

МОДЕЛЬ И МЕТОД ДИНАМИЧЕСКОГО ФОРМИРОВАНИЯ ИСПОЛНИТЕЛЬНЫХ СТРУКТУР В РОБОТИЗИРОВАННЫХ ОРГАНИЗАЦИОННО-ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ

И. В. Шевченко, И. Г. Оксанич, И. С. Конох

Кременчугский национальный университет имени Михаила Остроградского
ул. Первомайская, 20, г. Кременчуг, 39600, Украина. E-mail: oksirena2017@gmail.com

Определен ряд критериев оценки качества функционирования организационно-технической системы, на основании которых можно проводить расчеты затрат, а следовательно, и эффективность как отдельных операций, так и системы операций, проходящих последовательно или параллельно для достижения общей цели. Усовершенствован комплекс критериев оценки эффективности бизнес-операций и бизнес-процесов, реализуемых совместно человеком и роботом, за счет введения отдельных стоимостных оценок времени функционирования человека и робота, и учета вероятности успешного выполнения операции за отведенное нормативами время, что дало возможность динамического прогнозного оценивания эффективности выполнения заявок на выполнение бизнес-операции и адаптивного изменения траектории движения бизнес-процесса в условиях меняющейся операционной обстановки. Получил дальнейшее развитие метод динамического распределения заявок по функциональным узлам при выполнении бизнес-процессов в организационно-технической системе за счет последовательного отбора узлов с максимальной компетенцией, ранжирования очередей по критерию цены задержки, и учета критических ситуаций в узлах, что дает возможность оперативно осуществлять формирование исполнительных структур организационно-технической системы под поступающие бизнес-задачи.

Ключевые слова: бизнес-процесс, BPM-система, динамическая маршрутизация, агент, критерий.

МОДЕЛЬ ТА МЕТОД ДИНАМІЧНОГО ФОРМУВАННЯ ВИКОНАВЧИХ СТРУКТУР У РОБОТИЗОВАНИХ ОРГАНІЗАЦІЙНО-ТЕХНІЧНИХ СИСТЕМАХ

І. В. Шевченко, І. Г. Оксанич, І. С. Конох

Кременчуцький національний університет імені Михайла Остроградського
вул. Першотравнева, 20, м. Кременчук, 39600, Україна. E-mail: oksirena2017@gmail.com

Визначено ряд критеріїв щодо оцінки якості функціонування організаційно-технічної системи, на підставі яких можна проводити розрахунки витрат, а отже, і ефективність як окремих операцій, так й системи операцій, що проходять послідовно або паралельно задля досягнення загальної мети. Оскільки ступінь участі людини і робота у виконанні конкретної бізнес-операції буде різною, то розглянуто показник собівартості спільного функціонування людини (h-агента) та робота (b-агента) і виконавчого механізму при виконанні бізнес-операції. Удосконалено комплекс критеріїв оцінки ефективності бізнес-операцій і бізнес-процесів, що реалізуються спільно людиною та роботом, за рахунок введення окремих вартісних оцінок часу функціонування h-агента й b-агента та обліку ймовірності успішного виконання операції за відведений нормативами час, що дало можливість динамічного прогнозного оцінювання ефективності виконання заявок на виконання бізнес-операції і адаптивної зміни траєкторії руху бізнес-процесу в умовах операційної обстановки, що змінюється. Враховано, що коефіцієнт вартості робочого часу людини може змінюватися в залежності від її кваліфікації, завантаженості, ступеня відповідальності та інших чинників. Запропоновано модель формування виконавчої структури для бізнес-процесу. Визначена середня ймовірність успішного виконання своїх функцій людиною і роботом через ймовірність пропуску критичних і ймовірність настання нештатних ситуацій. Отримав подальший розвиток метод динамічного розподілу заявок по функціональних вузлах при виконанні бізнес-процесів у організаційно-технічній системі за рахунок послідовного відбору вузлів з максимальною компетенцією, ранжування черг за критерієм ціни затримки й обліку критичних ситуацій у вузлах, що дає можливість оперативно здійснювати формування виконавчих структур організаційно-технічної системи під надходження бізнес-завдань. З'ясовано, що оцінка ефективності роботи агента або пари h-b відбувається у міру накопичення статистичних даних з успішності виконання певної бізнес-операції, при цьому враховується частота та серйозність помилок і розраховується ймовірність помилок.

Ключові слова: бізнес-процес, BPM-система, динамічна маршрутизація, агент, критерій.

АКТУАЛЬНОСТЬ РАБОТЫ. Управление бизнес-процессами (Business Process Management, BPM) в настоящее время постоянно обсуждается, поскольку BPM является инструментом повышения эффективности деятельности любой организации. На бизнес-уровне BPM – это управление процессами, которые обычно содержат длительный набор действия, от начала до конца. Ценность BPM заключается в возможности моделировать, анализировать, оптимизировать, и в конечном варианте, влиять на сложный и долговременный бизнес-процесс, включающий в себя много участников. Основные возможности, которые предоставляют BPM системы,

это организация эффективной обработки входящих данных, динамическая обработка и модификация данных на каждом шаге процесса, организация взаимодействия между сервисами и участниками, мониторинг эффективности и динамического изменения процесса и, наконец, рекомендации по принятию решения или даже автоматическое принятие решения на выходе [1].

Поскольку бизнес-процесс представляет собой последовательность операций по созданию продукта (ценности), то при активном применении информационных технологий, все больше записей о процессах накапливается в информационных системах, тем

самым обеспечивается детализированная информация об истории исполнения бизнес-процессов. Помимо истории бизнес-процессов можно извлекать дополнительную информацию о том, кто какое действие выполнил, и в какое время, а также связанные с этим действием данные [2].

Анализируя детализированные функциональные модели реализуемых бизнес-процессов, можно обнаружить: задержки по времени выполнения функций, отмену ранее совершенных действий, перераспределение исполнителей, лишние действия в процессе, лишние или неэффективных исполнителей и главное – исключительные ситуации в процессах, которые возникают из-за ошибок исполнителей и на исправление которых тратятся серьезные ресурсы.

Если рассматривать бизнес-процессы, выполняемые группой исполнителей, то следует заметить, что операции могут выполняться синхронно или асинхронно и локально или распределенно. Для выполнения синхронных локальных операций требуется наличие всех исполнителей в одно время и в одном месте. Синхронные распределенные операции выполняются в одно и то же время исполнителями, которые могут находиться в разных местах. Асинхронные локальные операции выполняются членами группы в одном, определенном месте, но в разное время. И, наконец, асинхронные распределенные операции выполняются членами группы исполнителей в различных местах и в разное время. Причем эти операции могут выполняться последовательно или параллельно, иметь сколь угодно сложную логику, согласовываться по времени, данным и исполнителям.

В процессе эксплуатации ВРМ система должна накапливать задания, ожидающие обработки, и формировать очереди заданий различных типов, как для каждого пользователя, так и для группы. Кроме того, необходимо автоматически производить периодическое обновление очередей и уведомлять пользователя о наличии в очереди новых, еще не просмотренных заданий, заданий с высоким приоритетом или заданий с установленным предельным сроком выполнения [3].

Однако, как показала практика, проблема динамической маршрутизации бизнес-процессов по-прежнему не решена. Поэтому, решение этой проблемы является весьма актуальной задачей.

Анализ литературных данных и постановка проблемы. В любой системе обслуживания, состоящей из нескольких обслуживающих станций, естественным образом возникает задача распределения поступающей нагрузки, с целью эффективного использования имеющихся ресурсов. Существует ряд методов решения этой задачи, одним из которых является динамическая маршрутизация.

Несмотря на то, что существует множество моделей призванных описывать системы с динамической маршрутизацией, для всех них можно выделить ряд общих свойств. В основном, во всех моделях рассматривается пуассоновский поток входных заявок и предполагается, что время обслуживания распределено экспоненциально. Взятое при этом за основу предположение об однородности времени

обслуживания, не всегда соответствует действительности, хотя и полезно, так как приводит к простым марковским системам, которые приближенно описываются системами дифференциально-разностных уравнений [4–5].

В работах [6–8] рассмотренные алгоритмы динамической маршрутизации распределяют поступающие в систему запросы, опираясь на текущие характеристики загруженности обслуживающих станций, в соответствии с избранным способом маршрутизации. Выбор способа маршрутизации зависит от специфики решаемой задачи. Например, в случае, когда необходимо обеспечить минимальное время нахождения запросов в системе, способ маршрутизации может заключаться в том, чтобы при поступлении запроса в систему направлять его на обслуживающую станцию с очередью наименьшей длины. В другом случае, когда необходимо чтобы в системе всегда оставалось несколько достаточно свободных очередей, например, для быстрого обслуживания приоритетных запросов, может лучше подходить способ маршрутизации в очередь средней длины.

Другим важным параметром алгоритмов динамической маршрутизации является сложность их реализации. Очевидно, что чем больше масштаб системы, тем сложнее при маршрутизации учитывать текущее состояние всех обслуживающих станций, поэтому часто используют упрощенные алгоритмы балансировки нагрузкой. Как правило, динамическая маршрутизация в них производится на основании текущих характеристик некоторого небольшого подмножества множества всех обслуживающих станций системы. Подмножество обычно выбирается случайно, каждый раз при поступлении новой заявки [9].

Как показывают эмпирические исследования и теоретический анализ [10–11], такие упрощенные алгоритмы являются эффективными и, в ряде случаев, не на много уступают более сложному, с выбором на основании характеристик всей системы.

В работе [12] рассматриваются вопросы управления слабоструктурированными бизнес-процессами, которые могут изменяться во время выполнения. Предлагаются принципы управления, ситуативно-сценарная модель процесса и метод ее реализации на основе представления процесса в виде последовательности ситуаций и связанных с ними сценариев, состоящих из процедур и объектов данных.

Несмотря на то, что существует довольно развитый аналитический аппарат исследования систем, тенденции развития современной техники, следует заметить, что существующие модели систем с динамической маршрутизацией, в ряде случаев, уже не отражают новые статистические закономерности, обнаруженные на практике, а методы исследования трудно расширить на новые модели. Поэтому необходимо разработать как новую модель, так и новые методы исследования систем, отражающие обнаруженные закономерности.

Целью работы является разработка модели и метода оптимизации маршрутов множества выполняемых бизнес-процессов в рамках организационно-технической системы с учетом комплекса критериев оптимальности.

Для достижения поставленной цели исследования в работе решаются следующие задачи:

- разработка комплекса критериев оценки качества функционирования организационно-технической системы;
- построение модели формирования исполнительской структуры для бизнес-процесса;
- разработка метода решения задачи динамического формирования исполнительской структуры для бизнес-процесса.

МАТЕРИАЛ И РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ. Исходя из концептуальных положений, сформулированных в [13–14] построим критерий эффективности на основе линейного представления взаимосвязи между затратами (добавленной стоимостью $PE-RE$) и временем выполнения операции TO .

Примем во внимание тот факт, что рабочее время является ресурсом, имеющим свою стоимость в зависимости от сложности операции, квалификации исполнителя и других факторов [6]. Введем цену операционного времени исполнителя в виде стоимостного коэффициента e с размерностью $[\partial.e./\tau_0]$. Тогда стоимостное выражение совокупных затрат на момент окончания операции примет вид,

$$CO = e \cdot TO + R_M + cd, \quad (1)$$

где $e \cdot TO$ – стоимость затраченного рабочего времени длительностью TO ; R_M – стоимость использования и амортизации исполнительного механизма. В стоимость R_M включены затраты на обслуживание механизма и затраты на энергетические ресурсы; cd (cost of delay) – цена задержки операции $[\partial.e./\tau_3]$. Цена задержки определяется менеджером. Менеджер, исходя из реалий бизнес-процесса, назначает общую цену задержки бизнес-процесса. Затем цена распределяется между бизнес-операциями пропорционально нормам времени их выполнения.

Выражение (1), будучи линейной функцией времени и стоимостного ресурса, позволяет сформировать критерий, на основании которого можно проводить расчеты затрат, а следовательно, и эффективности как отдельных операций, так и системы операций, проводимых последовательно и параллельно во имя достижения общей цели.

Поскольку степень участия человека и робота в выполнении конкретной бизнес-операции будет разной, на основе выражения (1) запишем показатель себестоимости совместного функционирования h -агента, b -агента и исполнительного механизма при выполнении бизнес-операции:

$$C_{HB} = e_H \cdot TO_H + e_B \cdot TO_B + R_M + cd, \quad (2)$$

где $e_H \cdot TO_H$ – стоимость рабочего времени h -агента, $e_B \cdot TO_B$ – стоимость рабочего времени b -агента. В общем виде выражение (2) как показатель затратности операции запишем:

$$C_{HB} = \sum_{s=1}^{S_R} re_s + cd, \quad s = \overline{1, S_R}, \quad (3)$$

где re_s – стоимостное выражение ресурсов операции.

Необходимо учесть, что коэффициент стоимости рабочего времени h -агента может изменяться в зависимости от его квалификации, загруженности, степени ответственности и других факторов.

Далее определим среднюю вероятность успешного выполнения своих функций (микроопераций) человеком и роботом из-за вероятности пропуска критических и вероятности наступления нештатных ситуаций.

Надежность функционирования роботизированной организационно-технической системы во многом зависит от надежности функционирования b -агентов. В процессе выполнения бизнес-операции могут возникать ошибки или нештатные ситуации, приводящие к выходу бракованного продукта или к потере времени, отведенного на безубыточный плановый процесс. Считая, что качество бизнес-процесса во многом определяется вероятностью возникновения ошибок и, как следствие, возникновения критических ситуаций, ведущих к снижению эффективности, запишем вероятность ухудшения качества бизнес-процесса при возникновении ошибки:

$$P_E = \sum_{k=1}^K P_k [1 - P_{kd}(s(t))P_{ke}(u(t), c(t))], \quad (4)$$

где P_k – вероятность возникновения ошибки при выполнении k -й операции; P_{kd} – вероятность своевременного обнаружения ошибки при выполнении k -й операции; P_{ke} – вероятность своевременного устранения результатов ошибки.

Соответственно, вероятность успешного завершения операций P_S в отведенное по норме время будет:

$$P_S = \sum_{k=1}^K (1 - P_k (1 - P_{kd}(s(t))P_{ke}(u(t), c(t)))) \quad (5)$$

Будем считать, что при вероятности выхода из строя технических средств АРМ близкой к 0, величина P_S отражает уровень надежности (компетенции) пары h - b при выполнении конкретной бизнес-операции.

Поскольку критерий эффективности должен быть относительной величиной, примем за базовую величину себестоимость операции выполняемой исключительно человеком и без ошибок

$$C_H^b = e_H^b \cdot TO_H^b + R_M^b, \quad (6)$$

где e_H^b , TO_H^b , R_M^b – соответственно, базовая цена рабочего времени h -агента, базовое нормативное время, отведенное по результатам ФСА на выполнение данной операции человеком, базовые нормативные затраты на эксплуатацию и обслуживание исполнительного механизма в течение базового нормативного времени TO_H^b .

При использовании b -агента время TO_H будет сокращаться, а значит, будет сокращаться добавленная стоимость. Операция станет дешевле, а значит, эффективнее. Таким образом, минимизируя опера-

ционное время TO_H , мы повышаем эффективность операции за счет сокращения зарплатоемкости, относительного и абсолютного высвобождения работников.

С учетом сказанного, выражение для показателя эффективности приобретет вид:

$$V = \frac{\alpha_j e_H TO_H + \alpha_B e_B TO_B + (\alpha_j + \alpha_B) R_M}{C_H^b} \rightarrow \min, \quad (7)$$

где $\alpha_H = 1 + (1 - P_{SH})$, $\alpha_B = 1 + (1 - P_{SB})$ – коэффициенты, учитывающие увеличение времени и расходов вследствие вероятности возникновения ошибки человека и бота, P_{SH} и P_{SB} – соответственно вероятности успешного (безошибочного) завершения операций h-агента и b-агента.

При выполнении множества бизнес-операций, принадлежащих одному бизнес-процессу, выражение (7) принимает вид:

$$C_{HB} = \sum_{i=1}^I \sum_{s=1}^{S_R} re_i, \quad s = \overline{1, S_R}, i = \overline{1, I} \quad (8)$$

что соответствует двойному интегрированию при распределенном характере потребления ресурсов при выполнении непрерывных операций [15]. Таким образом, выполняются все формальные признаки показателей, сформулированные в [13].

В качестве дополнительных показателей будем использовать следующие [12]: множество задач, реализуемых в системе ($i = 1, 2, \dots, I$); множество узлов системы управления ($j = 1, 2, \dots, J$).

Необходимо так распределить задачи по узлам системы, чтобы достигнуть максимального значения эффективности в заданной области допустимых ограничений.

Введём дополнительную переменную

$$x_{kn} = \begin{cases} \mathbf{1} & , \text{ если } i\text{-я заявка выполняется} \\ \mathbf{0} & \text{ в противном случае.} \end{cases}$$

Тогда оптимизацию распределения заявок по узлам можно проводить по одной из следующих целевых функций:

$$f_1 = \min_{Xkn} \sum_{k=1}^K \sum_{n=1}^N t_{kn} x_{kn}; \quad (9)$$

$$f_2 = \min_{Xkn} \left[\max_n \left(\sum_{k=1}^K t_{kn} x_{kn} \right) \right]. \quad (10)$$

Функция (9) соответствует минимизации общего времени решения задач в узлах, а функция (10) – минимизации максимального времени решения задач в узлах. При этом необходимо учитывать, что время выполнения и вероятность сбоев зависят от компетенции коллектива агентов, то есть от пар h-b.

Необходимо также учесть следующие ограничения:

- а) связи между заявками задаются матрицами;
- б) ограничения на общее время решения всех задач бизнес-процесса имеет вид:

$$\sum_{k=1}^K \sum_{n=1}^N t_{kn} x_{kn} \leq T_3. \quad (11)$$

В зависимости от того, какая целевая функция и какие ограничения учитываются, возникает ряд частных постановок задачи оптимального распределения заявок по АРМ.

В рамках процесса формирования исполнительных групп задача оптимального распределения заявок по функциональным узлам организационно-технической системы является, по сути, задачей динамического синтеза функциональной сети под каждый бизнес-процесс. Данная задача синтеза в общем виде сформулирована в работе [16]. Необходимо определить оптимальную структуру сети на период времени t

$$S_{opt}(t) = \{E^*(t), A^*(t), X^*(t), Y^*(t)\}, \quad t \in T, \quad (12)$$

где $E^*(t) \in E(t)$ – допустимое множество элементов системы в период t ; $A^*(t) \in A(t)$ – допустимое множество взаимосвязей элементов системы в период t ; $X^*(t) \in X(t)$ – допустимое множество собственных функциональных характеристик элементов системы в период t ; $Y^*(t) \in Y(t)$ – допустимое множество системных функциональных характеристик в период t при выполнении ограничений ресурсного, технологического, директивного, тактического и других типов, в рамках которых осуществляется развитие и функционирование системы: $R[E(t), A(t), X(t), Y(t), t]$.

Решение задачи сводится к процессу динамической маршрутизации каждой заявки на выполнение бизнес-операции по каждому бизнес-процессу.

Выражение для показателя эффективности при выполнении множества бизнес-операций, принадлежащих одному бизнес-процессу записано выражением (8).

В систему ограничений данной задачи входят:

- а) ограничения времени реакции на возникновение ошибок: $T_D + T_R \leq T_{ID}$, где T_{ID} – время необратимого ухудшения ситуации; T_D – время обнаружения ошибки; T_R – время реакции.

- б) ограничения на количество АРМ $M(t) \in L^M$, $t \in T$;

- в) ограничения на количество компетенций h-исполнителей $K_H \in L^{KH}$;

- г) ограничения на количество компетенций b-исполнителей $K_B \in L^{KB}$;

- д) ограничения на время выполнения бизнес-процесса $T_{BP} \in L^{TB}$;

- е) ограничения стоимости задержек выполнения бизнес-процесса $C_d \in L^{Cd}$;

ж) ограничение на количество одновременно выполняемых бизнес-операции на одном АРМ, выбранное по степени сложности бизнес-операции в данной организационно-технической системе.

Рассмотрим метод решения задачи динамического формирования исполнительской структуры для бизнес-процесса. На предварительном этапе фиксируется поступление новой заявки на выполнение бизнес-операции.

Этап 1. Формируется подмножество АРМ по условию наличия соответствующей компетенции у h-агента.

1.1. Формируем матрицу-столбец BO_{BP} , в которой единицами отмечены используемые классы бизнес-операции. Отмечаем актуальную бизнес-операцию на текущий момент и находим соответствующую значимую строку в матрице компетенций.

1.2. Анализируя значимую строку матрицы компетенций C_{MA} , получаем подмножество h-агентов (и, соответственно, АРМ) – кандидатов на исполнение данной бизнес-операции в тех столбцах матрицы компетенций, где вероятность выше порогового значения, то есть, отношение $LCE: BO_{BP} \times C_{MA}$ отображает список АРМ-кандидатов на исполнение – LCE (List of candidates for execution).

1.3. Ранжирование АРМ в рабочем подмножестве по уровню h-компетентии.

Этап 2. Анализ очередей и формирование рабочего подмножества АРМ.

2.1. Подключаем матрицу выполнения $E(t)$, которая по максимальным числам в каждом столбце показывает длину очереди в n-му АРМ. Выбираем нужные максимальные значения, используя пороговое преобразование, и формируем сокращенное рабочее подмножество АРМ.

2.2. Ранжирование АРМ в сокращенном подмножестве по критерию 2 относительно заявок, стоящих в очереди. Для этого суммируем нормы времени выполнения TO_H по каждой бизнес-операции, стоящей в очереди. Применяя пороговое преобразование, выбираем сокращенное подмножество АРМ, имеющих минимальную стоимость задержек у стоящих в очереди заявок.

Этап 3. Определение целевого АРМ по критерию минимального количества одновременно выполняемых заявок на момент назначения новой заявки.

Этап 4. В каждой очереди ранжирование заявок по убыванию цены задержки cd_i .

Этап 5. Контроль состояния АРМ.

5.1. Если выявлена критическая ситуация, связанная с задержкой выполнения бизнес-операции, переходим к этапу 2. Иначе переход к п.5.2.

5.2. Если выявлен отказ АРМ, для каждой заявки из очереди к данному АРМ выполнение этапов 2...4. Переход к п. 5.3.

5.3. Если выявлен простой АРМ, осуществляется формирование очереди из заявок, стоящих в очередях на другие АРМ. Из хвостовых заявок в очередях к другим АРМ, образуется и ранжируется новая очередь. Длина очереди выбирается по условию:

$$L_{\text{новой очереди}} \approx L_{\text{ср}} \text{ длине имеющихся очередей}$$

Этап 6. Анализ длины очередей и определение наличия критической ситуации по длине очередей. Длиной очереди n-го АРМ считается время, необходимое для обслуживания всех заявок, находящихся в очереди и на обслуживании в момент времени t. Если найдена очередь, длина которой выше порога, данное АРМ помечается как заблокированное от участия в процедуре маршрутизации.

Этап 7. Если есть законченные бизнес-процессы, рассчитать для них значение критерия 8 Сохранить результат для анализа.

Оценка эффективности работы агента или пары h-b происходит по мере накопления статистических данных по успешности выполнения определенной бизнес-операции, при этом учитывается частота и серьезность ошибок и рассчитывается вероятность ошибок.

ВЫВОДЫ. Усовершенствован комплекс критериев оценки эффективности бизнес-операций и бизнес-процессов, реализуемых совместно человеком и роботом, за счет введения отдельных стоимостных оценок времени функционирования человека и робота, и учета вероятности успешного выполнения операции за отведенное нормативами время, что дало возможность динамического прогнозного оценивания эффективности выполнения заявок на выполнение бизнес-операции и адаптивного изменения траектории движения бизнес-процесса в условиях меняющейся операционной обстановки.

Получил дальнейшее развитие метод динамического распределения заявок по функциональным узлам при выполнении бизнес-процессов в организационно-технической системе за счет последовательного отбора узлов с максимальной компетенцией, ранжирования очередей по критерию цены задержки, и учета критических ситуаций в узлах, что дает возможность оперативно осуществлять формирование исполнительских структур организационно-технической системы под поступающие бизнес-задачи.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бабилова А. В., Корсаков М. Н., Сарафанов А. Д. Оптимизация бизнес-процессов промышленного предприятия на основе внедрения процессного подхода. *Креативная экономика*. 2017. Том 11, № 11. С. 1195–1208.
2. Громов А., Каменнова М., Старыгин А. Управление бизнес-процессами на основе технологии Workflow. *Открытые системы. СУБД*. 1997. № 1. С. 47–55.
3. Аксенов К. А., Гончарова Н. В. Динамическое моделирование мультиагентных процессов преобразования ресурсов. Екатеринбург: ГОУ ВПО УГТУ-УПИ, 2006. 311 с.
4. Введенская Н. Д., Добрушин Р. Л., Карпелевич Ф. И. Система обслуживания с выбором наименьшей из двух очередей - асимптотический подход. *Проблемы передачи информации*. 1996. Т. 32, № 1. С. 20–34.
5. Suhov Yu. M., Vvedenskaya N. D. Fast Jackson Networks with Dynamic Routing. *Problems Inform. Transmission*. 2002. V. 38, № 2. P. 136–153.

6. Корячко В. П., Перепелкин Д. А. Математическая модель адаптивной маршрутизации в корпоративных сетях. Информационные технологии в образовании: межвуз. сборник научных трудов РГРТУ. 2012. С. 47–55.

7. Поздняк И. С. Формирование множества допустимых маршрутов с использованием алгоритма адаптивной маршрутизации. Тезисы докладов XIV российской научной конференции ПГАТИ. 2007. С. 61–62.

8. Болодурина И. П., Парфёнов Д. И. Разработка методов и алгоритмов маршрутизации динамических потоков данных приложений и сервисов в гетерогенной облачной платформе. *Фундаментальные исследования*. 2016. № 12. С. 24–30.

9. Аленичев А. В. Методы исследования систем массового обслуживания с динамической маршрутизацией. Автореферат диссерт. 2005. 16 с.

10. Resnick S., Samorodnitsky G. A heavy traffic approximation for workload processes with heavy tailed service requirements. *Management Science*. 2000. №. 46. P. 1236–1248.

11. Аленичев А. В., Лиханов Н. Б. Динамическая маршрутизация в системе с заявками, имеющими степенной закон распределения времени обслуживания. *Информационные процессы*. 2005. Т. 5, № 3, С. 213–226.

12. Чалый С.Ф. Разработка технологии управления слабоструктурированными бизнес-процессами. *Автоматизированные системы управления и приборы автоматизации*. 2006. С. 63–71.

13. Lutsenko I., Fomovskaya E., Oksanych I., Vihrova E., Serdiuk O. Formal signs determination of efficiency assessment indicators for the operation with the distributed parameters. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2017. Vol. 1, Issue 4 (85). P. 24–30.

14. Оксанич И. Г. Кибернетическая сущность показателя эффективности. *Вчені записки Таврійського національного університету імені В.І. Вернадського*. 2019. Том 30 (69), № 1. С. 104–109.

15. Lutsenko I., Fomovskaya O., Oksanych I., Serdiuk O. Development of criterion verification method for optimization of operational processes with the distributed parameters. *Radio Electronics Computer Science Control*. 2017. Vol. 3. P. 161–174.

16. Габалин А. В., Разбегин В. П. Анализ и синтез структуры Workflow-систем. Международная конференции «Системы проектирования, технологической подготовки производства и управления этапами жизненного цикла промышленного продукта CAD/CAM/PDM». 2011. М.: ИПУ РАН. С. 34.

MODEL AND METHOD OF DYNAMIC FORMATION OF EXECUTIVE STRUCTURES IN ROBOTIZED ORGANIZATIONAL-TECHNICAL SYSTEMS

I. Shevchenko, I. Oksanych, I. Konokh

Kremenchuk Mykhailo Ostrohradskyi National University

vul. Pershotravneva, 20, Kremenchuk, 39600, Ukraine. E-mail: oksirena2017@gmail.com

Purpose. To develop a model and optimizing method for the routes of many running business processes within the framework of the organizational-technical system under optimality criteria set. **Methodology.** Research methods are based on methods of system analysis, methods of queuing systems, probability theory. **Findings.** The quality assessment criteria set of organizational-technical system functioning are determined. Basis on the determined criteria set the cost calculations carried out. Therefore the effectiveness of individual operations and operation system passing in series or in parallel to achieve a common goal are obtained. To account degree of human participation and robot work at specific business operation the cost indicator of joint functioning of human and executive mechanism is proposed. The cost indicator is including two agent: degree of human participation – h-agent, robot work – b-agent. The variation of human working time cost coefficient depending on qualification, workload, responsibility degree and other factors is taken into account. **Originality.** The criteria set of effectiveness evaluation for business operations and business processes jointly implemented with human and robot is improved. The criteria set improvement is reached by introducing separate cost estimates of the human and robot operating time, and by taking into account the probability of a successful operation in the standards allotted time. So we can dynamically predict the effectiveness of the business operation applications execution and adaptively change the business process trajectory at changing operating environment. The method of dynamical applications distributing by functional units during business processes in the organizational-technical system is further developed. This is achieved by consistent selection of maximum competence nodes, ranking queues by the delay prices criterion, and accounting critical situations in nodes. So the promptly formation of organizational-technical system's executive structures for incoming business tasks became possible. **Practical value.** The formation model of business process executive structure is proposed. The average probability of human and robot functions successful performance taking into account the missing critical situations probability and emergency situations probability is determined. References 16.

Key words: business process, BPM system, dynamic routing, agent, criterion.

REFERENCES

1. Babikova, A. V., Korsakov, M. N., Sarafanov, A. D. (2017), "Optimization of business processes of an industrial enterprise through the introduction of a process approach", *Journal of Creative Economy*, vol. 11, no. 11, pp. 1195-1208.

2. Gromov, A., Kamennova, M., Starygin, A. (1997), *Upravlenie biznes-processami na osnove tekhnologii Workflow [Workflow-based business process management]*, *Otkrytye sistemy. SUBD [Open systems. DBMS]*, no. 1. pp. 47-55.

3. Aksenov, K. A., Goncharova, N. V. (2006), *Dinamicheskoe modelirovanie multiagentnykh protsessov preobrazovaniia resursov* [Dynamic modeling of multi-agent resource conversion processes], GOU VPO UGTU-UPI, Ekaterinburg, Russia.
4. Vvedenskaia, N. D., Dobrushin, P. L., Karpelevich, F. I. (1996), Sistema obsluzhivaniia s vyborom naimenshei iz dvukh ocheredei - asimptoticheskii podkhod [Service system with the choice of the smallest of the two queues - asymptotic approach], *Problems of Information Transmission*, vol. 32, no. 1, pp. 20-34.
5. Suhov, Yu. M., Vvedenskaya, N. D. (2002), "Fast Jackson Networks with Dynamic Routing", *Problems of Information Transmission*, vol. 38, no. 2, pp. 136-153.
6. Koriachko, V. P., Perepelkin, D. A. (2012), Matematicheskaia model adaptivnoi marshrutizatsii v korporativnykh setiakh [The mathematical model of adaptive routing in corporate networks], *Informatcionnye tekhnologii v obrazovanii*, pp. 47-55.
7. Pozdniak, I. S. (2007), Formirovanie mnozhestva do-pustimykh marshrutov s ispolzovaniem algoritma adaptivnoi marshrutizatsii [Formation of a set of permissible routes using the adaptive routing algorithm], *XIV Russian Scientific Conference PGATI*, Samara, pp. 61-62.
8. Bolodurina, I. P., Parfenov, D. I. (2016), Developing methods and algorithms routing dynamic data flow of applications and services in the heterogeneous cloud platform, *Fundamental Research*, no. 12, pp. 24-30.
9. Alenichev, A. V. (2005), Metody issledovaniia sistem massovogo obsluzhivaniia s dinamicheskoi marshrutizatsiei [Research Methods of Queuing Systems with Dynamic Routing]: Author's thesis, Moscow, 16 p.
10. Resnick, S., Samorodnitsky, G. (2000), A heavy traffic approximation for workload processes with heavy tailed service requirements, *Management Science*, no. 46, pp. 1236-1248.
11. Alenichev, A. B., Likhanov, N. B. (2005), Dinamicheskaiia marshrutizatsiia v sisteme s zaiavkami, imeiushchimi stepennoi zakon raspredeleniia vremeni obsluzhivaniia [Dynamic routing in a system with applications having a power law distribution of service time], *Information Processes*, vol. 5, no. 3, pp. 213-226.
12. Chalyi, S. F. (2006), Razrabotka tekhnologii upravleniia slabostrukturirovannymi biznes-protsessami [Development of technology management weakly-structured business processes], *Management Information System and Devises*, pp. 63-71.
13. Lutsenko, I., Fomovskaya, E., Oksanych, I., Vihrova, E., Serdiuk, O. (2017), Formal signs determination of efficiency assessment indicators for the operation with the distributed parameters, *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, vol. 1, iss. 4 (85), pp. 24-30.
14. Oksanych, I. H. (2019), "Cybernetic nature of efficiency indicator", *Scientific notes of Taurida National V. I. Vernadsky University. Series: Technical Sciences*, vol. 30 (69), no. 1, pp. 104-109.
15. Lutsenko, I., Fomovskaya, O., Oksanych, I., Serdiuk, O. (2017), "Development of criterion verification method for optimization of operational processes with the distributed parameters", *Radio Electronics Computer Science Control*, vol. 3, pp. 161-174.
16. Gabalin, A. V., Razbegin, V. P. (2011), Analiz i sintez struktury Workflow-sistem [Analysis and synthesis of the structure of Workflow systems], *International conference "Systems for design, technological preparation of production and management of stages of the life cycle of an industrial product CAD/CAM/PDM"*, Moscow, 2011, pp. 34.

Стаття надійшла 07.10.2019.