

ОТОБРАЖЕНИЕ ОПИСАНИЯ БИЗНЕС-ПРОЦЕССА В ОПЕРАЦИОННОЕ ПРОСТРАНСТВО ОРГАНИЗАЦИОННО-ТЕХНИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ

ОКСАНИЧ И.Г., ШЕВЧЕНКО И.В.,
КРАСНОПОЛЬСКАЯ Ю.А.

Рассматривается формальное описание, отображающее логические связи множества бизнес-процессов и бизнес-операций в операционном пространстве организационно-технической системы. Предлагаются динамические модели для мониторинга многофазного обслуживания множества бизнес-процессов на множестве автоматизированных рабочих мест.

Ключевые слова: бизнес-процесс, бизнес-операция, операционное пространство, информационная модель, мониторинг, динамическая модель.

Key words: business process, business operation, operating space, information model, monitoring, dynamic model.

1. Введение

Автоматизация бизнес-процессов в организационно-технических системах (ОТС), где происходит совместное выполнение бизнес-операций человеком-оператором (h-агентом) и b-агентом (ботом), рождает проблему статического и динамического моделирования операционного пространства, в котором сочетаются бизнес-процессы (БП), бизнес-операции (БО) и автоматизированные рабочие места (АРМ). Моделирование БП обычно проводится при помощи известных графических нотаций, таких как DFD, IDEF0, IDEF3 [1]. Эти методологии ориентированы на аналитиков, работающих над реинжинирингом БП. Широко распространена также методология ARIS – продукт компании IDS Scheer для моделирования бизнес-процессов [2]. В методологии ARIS для описания бизнес-процессов используется большое количество типов графических моделей, каждая из которых описывает тот или иной аспект. Нужно упомянуть также язык BPEL (Business Process Execution Language) – язык на основе XML для формального описания бизнес-процессов и протоколов их взаимодействия между собой [3]. BPEL расширяет модель взаимодействия веб-служб и включает в эту модель поддержку транзакций. Перечисленные нотации не соответствуют требованиям математической формализации, необходимой для строгого описания операционного пространства ОТС. В работе [4] описываются структуры мультиагентных систем, ориентированных на выполнение бизнес-процессов. Однако там нет математи-

ческих моделей, позволяющих связать множество процессов многофазного обслуживания на множестве АРМ с учетом необходимости мониторинга и оптимизации данных процессов.

Построение системы взаимосвязанных БО на множестве БП осложняется тем, что каждая БО является частью одного из БП. Это требует рассмотрения совокупного операционного пространства и адекватного модельного отображения и согласования динамики происходящих процессов. Анализ литературных источников [5–8] подтверждает актуальность этого вопроса.

2. Постановка задачи

Цель данной работы заключается в формировании комплекса моделей, дающих возможность отобразить формальное описание бизнес-процесса и бизнес-операции в операционное пространство организационно-технической системы и создать математическое обеспечение для осуществления мониторинга бизнес-процессов на уровне как отдельных АРМ, так и ОТС.

Применительно к указанной цели необходимо разработать:

- 1) теоретико-множественную модель БП и БО;
- 2) статическую информационную модель многофазного обслуживания заявок, основанную на матричном описании;
- 3) комплекс математических моделей динамики процесса многофазного обслуживания заявок на выполнение БО.

3. Теоретико-множественная модель бизнес-процесса и бизнес-операции

Будем полагать, что модель БП отражает его координаты в информационном пространстве ОТС. Вместе с тем, в информационном пространстве ОТС можно выделить операционное пространство. Операционным пространством ОТС назовем совокупность реализуемых БО, параллельно-последовательная реализация которых позволяет реализовать БП заданного класса. В таком случае операционное пространство БП содержит установленный набор классов бизнес-операций – C_{BO}^{BP} . Индивидуальными атрибутами каждого БП являются: граф выполнения БП – G_{BP} , регламенты выполнения БП – SO_{BP} , квалиметрическая модель – QM_{BP} , включающая требования по качеству, количеству и срокам выдачи продукта; CD_{BP} – цена задержки выполнения БП, устанавливаемая экспертным методом. С учетом сказанного теоретико-множественную модель БП опишем выражением

$$BP = \langle C_{BO}^{BP}, G_{BP}, SO_{BP}, QM_{BP}, CD_{BP} \rangle. \quad (1)$$

В свою очередь модель БО представлена выражением:

$$BO = \langle C_{BO}, Code_{BO}, R_{BO}, MO_{BO}, S_{MO}, KB_{BO}, TO_{BO}, V_{BO}, Q_{BO}, CD_{BO} \rangle, \quad (2)$$

где $C_{BO} \in CO_{BO}$ – класс БО из множества классов CO_{BO} БО; $Code_{BO}$ – код БО, включающий принадлежность к БП и номер этапа БП; R_{BO} – множество ресурсов, необходимых для выполнения операции класса C_{BO} ; MO_{BO} – подмножество микроопераций, необходимых для выполнения операции класса C_{BO} ; S_{MO} – последовательность выполнения МО; KB_{BO} – база знаний (компетенция) b-агента, выполняющего БО совместно с h-агентом; TO_{BO} – нормированное время выполнения операции класса C_{BO} ; V_{BO} – нормированная стоимость выполнения операции класса C_{BO} ; Q_{BO} – показатель качества БО; CD_{BO} – цена задержки выполнения БО.

Таким образом, множество бизнес-операций разбито на c независимых подмножеств-классов:

$$C_{BO1}, CO_{BO2}, \dots, CO_{BOc}, \quad (3)$$

где $C_{BOv} \in CO_{BO}$, $Ov \cap Ow = 0$, $v, w = 1, 2, \dots, c$, $v \neq w$.

В каждом классе сгруппированы функционально однородные БО, такие, как «управление запасом», «контроль движения».

Поскольку каждая БО состоит из множества элементарных операций, которые в дальнейшем будем называть микрооперациями (МО), определим состав и структуру МО:

$$M_{MO} = \langle N, C_{MO}, X, P, E, CX, CE, D, C \rangle, \quad (4)$$

где N – название микрооперации; C_{MO} – класс микрооперации, $C_{MO} \in MO$; MO – множество классов микроопераций; X – входные данные микрооперации; P – входные условия микрооперации; E – множество результатов микрооперации; CX – ограничения на входные данные; CE – ограничения на выходе; D – нормированная продолжительность выполнения микрооперации; C – нормированная стоимость микрооперации.

Далее опишем пространство признаков БО вектором $F_{BO} = \{f_{BOi}\}$, $i = \overline{1, L}$. Алфавит признаков БО, в котором можно определить класс БО, включает в себя:

- принадлежность к определенному классу БП;
- краткое название БО;
- характер бизнес-операции – производственная, обслуживания, контрольная, управления (проверка условия и принятие решения);
- потребность в контроле данных или других ресурсов на входе;
- потребность в контроле на выходе;

- потребность в контроле ресурсов в процессе выполнения;
- потребность в контроле показателей качества процесса.

Каждый класс БО содержит подклассы. Например, класс «контроль» содержит подклассы:

- контроль очередей заявок;
- контроль факта поставки ресурса или продукта (на входе/на выходе);
- контроль движения (время начала, время окончания, задана скорость);
- контроль исполнения микрооперации;
- контроль параметра в трубке ограничений (включая уровень запаса).

4. Информационная модель многофазного обслуживания заявок

Данная модель должна отображать статические связи (отношения) между объектами операционного пространства ОТС.

Информационную модель БП опишем выражением

$$BP_M = \langle SM_{BP}, AM, LM(t), B(t), TM, EC, CM, PEM, RAM, LCE \rangle, \quad (5)$$

где SM_{BP} – главная матрица формализованного описания БП. Каждая строка матрицы соответствует одному этапу БП, т.е. БО. Каждый столбец несет данные про микрооперации, входящие в БО, а также норму времени выполнения БО, отметки выполнения, результат контроля по времени, адреса получателей сообщений. Таким образом, каждая строка матрицы SM_{BP} содержит формализованное описание БО.

AM – (*adjacency matrix*) квадратная матрица смежности графа выполнения БП, где каждая строка указывает на переходы к параллельно выполняемым БО. Индексация матрицы соответствует индексации БО – $i = \overline{1, I}$. Разность матриц смежности двух БП показывает степень сходства процессов на первом алгоритмическом уровне;

$E(t)$ – матрица выполнения, устанавливает взаимосвязь между переменными, относящимися к АРМ, и переменными, относящимися к БП (БО). Каждая строка матрицы с индексом $g = \overline{1, R}$ соответствует номеру заявки на обслуживание по выполнению БО. Каждый столбец с индексом $n = \overline{1, N}$ соответствует номеру функционального узла (АРМ). К номеру строки r привязаны номера БП и БО. Ноль означает, что данная БО не выполняется на данном узле; 1, 2, 3... означают номер в очереди к узлу; 1 – идет обработка заявки;

$B(t)$ – матрица-строка для сбора и фиксации дан-

ных об окончании времени обработки заявок на узлах. Индексом в данной строке служит n – номер АРМ;

T_M – матрица норм времени обработки всех БО на всех узлах. Каждая строка соответствует номеру i БО, каждый столбец – номеру n АРМ;

E_C – матрица стоимости выполнения БО на существующих функциональных узлах. Каждая строка соответствует номеру i БО, каждый столбец – номеру n АРМ;

C_D – матрица цены задержек БО по всем актуальным БП. Каждая строка соответствует номеру i БО, каждый столбец – номеру j БП;

C_M – матрица компетенций – элементы C_M содержат вероятности успешного и своевременно выполнения i -й БО на n -м АРМ.

Кроме перечисленных матриц при анализе эффективности выполнения БП используются таблицы, содержащие значения первичных показателей эффективности.

Таким образом, усовершенствована информационная модель многофазного обслуживания БП и БО, поданная в виде формального теоретико-множественного описания с отображением связей БП и БО различных классов в совместном операционном пространстве. Это дает возможность построения адекватного отображения и согласования динамики смены состояний множества БП и БО.

5. Разработка комплекса математических моделей процесса многофазного обслуживания на уровне АРМ

Моделирование работы ОТС имеет две цели. Во-первых, сам процесс динамического формирования исполнительных структур предполагает отображение процесса функционирования ОТС с помощью имитационной модели реального времени. При этом под имитационной понимается модель, сохраняющая с требуемой степенью адекватности решаемой задаче логическую структуру системных явлений и процессов, а также характер и структуру информации о состоянии и изменениях системы и составляющих ее элементов и их отношений.

Во-вторых, имитационная модель необходима для исследования эффективности различных вариантов стратегий оперативного управления режимами работы ОТС. Разработка моделей и алгоритмов планирования и оперативного управления ОТС связана с многочисленными экспериментами, которые практически невозможно осуществить в натуральных условиях. Необходимой

частью системы управления ОТС как на стадии разработки и отладки, так и на стадии внедрения и эксплуатации является имитационная модель, позволяющая в ускоренном масштабе времени воспроизвести различные режимы работы ОТС, сравнить варианты и оценить качество планирования и управления.

Планирование и оперативное формирование исполнительных структур, а также мониторинг процессов выполнения БО на всех АРМ ОТС отводится агентам, выполняющим две роли:

- агент-монитор, осуществляющий контроль всех БО в рамках отдельного АРМ;

- агент-диспетчер, осуществляющий контроль состояния всех АРМ и всех актуальных БП в рамках ОТС.

К основным функциям агента-монитора относятся:

- контроль состояния всех БО на данном АРМ;
- контроль выполнения во времени каждой БО;

- расчет затрат времени по каждой БО;

- формирование с заданным интервалом времени отчетов для агента-диспетчера.

К основным функциям агента-диспетчера относятся:

- контроль состояния всех АРМ;

- контроль состояния всех актуальных БП;

- контроль очередей заявок на выполнение БО по каждому АРМ;

- расчет затрат и потерь времени по каждому АРМ и по каждому БП;

- динамическое распределение заявок по АРМ, т.е. динамическое формирование исполнительных структур для каждого БП. Эта последняя функция в данной статье не рассматривается.

Таким образом, комплекс математических моделей процесса многофазного обслуживания является математическим обеспечением как имитационного моделирования процессов многофазного обслуживания, так и функционирования определенных выше агентов. Для целей мониторинга необходимо разработать модель динамики функционирования множества АРМ с учетом всех состояний каждой выполняемой или ожидающей выполнения заявки.

Математическую модель динамики ОТС представим в виде автомата:

$$M_\phi = \langle X, S, T, Y, \phi, \eta \rangle, \quad (6)$$

где X – множество входных величин; S – множество состояний; T – множество моментов време-

ни; Y – множество выходных величин; $\varphi: S \times T \rightarrow S$ – функция переходов; $\eta: S \times T \rightarrow Y$ – выходное отображение.

Входные величины суть выходные данные процессов функционирования отдельных АРМ, а именно:

$$X^A = \{V^A, S^A, Y^A, P^A\}, \quad (7)$$

а также результаты смены состояний заявок, которые выполняются при реализации БО:

$$X^D = \{V^D, S^D, P^D\}, \quad (8)$$

где $A = \{a_n\}$ – множество функциональных узлов (АРМ); $V^A = \{v_n^A\}$ – множество входных сигналов, отображающих смену состояний узлов; $S^A = \{s_n^A\}$ – множество состояний функциональных узлов; Y^A – множество выходов функциональных узлов; $P^A = f(S^A, V^A)$ – функция переходов автоматной модели функционального узла; V^D – множество входных сигналов, которые определяются динамикой смены состояний отдельных заявок на выполнение БО; $S^D = \{s^D\}$ – множество состояний заявок; $P^D = f(S^D, V^D)$ – функция переходов для модели динамики смены состояний заявок.

Входные сигналы модели представим следующим образом:

– для отслеживания функционирования АРМ:

$$V^A = \{v_{нкjn}^A, v_{зokjn}^A, v_{zn}^A\}; \quad (9)$$

– для отслеживания состояния заявки:

$$V^D = \{v_{чкjn}^D, v_{окjn}^D, v_{обкjn}^D\}, \quad (10)$$

где $v_{нкjn}^A$ – поступление заявки на выполнение к-й БО j-го БП на обработку на n-м узле; $v_{зokjn}^A$ – окончание выполнения к-й БО j-го БП на n-м узле; v_{zn}^A – остановка n-го узла; $v_{чкjn}^D$ – заявка в очереди на обработку; $v_{окjn}^D$ – заявка на обработку; $v_{обкjn}^D$ – заявку выполнено.

Поскольку все указанные события (за исключением остановки АРМ) происходят циклично, в каждый момент времени может быть истинным только один из входных сигналов.

Множество состояний функциональных узлов и состояний заявок представлено в виде наборов:

$$S^A = \{s_n^A, d_{kj}^n, q_{ч}^n, t_{кjn}^n, t_{кjз}^n, t_{фвл}^n\}, \quad (11)$$

$$S^D = \{s_k^D, q_{чо}^D, t_{kj}^D\}, \quad (12)$$

где s_n^A – состояние n-го узла, со следующими допустимыми значениями: «З» – остановка, «О» – обработка заявки, «Н» – узел неисправен; d_{kj}^n – k-я заявка на выполнение БО j-го БП, которая обрабатывается на n-м узле; $q_{ч}^n$ – количество заявок в очереди к n-му узлу; $t_{кjn}^n, t_{кjз}^n, t_{фвл}^n$ – время начала, время окончания обработки заявки на n-м узле и время фиксации выхода из строя; $q_{чi}^D$ – место в очереди к n-му узлу, t_{kj}^D – время ожидания k-й заявки j-го БП; s_k^D – принимает такие значения: «ЧО» – ожидает обработки – это значение служит флагом нахождения в очереди; «ОБ» – обрабатывается; «ЗО» – обработка заявки окончена, это значение служит флагом окончания выполнения БО.

Выходные сигналы автоматной модели функционального узла запишем так:

$$Y^A = \{q_{обр}^n, t_{пр}^n\}, \quad (13)$$

где $q_{обр}^n$ – количество заявок, обработанных на n-м узле; $t_{пр}^n$ – время простоя узла.

Далее определим функцию переходов $P^n = f(S^n, V^n)$ модели узла как набор преобразований, каждое из которых определяет смену состояния узла после определенного события. Общую структуру функции переходов определим следующим образом:

$$P_n(t) = ("S_n^A", d_{kj}^n(t), q_{ч}^n(t-1), t_{кjn}^n, t_{кjз}^n, t_{фвл}^n). \quad (14)$$

Символом # обозначим те переменные, которые в некотором состоянии не имеют значения.

Для определенных ниже состояний функция переходов будет иметь такой вид:

– при поступлении очередной заявки на обработку ($v_{нкjn}^A=1$) узел должен переходить к ее обработке и состояние n-го экземпляра модели узла меняется так:

$$P_n(t) = ("O", d_{kj}^n(t), q_{оч}^n(t-1), t_{кjn}^n, \#, \#); \quad (15)$$

– после того, как узел обработал заявку ($v_{зokjn}^A=1$) i простаивает в ожидании поступления новой заявки, состояние меняется следующим образом:

$$P_n(t) = ("ПП", d_{kj}^n(t-1), q_{ч}^n(t), 0, (t-1)_{кjз}^n, \#); \quad (16)$$

– после того, как был выявлен выход из строя n -го узла ($v_{in}^A=1$), его состояние меняется на такое:

$$P_n(t) = ("H", d_{kj}^n(t-1), q_{\text{ч}}^n(t-1), \#, \#, t_{\text{фвл}}^n). \quad (17)$$

Таким образом, совокупность выражений (14)–(17) определяет функцию переходов автоматной модели для функционального узла.

Аналогично определим функцию переходов P^D для смены состояний заявки. Общая структура этой функции показана выражением:

$$P_D(t) = (n, S_k^D, q_{\text{чо}}^D(t), t_{kj}^D); \quad (18)$$

– после того, как была закончена обработка заявки на n -м АРМ, k -й заявки $v_{\text{зokjn}}^A=1$, ее состояние меняется так:

$$P_D(t) = (n, "ZO", q_{\text{чо}}^D(t), t_{kj}^D); \quad (19)$$

– после того, как заявка поступает на обработку ($v_{\text{okjn}}^D=1$), ее состояние меняется на такое:

$$P_D(t) = (n, "OB", q_{\text{чо}}^D(t-1), t_{kj}^D(t-1)). \quad (20)$$

Если заявка ждет обработки ($v_{\text{-kjin}}^D=1$), ее состояние выражается таким образом:

$$P_D(t) = (n, "ЧО", q_{\text{чо}}^D(t), t_{kj}^D). \quad (21)$$

Если заявка последняя в данном БП, агент-диспетчер фиксирует событие «Завершение БП». Таким образом, выражения (6) – (21) являются моделью динамики функционирования каждого АРМ в ОТС и динамики продвижения заявок на выполнение отдельных БО через множество АРМ во время реализации множества БП. С помощью этой модели можно отслеживать в реальном времени состояние множества БО и, соответственно, получать результаты, которые нужны для анализа качества функционирования отдельных АРМ, исполнительных групп и ОТС в целом.

Для получения оперативных данных мониторинга работы АРМ с помощью модели необходимо создать динамическую таблицу, в которой каждая запись соответствует одному АРМ. В процессе функционирования ОТС в каждой строке таблицы меняются данные о состоянии этого экземпляра модели, что дает возможность накапливать первичную информацию об эффективности функционирования каждого АРМ и в дальнейшем рассчитывать статистические данные, а также интерпретировать числовые оценки в вербальную форму. Аналогичную таблицу необходимо иметь и для отслеживания состояния заявок на выполнение БО каждого БП.

Для мониторинга функционирования ОТС в целом и оперативного управления маршрутами множества БП необходимо также осуществлять мониторинг длины очередей на входе каждого АРМ. Для этого нужна соответствующая модель, которая рассматривается в следующем подразделе статьи.

6. Модель и алгоритм многофазного обслуживания на уровне ОТС

Пусть в ОТС имеется N h -агентов (пользователей), закрепленных за функциональными узлами (АРМ), и каждый из этих исполнителей обладает определенным набором h -компетенций. Выполнению подлежат J БП различных видов. БП каждого вида должен пройти динамически назначаемый маршрут обработки через множество АРМ. Маршрут БП задается динамически, по мере выполнения очередных БО, в виде последовательности номеров АРМ, упорядоченных в порядке обработки на них данного БП. Ноль в этой последовательности означает окончание выполнения БП. Например, последовательность 4, 5, 10, 1, 0 показывает, что полный цикл выполнения БП включает в себя последовательную обработку на четвертом, пятом, десятом, первом АРМ. Будем считать, что время обработки каждой классифицированной БО нормировано по результатам статистических испытаний и с учетом экспертных оценок.

В некоторые случайные моменты времени в ОТС поступают на выполнение БП. На каждом этапе выполнения БП очередная заявка на выполнение БО поступает к АРМ выбранного h -агента. Выбор АРМ осуществляется агентом-диспетчером в соответствии с типом БП, типом БО и известными компетенциями h -агентов. Если АРМ загружено, заявка поступает в очередь на обработку.

Построим математическую модель процесса выполнения множества БП. Как было определено выше, матрица выполнения $E(t)$ является моделью отслеживания загрузки АРМ бизнес-операциями. Для упрощения понимания функционирования модели напомним, что элементы матрицы $E(t)=(e_{\text{тн}})$ являются номерами в очередях к АРМ, $\text{г}=1..R_{\text{тн}}$, $\text{п}=1,2,\dots,N_{\text{тн}}$, где тн – число актуальных БП, $N_{\text{тн}}$ – длина самого длинного (по числу БО) бизнес-процесса. Имеем также вектор $T=(t_k)$, $k=1,\dots,K$, где t_k – время, прошедшее с начала обработки k -й БО на n -м АРМ.

Для построения алгоритма моделирования необходима также $V(t)$ – матрица-строка для сбора и фикс-

сации данных об окончании времени обработки заявок на узлах.

Элементы матрицы $E(t)=(e_m(t))$ определяются следующим образом: $e_m(t)=0$, если g -я заявка не обрабатывается и не находится в очереди на обработку к n -му АРМ в момент времени t ; $e_m(t)=p$, если g -я заявка в момент времени t стоит p -й в очереди на обработку к n -му АРМ; при $p=1$ заявка обрабатывается на n -м АРМ.

Элементы $b_n(t)$, $n=1, \dots, N_M$, вектора $B(t)$ определяются как

$$b_n(t) = \begin{cases} T_{ok}, \exists e_m = 1 \\ 0, otherwise \end{cases}, \quad (22)$$

где T_{ok} – момент окончания обработки заявки с номером k на n -м АРМе согласно таймеру, который отсчитывает время выполнения данной заявки.

Иначе говоря, n -й столбец матрицы $E(t)$ изображает текущее состояние очереди заявок на обработку к n -му АРМ. Для заявки, которая в данный момент времени уже обрабатывается (первая в очереди), значение элемента $b_n(t)$ равно моменту окончания обработки.

При помощи матрицы $E(t)$ устанавливается взаимосвязь между переменными, относящимися к АРМ, и переменными, относящимися к БП. Таким образом достигается согласование динамики смены состояний множества БП и БО.

Из описания моделей ясно, что текущее состояние ОТС в момент времени $t=t_0$ полностью определяется множеством $\{(E(t_0), B(t_0))\}$. Предположим, что это множество для момента времени $t=t_0$ уже построено. Укажем алгоритм перехода от него к множеству $\{(E(t_1), B(t_1))\}$, описывающему состояние ОТС в следующий момент времени $t_1 = t_0+h$.

Все столбцы матрицы $E(t_0)$ просматриваются последовательно, элементы каждого столбца преобразуются по следующим правилам.

1. Присвоить $g=1$ (начало просмотра столбца n).
2. Если значение элемента $b_m(t_0) \neq t_0$, то перейти к пункту 8 (АРМ n к моменту времени t_0 еще не освободилось), иначе перейти к п.3.
3. Запомнить индекс g_0 элемента $e_m(t_0)$, равного 1 (обработка заявки на АРМ n закончена к моменту времени t_0 и заявка в дальнейшем должна поступить на обработку к следующему АРМ своего маршрута или покинуть ОТС). Заметим, что выполняя шаг 3, для всех $n=1 \dots N$ определяем множество заявок, обработка которых завершена на всех АРМ в момент времени t_0 .

4. Положить $e_{r_0n}(t_0+h)=0$, $b_n(t_0+h)=0$ (заявка уже обработана на АРМ n и уходит из очереди).

5. Найти в n -м столбце элемент $e_m(t_0)=2$; если такого элемента в столбце нет, то перейти к пункту 8 (в очереди к n -му АРМ ищется заявка, которая в момент времени t_0+h должна поступить на обработку).

6. Положить $b_n(t_0+h)=T_{ok}$, где T_{ok} – время окончания обработки заявки согласно норме времени.

7. Для всех $e_m(t_0)>0$ положить $e_m(t_0+h)=e_m(t_0)-1$ (после того как одна заявка покинула АРМ, очередь сдвигается на единицу).

8. Если $n \leq N_M$, положить n равным $n+1$ и перейти к пункту 2 (если не все АРМ просмотрены, переходим к следующему столбцу матрицы $E(t)$).

9. Определить, должен ли очередной БП к моменту времени t_0+h поступить в ОТС на обработку; если да, то присвоить ему порядковый номер и инициализировать содержимое его матриц SM_{BR} , AM , TM , ES , CD , CM .

10. После обработки всех столбцов матрицы выполнения $E(t)$ сформировано множество заявок (см. шаг 3 алгоритма), обработка которых завершена на АРМ в момент времени t_0 . Эти заявки, включая новые, поступившие в ОТС, должны пройти обработку на следующем АРМ своего маршрута или покинуть ОТС, завершая БП.

Совокупность текущих значений элементов матрицы $E(t_0)$ и вектора $B(t_0)$ составляет «фотографию» ОТС в момент времени t_0 . Пользуясь описанным алгоритмом преобразования переменных и алгоритмом динамической маршрутизации заявок, мы получаем «фотографию» ОТС в следующий момент времени t_0+h . Таким образом, начав с начального состояния, целиком состоящего из нулей, и задавая исходные данные и структуру входного потока, можно моделировать работу ОТС на любом отрезке времени, что требуется как для диспетчеризации работы ОТС, так и для накопления статистических данных.

7. Выводы

1. Усовершенствована информационная модель многофазного обслуживания заявок от бизнес-процессов и бизнес-операций, отличающаяся тем, что содержит многоуровневое формальное теоретико-множественное и матричное описание с отображением информационных связей бизнес-процессов и бизнес-операций различных классов. Это дает возможность построения совместного операционного пространства для множества функциональных узлов и множества выполняемых процессов.

2. Усовершенствован комплекс моделей много-фазного обслуживания заявок, отличающийся тем, что в моделях учтены динамические связи бизнес-процессов, отдельных бизнес-операций и узлов обслуживания и предусмотрен мониторинг временных показателей всех узлов обслуживания, что дает возможность адекватно отобразить, согласовать и контролировать изменение состояний множеств функциональных узлов, бизнес-процессов и бизнес-операций.

Литература: 1. Дроздов А., Коптелов А. Использование средств описания процессов при внедрении корпоративных информационных систем // Проблемы теории и практики управления. 2006. №10. С. 54–70.

2. Марка Д., МакГоуэн К. Методология структурного анализа и проектирования. – Режим доступа: <http://www.marathon.ru/IDEF/ooad.asf.ru/standarts/idef/sadt/index.shtml>. 3. Business Process Execution Language for Web Services version 1.1. – Режим доступа: <http://www.ibm.com/developerworks/library/specification/ws-bpel>.

4. Массель Л.В., Гальперов В.И. Разработка многоагентной системы оценивания состояния электроэнергетических систем с использованием событийных моделей // Наука и образование. №9. 2015. М.: МГТУ им. Баумана. Эл. №ФС77-4211. ISSN 1994-0448. DOI: 10.7463/0915.0811180. 5. Khodyrev I., Popova S. Discrete modeling and simulation of business processes using event logs // Procedia Computer Science, vol. 29, 2014, P. 322–331. 6. Begona Martinez-Salvador, Mar Marcos, David Riano. An Algorithm for Guideline Transformation: from BPMN to SDA // Procedia Computer Science. 2015. №63. 244–251. 7. Rieger S., Neumair B. Towards usable and reasonable Identity Management in heterogeneous IT infrastructures. In: 10th IFIP/IEEE International Symposium on Integrated Network Management – IM. Munich, pp. 560–574. 2007. DOI: 10.1109/inm.2007.374820. 8. Crowston K. A Coordination Theory Approach to Organizational Process Design (1997). Organization Science, 8 (2), pp. 157–175. DOI: 10.1287/orsc.8.2.157.

Transliterated bibliography:

1. Drozdov A., Koptelov A. Ispol'zovanie sredstv opisaniya processov pri vnedrenii korporativnykh informacionnykh sistem // Problemy teorii i praktiki upravleniya, 2006. №10. S. 54–70.

2. Marka D., MakGoujen K. Metodologiya strukturnogo analiza i proektirovaniya. – Rezhim dostupa: <http://www.marathon.ru/IDEF/ooad.asf.ru/standarts/idef/sadt/index.shtml>

3. Business Process Execution Language for Web Services version 1.1. – Rezhim dostupa: <http://www.ibm.com/developerworks/library/specification/ws-bpel>.

4. Massel' L.V., Gal'perov V.I. Razrabotka mnogoagentnoy sistemy ocenivaniya sostojaniya jelektrojenergeticheskikh sistem s ispol'zovaniem sobytijnykh modelej //

Nauka i obrazovanie. №9. 2015. М.: МГТУ им. Баумана. Эл. №ФС77-4211. ISSN 1994-0448. DOI: 10.7463/0915.0811180.

5. Khodyrev I., Popova S. Discrete modeling and simulation of business processes using event logs // Procedia Computer Science. Vol. 29. 2014. P. 322–331

6. Begona Martinez-Salvador, Mar Marcos, David Riano. An Algorithm for Guideline Transformation: from BPMN to SDA // Procedia Computer Science. 2015. №63. 244–251.

7. Rieger S., Neumair B. Towards usable and reasonable Identity Management in heterogeneous IT infrastructures. In: 10th IFIP/IEEE International Symposium on Integrated Network Management – IM. Munich. 2007. P. 560–574. DOI: 10.1109/inm.2007.374820.

8. Crowston K. A Coordination Theory Approach to Organizational Process Design (1997). Organization Science, 8 (2), pp. 157–175. DOI: 10.1287/orsc.8.2.157.

Поступила в редколлегию 11.06.2019

Рецензент: д-р техн. наук, проф. Гученко Н.И.

Оксанич Ирина Григорьевна, канд. техн. наук, доцент кафедры автоматизации и информационных систем КрНУ. Научные интересы: автоматизированные системы и информационные технологии управления в организационно-технических системах. Адрес: Украина, 39600, Кременчуг, ул. Первомайская, 20, тел.: (05366)30157. E-mail: oksirena2017@gmail.com

Шевченко Игорь Васильевич, д-р техн. наук, доцент, профессор кафедры автоматизации и информационных систем КрНУ. Научные интересы: методы и модели принятия решений в условиях неопределенности. Адрес: Украина, 39600, Кременчуг, ул. Первомайская, 20, тел.: (05366)30157.

E-mail: ius.shevchenko@gmail.com

Краснопольская Юлия Алексеевна, канд. техн. наук, программист кафедры автоматизации и информационных систем КрНУ. Адрес: Украина, 39600, Кременчуг, ул. Первомайская, 20, тел.: (05366)30157. E-mail: ulya.krasnopolskaya@gmail.com

Oksanych Irina Grigoryevna, Cand. Tech. Sciences, Associate Professor, Department of Information and Control Systems, KrNU, Research interests: automated systems and information technology management in organizational and technical systems. Address: Ukraine, 39600, Kremenchug, Pervomayskaya Str, 20, tel.: (05366)30157. E-mail: oksirena2017@gmail.com

Shevchenko Igor Vasyliievich, Dr. Tech. Sciences, Associate Professor, professor of the department of Information and Control Systems. Research interests: decision-making methods and models in the face of uncertainty. Address: Ukraine, 39600, Kremenchug, Pervomayskaya Str, 20, tel.: (05366)30157. E-mail: oksanich@kdu.edu.ua

Krasnopolskaja Julija Alekseevna, Cand. Tech. Sciences, Software Engineer, Address: Ukraine, 39600, Kremenchug, Pervomayskaya Str, 20, tel.: (05366)30157. E-mail: ulya.krasnopolskaya@gmail.com