control.

**The results obtained and their novelty:** A system thread - discrete dynamical models for calculating queue using representation requirements in terms as a complex number, created to study the computability of such calculation models. A system of continuous- discrete dynamical models for calculating the queue created on the basis of a technique O.M. Tihonenko to account for non-system parameters in order to study the requirements of the system, settlement of conflicts and target simulation of discrete production processes in the calculation of the queue, and the results of this study set the stage for changes in the system, the design modeling and simulation of queuing . It were introduced the concept of a production line, formalizes the process of discrete production for the subsequent calculation. It was ordered the concept of discrete computational model of the production line with countable variables queue and process variables requirements were elaborated. It was established methodology for managing production queue QPC. It were developed a discrete dynamical model calculation of the production line with countable process variables queue and algorithmic model calculation of the production line with the requirements of the process variables. It was elaborated a conceptual domain model information system to manage production queues IQM as a complete digraph. It was created and studied the structure queues factual QFS. It was established a method for converting QFS in computational structure analysis and computational management structure algorithmic model calculation queue process variables requirements. The concept of predictive queue management had been proposed.

Научное издание

**ЗИРКО** Ольга Федоровна

**ИНФОРМАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ  
ДИСКРЕТНЫХ ПРОИЗВОДСТВ НА ОСНОВЕ  
ОЧЕРЕДЕЙ ТРЕБОВАНИЙ**

Автореферат  
диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

по специальности 05.13.01 – Системный анализ,  
управление и обработка информации

Подписано в печать 13.11.2014. Формат 60×84<sup>1</sup>/<sub>16</sub>. Бумага офсетная. Ризография.

Усл. печ. л. 1,28. Уч.-изд. л. 1,00. Тираж 80. Заказ 998.

Издатель и полиграфическое исполнение: Белорусский национальный технический университет.

Свидетельство о государственной регистрации издателя, изготовителя, распространителя  
печатных изданий № 1/173 от 12.02.2014. Пр. Независимости, 65. 220013, г. Минск.