Проаналізовано проблеми забезпечення ергономічної якості IT-аутсорсінгових систем. Обґрунтовано зміну сутності задачі ергономіки «розподіл функцій між операторами» для систем з гнучкою функціональною структурою і випадковим характером надходження заявок. Розроблено модель вибору оптимального розподілу функцій між операторами. Результати дозволяють підвищити надійність діяльності операторів та сприяють пошуку ергономічних резервів автоматизованих систем

Ключові слова: IT-аутсорсінг, поліергатична система, надійність, алгоритм діяльності, розподіл функцій

Проанализированы проблемы обеспечения эргономического качества ИТ-аутсорсинговых систем. Обосновано изменение сущности задачи эргономики "распределение функций между операторами" для систем с гибкой функциональной структурой и случайным характером поступления заявок. Разработана модель выбора оптимального распределения функций между операторами. Результаты позволяют повысить надежность деятельности операторов и способствуют поиску эргономических резервов автоматизированных систем

Ключевые слова: ИТ-аутсорсинг, полиэргатическая система, надежность, алгоритм деятельности, распределение функций

УДК 81.95.53
DOI: 10.15587/1729-4061.2016.66021

ЭРГОНОМИКА ИТ-АУТСОРСИНГА. РАЗРАБОТКА МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ДЛЯ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ЗАЯВОК МЕЖДУ ОПЕРАТОРАМИ

Е. А. Лавров
Доктор технических наук, профессор*
E-mail: prof_lavrov@mail.ru
Н. Б. Пасько
Старший преподаватель**
E-mail: nbpasko@gmail.com
А. С. Криводуб
Аспирант*
E-mail: annakrivodub@mail.ru
Н. Л. Барченко
Старший преподаватель**
E-mail: barchenkonatalia@gmail.com
В. Г. Концевич
Кандидат технических наук, доцент*
E-mail: valery@opm.sumdu.edu.ua
*Кафедра компьютерных наук
Сумской государственный университет
ул. Римского-Корсакова, 2, г. Сумы, Украина, 40007
**Кафедра кибернетики и информатики
Сумской национальный аграрный университет
ул. Герасима Кондратьева, 160, г. Сумы, Украина, 40021

1. Введение

Обслуживание современных распределенных систем управления связано с широким внедрением аутсорсинговых технологий. Усложнение информационных систем и связанная с этим возможность возникновения различного типа нарушений, сбоев, отказов и др. нештатных ситуаций требует оперативного реагирования. Под ИТ-аутсорсингом понимают передачу вопросов, касающихся функционирования информационных систем, сторонней организации, которая будет отвечать за их качественное выполнение. Высокие требования к скорости и безошибочности обработки информации и ликвидации нарушений связаны с огромными ущербами, которые могут быть вызваны, во-первых, неправильной (ошибочной) реализацией технологии, во-вторых, простоем оборудования. Широкое внедрение технологий, связанных с управлением работоспособностью и безошибочностью распределенных информационных систем и необходимость разработки новых подходов к техническому обслуживанию, вызвало возникновение нового научного направления "управление инцидентами безопасности автоматизированных систем".

Аутсорсинговая кампания является сложной человеко-машинной системой с большим количеством разнообразного персонала, в том числе, операторов, занятых непосредственно обработкой заявок. Высокая оперативность и напряженность деятельности человека-оператора повышает актуальность задач эргономического обеспечения. Кроме "привычных" задач эргономики, связанных с обеспечением требуемых условий труда на рабочем месте, которым традиционно на практике уделяется основное внимание, необходимо решать задачи "организационной эргономики", среди которых особое место занимают задачи распределения функций.

© Е. А. Лавров, Н. Б. Пасько, А. С. Криводуб, Н. Л. Барченко, В. Г. Концевич, 2016

От того, кому будет поручено выполнение заявки, существенно зависит качество ее выполнения, а, следовательно, и экономическая эффективность системы, а также напряженность деятельности операторов и степень выполнения эргономических норм и требований. Задача "распределение функций между операторами" является традиционной задачей эргономики, однако, несмотря на большой научный задел, существующие модели не могут быть применены для современных, аутсорсинговых систем, поскольку заявки поступают в случайные моменты времени и необходимо учитывать индивидуальные особенности операторов, работающих в системе. Задача должна решаться многократно и может быть актуальной в произвольный момент времени.

2. Анализ литературных данных и постановка проблемы

Различные аспекты человеко-машинного взаимодействия и поиск эргономических резервов повышения эффективности процессов производства и обработки информации являются традиционными задачами исследователей "человеческого фактора" в автоматизированных системах [1]. Актуальность эргономических исследований существенно возросла в связи расширением процессов телеобработки и удаленной работы операторов, в т.ч. в системах ИТ-аутсорсинга [2]. В современных системах управления возрастает вероятность стресса человека-оператора [2, 3], а также, – цена его ошибок [4], что актуализирует задачу обеспечения эргономического качества [5]. Опрос ряда ведущих эргономистов стран СНГ [6], ставивший целью анализ содержания и проблем современных исследований в области человеческого фактора, выявил возрастание роли и сложности деятельности операторов-руководителей [7, 8]. При этом обращается внимание на необходимость систем поддержки принятия решений (СППР) в области обеспечения оптимальных условий деятельности людей [8, 9]. На оператора-руководителя возлагаются задачи: организации деятельности операторов-исполнителей; создание оптимальных психологических условий работы [10]; обеспечения надежности и безопасности [4, 11]; эргономической оценки и экспертизы [7]. При этом основной задачей, решаемой оператором-руководителем является оптимальное распределение функций между исполнителями [6, 7, 12].

В базовой фундаментальной работе [13], в которой изложены основы функционально-структурной теории эрготехнических систем и их применение для различных задач построения систем эргономического качества, проанализированы способы определения оптимальной численности персонала и рационального распределения функций между операторами относительно стабильных систем с постоянной функциональной структурой, таких как морское судно, система управления цехом и т. п. Особенностью этих исследований было "разовое" решение задачи в условиях относительной стабильности параметров системы управления.

Для гибких систем с переменной функциональной структурой задача распределения функций эффективно может быть решена только на основе оценок показателей безошибочности и своевременности алгоритмов функционирования (АФ) т. е. процессов человеко-машинного взаимодействия [5, 6]. Это возможно, если в качестве базовой выбрать функционально-структурную теорию эрготехнических систем [12, 13], которая обеспечивает на основе единого системного подхода моделирование процессов человеко-машинного взаимодействия:

– формализованное описание;
– оценку надежности;
– оптимизацию.

Методология оптимизации человеко-машинного взаимодействия разработана в [12]. Отдельным задачам выбора способов выполнения операций в АФ и оптимизации структур АФ посвящены работы научной школы функционально-структурной теории эрготехнических систем [12, 13]. Для АФ последовательного типа задачи решаются на "графе работ", для систем с глобальными обратными связями – на "графе событий".

Эффективность использования подходов к распределению функций, основанных на теории функциональных сетей и моделей оценки безошибочности, продемонстрирована в работе, посвященной проектированию деятельности операторов локальной вычислительной сети [14]. Показано, что если описывать и оценивать алгоритмы деятельности операторов с помощью аппарата функциональных сетей, то можно получать оценки вариантов человеко-машинного взаимодействия для принятия соответствующих решений, в т. ч. и о распределении функций. При этом могут учитываться преимущественные возможности операторов.

В общем виде задача оптимального закрепления поступающей заявки за операторами автоматизированной системы с учетом требований максимизации вероятности безошибочного выполнения и ограничений на время реализации заявки поставлена в [15]. Показано, как при этом должны быть соблюдены эргономические нормы и требования к деятельности операторов. Данная общая постановка задачи позволила решить задачи закрепления одной поступающей заявки за одним из работающих в системе операторов (индивидуальная деятельность) [16] или за группой операторов (групповая деятельность) [17] при условии, что все операторы могут быть заняты выполнением других (фоновых) задач.

Таким образом, несмотря на наметившийся в последние годы прогресс применения аппарата функциональных сетей к традиционной задаче эргономики "распределение функций между операторами", к сожалению, не рассмотрена следующая проблемная ситуация, возникающая в практике деятельности операторов-руководителей систем ИТ-аутсорсинга. В систему поступает одновременно несколько заявок, связанных с проблемами функционирования различных информационных систем, принятых на обслуживание фирмой. Несвоевременное и ошибочное выполнение каждой заявки может приводить к ущербам (финансовым потерям). Операторы системы имеют различную квалификацию, индивидуальные особенности, условия на рабочих местах, что приводит, как правило, к различным значениям безошибочности и времени

выполнения (увеличению или уменьшению в зависимоста от конкретной комбинации значений влияюших факторов) как отдельных операций, так и всего АФ. Необходимо распределить эти заявки таким образом, чтобы минимизировать возможный ущерб от ненадежности операторов системы.

Проблема, как видно, состоит в оптимизации оперативного закрепления множества поступающих заявок за операторами системы. При этом должны быть учтены структуры АФ и индивидуальные особенности операторов. Ранее подобные задачи были решены либо для систем с жесткой функциональной структурой либо для условий, когда рассматривается одна заявка.

3. Цель и задачи исследования

Целью работы является разработка математической модели для СППР оператора-руководителя ИТ-аутсорсинговой системы, обеспечивающей оптимальное закрепление поступающих в случайные моменты времени заявок на обслуживание между операторами-исполнителями.

Для достижения поставленной цели необходимо решить задачи:

– разработать формальную модель оптимизации распределения функций;

– проверить возможность использования разработанной модели для построения соответствующей информационной технологии распределения функций.

4. Модель выбора оптимального варианта назначения операторов

4. 1. Анализ проблемных ситуаций ИТ-аутсорсинга

Оператору-руководителю в случайные моменты времени $\{t_z^1\}_{z=1}^Z$ поступают определенные заявки на реализацию функций $\{f_z\}_{z=1}^Z$. Время завершения функций $\{t_z^2\}_{z=1}^Z$ строго регламентировано. Процесс реализации функций является дискретным и может быть декомпозирован. При этом известна логико-временная связь между отдельными операциями.

Необходимо назначить на каждую заявку оператора-исполнителя таким образом, чтобы обеспечить минимум возможного ущерба от ненадежности операторов при выполнении всех поступивших заявок.

Ущерб может быть вызван тем, что:

– заявка выполнена с ошибкой;

– невозможно эффективное функционирование системы до тех пор, пока не будет реализовано безошибочное выполнение заявки (этот вид ущерба пропорционален времени, прошедшему от возникновения до завершения заявки).

Назначение необходимо проводить на основании информации о текущем состоянии системы, занятости операторов-исполнителей, их индивидуальных особенностях, уровне подготовленности и др. факторах. При этом учет влияющих факторов может быть выполнен посредством формирования исходных данных о безошибочности и характеристиках случайного времени выполнения каждым оператором каждой операции всех возможных заявок.

Необходимо учесть, что должны быть выполнены ограничения на выполнение заявок за заданное время и каждую заявку может выполнять исключительно один оператор.

4. 2. Постановка задачи в общем виде

В общем случае математическая модель оптимизационной задачи имеет вид:

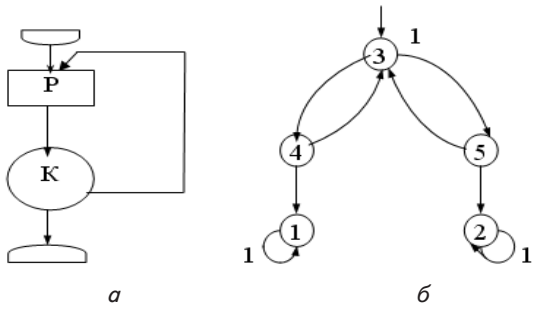
$$F(X) \to \min, \quad (1)$$

$$Q(X)\,\theta\,\mathrm{Const}, \quad (2)$$

$$X \in X', \quad (3)$$

где X – вектор, задающий вариант закрепления оператора за заявкой (функцией); F(X) – целевая функция, выражающая величину ущерба от возможных ошибок операторов при выполнении поступивших заявок; Q(X) – вектор, характеризирующий систему ограничений; θ – операции сравнения (=, >, <, >=, <=); Const – вектор констант. С помощью вектора констант задаются граничные значения стоимостных, временных ресурсов, показателей качества выполнения операций АФ и др.; X' – область допустимых решений, которая формируется исходя из анализа возможностей, функционального состояния, занятости, напряженности деятельности операторов и других возможных факторов.

Оптимизация АФ может быть проведена с использованием двух возможных представлений процессов человеко-машинного взаимодействия: на графе работ и с использованием графа возможных событий (на полумарковском процессе (ПМП)) [12]. Изначально строится граф работ. Для перехода к графу возможных событий вершинам графа работ необходимо сопоставить события, отвечающие старту или финишу операции. Исходов реализации отдельных операций может быть множество, в самом простом случае – 2: "нет ошибки", "есть ошибка". Исходам приписывают соответствующие дуги на графе. Пример построения графа событий по заданному графу работ [10] показан на рис. 1.



а *б*

Рис. 1. Пример формального описания АФ: *а* – граф работ; *б* – граф событий

На графе работ согласно системе обозначений функционально-структурной теории [12] Р – рабочая операция, К – операция контроля правильности функционирования.

Состояние "1" – графа событий соответствует завершению АФ без ошибки, а состояние "2" – с ошибкой.

4. 3. Модель оптимизации распределения функций

Разработаем способ для случая описания АФ в виде графа событий, который, как показано в [12], несмотря на сложность формирования модели, обладает большими возможностями (по сравнению с оптимизацией на графе работ, которая удобна исключительно для АФ последовательного типа). Согласно [12], задача оптимизации человеко-машинного взаимодействия сводится к поиску стратегии поглощающего ПМП, обеспечивающей максимум вероятности поглощения процесса в состояние r, соответствующее реализации АФ "без ошибки". Модифицируем эту модель таким образом, чтобы решить поставленную задачу назначения операторов на функции.

Обозначим через K множество всех операторов системы. Каждому варианту окончания АФ, реализующего z-ю заявку, на графе событий ставим в соответствие два поглощающих состояния – «нет ошибок» и «есть ошибки». Ошибочное завершение процесса деятельности z-й заявки приводит к ущербу в размере U^z. Величину ущерба, который несет фирма за единицу времени, предшествующую завершению выполнения z-го алгоритма, обозначим через u^z.

Поглощающие вершины графа, соответствующего z-й заявке, нумеруем первыми r^z натуральными числами (r^z – количество поглощающих вершин графа, соответствующего z-й заявке). В их число входят интересующие нас положительные исходы r_h^z. Для начальных вершин, которые нумеруются числами из числовой последовательности после первых r_h^z поглощающих вершин, зададим вектор начальных вероятностей, т. е. вероятности нахождения системы в начальных состояниях в соответствующих вершинах графа событий:

$$a^z = (a^z_{r^z+1}, a^z_{r^z+2}, ..., a^z_{N^z}), \sum_{i=r^z+1}^{N^z} a_i^z = 1, \; z=1, 2, ..., Z, \qquad (4)$$

где N^z – общее количество вершин графа, соответствующего z-й заявке, из которых первые r^z – поглощающие; Z – общее количество поступивших заявок на одновременное выполнение функций.

В каждой вершине i^z графа, соответствующего z-й заявке, может быть K альтернатив или решений (работу могут выполнять K операторов). Каждому решению соответствует свой набор переходов, который характеризуется вероятностью перехода из вершины i^z в вершину j^z при выборе k-го решения, $k \in K$. Выбор k-го решения означает назначение оператора $k \in K$ на операцию, которая моделируется вершиной i^z графа событий.

Обозначим через $P_{i^z j^z}^{(k)}$ – вероятность перехода системы из вершины i^z в вершину j^z при выборе k-го решения. Причем:

$$\sum_{j^z} P_{i^z j^z}^{(k)} = 1 \text{ при всех } i^z, \text{ всех } k \in K \text{ и при } z=1, 2, ..., Z, \qquad (5)$$

где $T_{i^z j^z}^{(k)}$ – среднее время i^z-й работы при k-м решении при переходе в вершину j^z. В этом случае среднее время i^z-й операции при k-м решении $T_{i^z}^{(k)}$ можно выразить следующим образом:

$$T_{i^z}^{(k)} = \sum_{j^z} P_{i^z j^z}^{(k)} \cdot T_{i^z j^z}^{(k)}, \qquad (6)$$

где $x_{i^z}^{(k)}$ – переменная, задающая выбор решения: $x_{i^z}^{(k)} > 0$ в том случае, если в i^z-й вершине графа, соответствующего алгоритму функционирования реализации z-й заявки, для выполнения работы выбрано k-е решение, и $x_{i^z}^{(k)} = 0$, в противном случае.

$$P_r^z = \sum_h \sum_{i^z=r^z+1}^{N^z} \sum_{k \in K} P_{i^z h}^{(k)} \cdot x_{i^z}^{(k)},$$

где P_r^z – вероятность попадания в поглощающее состояние r для графа событий, соответствующего z-й заявке. Здесь h – интересующие нас исходы.

Считаем, что окончанию выполнения алгоритма функционирования, реализующего z-ю заявку, отвечают два состояния:

– «безошибочное выполнение» АФ с вероятностью поглощения P_1^z;

– ошибочное выполнение АФ с вероятностью поглощения P_2^z.

Так как эти события составляют полную группу событий, то $P_1^z + P_2^z = 1$.

$$P_1^z = \sum_h \sum_{i^z=r^z+1}^{N^z} \sum_{k \in K} P_{i^z 1}^{(k)} \cdot x_{i^z}^{(k)}, \qquad (7)$$

$$P_2^z = 1 - \sum_h \sum_{i^z=r^z+1}^{N^z} \sum_{k \in K} P_{i^z 1}^{(k)} \cdot x_{i^z}^{(k)}, \qquad (8)$$

$$T^z = \sum_{i=r^z+1}^{N^z} \sum_{j^z} \sum_{k \in K} P_{i^z j^z}^{(k)} \cdot T_{i^z j^z}^{(k)} \cdot x_{i^z}^{(k)}, \qquad (9)$$

где T^z – среднее время процесса до поглощения для графа событий, соответствующего z-й заявке.

Под оптимизацией системы понимается выбор в каждой вершине такого решения (альтернативы), чтобы целевой функции доставлялся экстремум и выполнялись все ограничения задачи.

Составим выражение для целевой функции и зададим ограничения задачи оптимизации.

Величину ущерба, нанесенного в результате ошибочного выполнения алгоритмов функционирования, реализующих все Z заявок, определяем по формуле (10):

$$F(X) = \sum_{z=1}^{Z} ((1 - P_1^z) \cdot U^z + T^z \cdot u^z), \qquad (10)$$

где P_1^z, T^z определяются по формулам (7) и (9), соответственно; U^z – известная величина ущерба при ошибочном выполнении z-й заявки; u^z – величина ущерба, который несет фирма за единицу времени, предшествующую завершению выполнения z-го алгоритма.

Задача оптимизации без ограничения на время выполнения и не учитывающая тот факт, что все АФ выполняются разными операторами, имеет вид:

$$\sum_{z=1}^{Z} ((1 - \sum_h \sum_{i^z=r^z+1}^{N^z} \sum_{k \in K} P_{i^z 1}^{(k)} \cdot x_{i^z}^{(k)}) \cdot U^z + $$

$$+ (\sum_{i^z=r^z+1}^{N^z} \sum_{j^z} \sum_{k \in K} P_{i^z 1}^{(k)} \cdot x_{i^z}^{(k)}) \cdot u^z) \to \min, \qquad (11)$$

$$\sum_{k \in K} x_{j^z}^{(k)} - \sum_{i^z=r^z+1}^{N^z} \sum_{k \in K} P_{i^z j^z}^{(k)} \cdot x_{i^z}^{(k)} = a_{j^z}^z,$$

$$j^z = r^z+1, r^z+2, ..., N^z, \; \forall z \in Z, \qquad (12)$$

$$\sum_{j^z=1}^{r^z}\sum_{i^z=r^z+1}^{N^z}\sum_{k\in K} P_{i^z j^z}^{(k)}\cdot x_{i^z}^{(k)}=1, \quad (13)$$

$$x_{i^z}^{(k)}\geq 0 \text{ при всех } i^z \text{ и всех } k\in K. \quad (14)$$

Ограничение (13) – нормирующее условие (с вероятностью 1 процесс должен поглотиться). Решение этой задачи обладает таким свойством, что для каждого i^z только один $x_{i^z}^{(k)}$ отличен от нуля. Это означает, что в вершине i^z для выполнения работы принимается k-е решение, $k\in K$, т. е., что на операции, соответствующие i^z-м вершинам графа событий, назначен человек-оператор $k\in K$. Для каждой поступившей на выполнение по заявке функции f_z введем матрицу $U^z=[u_{nl}^z]$, отображающую соответствие вершин графа событий операциям графа работ:

– размерность матрицы – $n_0^z\times L^z$;

– количество строк матрицы n_0^z равняется количеству операций графа работ, моделирующего АФ выполнения функции f_z;

– количество столбцов матрицы L^z – максимальное число вершин графа событий, отвечающее одной из операций графа работ;

– ненулевые элементы строки n матрицы $[u_{nl}]$ – это номера вершин графа событий, моделирующие n-ю операцию графа работ.

Координаты вектора $X^z=\{x_1^z,x_2^z,...,x_{n_0^z}^z\}$, задающего закрепление поступившей функции f_z за операторами, определяются значениями переменных $x_{i^z}^{(k)}$ и элементами матрицы соответствия $[u_{nl}^z]$:

1. Размерность X^z равна числу операций: n_0^z.

2. Значение n-й координаты вектора равно верхнему индексу k ненулевой переменной $x_{i^z}^{(k)}$, если ее нижний индекс совпадает с номером вершины графа событий, соответствующей n-й операции графа работ:

$$x_n^z=k, \text{ если } x_{i^z}^{(k)}>0 \text{ и } i^z=u_{nl}^z,\ n=1,2,...,n_0^z. \quad (15)$$

Таким образом, находится оптимальное решение в каждой вершине, и, следовательно, оптимальная стратегия закрепления операторов. Тогда искомый вектор X можно представить как объединение всех векторов X^z:

$$X=\{X^1,X^2,...X^Z\}. \quad (16)$$

Для того чтобы учесть условие ограничения по времени выполнения алгоритмов и тот факт, что каждый алгоритм выполняется только одним оператором, вводятся булевские переменные $\delta_z^{(k)}$ (для отображения выполнения z-й заявки k-м оператором; если $\delta_z^{(k)}=1$, то это означает, что z-ю заявку выполняет k-й оператор) и добавляются новые ограничения:

$$\sum_{i=r^z+1}^{N^z}\sum_{j^z}\sum_{k\in K} P_{i^z j^z}^{(k)}\cdot T_{i^z j^z}^{(k)}\cdot x_{i^z}^{(k)}\leq T_0^z \text{ при всех } k\in K, \quad (17)$$

$$\sum_{k\in K}\delta_z^{(k)}=1 \text{ для всех z}, \quad (18)$$

$$x_{i^z}^{(k)}-M\cdot\delta_z^{(k)}\leq 0 \text{ при всех } i^z \text{ и всех } k\in K, \quad (19)$$

$$x_{i^z}^{(k)}-m\cdot\delta_z^{(k)}\geq 0 \text{ при всех } i^z \text{ и всех } k\in K, \quad (20)$$

$$\sum_{z\in Z}\delta_z^{(k)}\leq 1 \text{ при всех } k\in K. \quad (21)$$

Здесь m и M – некоторое малое и некоторое большое числа. T_0^z – верхнее ограничение на время выполнения z-й заявки: $T_0^z=t_z^2-t_z^1$.

Смысл указанных ограничений следующий:

1) ограничение (18) для булевской переменной $\delta_z^{(k)}$ требует, чтобы для каждого z только одно $\delta_z^{(k)}$ было равно единице. Это означает, что z-ю заявку выполняет k-й оператор;

2) ограничение (19) требует, чтобы при каждом i^z не более чем одно $x_{i^z}^{(k)}$ было отлично от нуля (совместно с ограничением (14));

3) ограничение (20) требует, чтобы при каждом i^z одно или более $x_{i^z}^{(k)}$ было отлично от нуля. Совместно (19) и (20) требуют, чтобы лишь одно $x_{i^z}^{(k)}$ было отлично от нуля;

4) Ограничение (21) для булевской переменной $\delta_z^{(k)}$ требует, чтобы для каждого k только одно $\delta_z^{(k)}$ могло быть равно единице. Это означает, что все заявки выполняют разные операторы.

Таким образом, оптимизационная модель имеет вид:

$$\sum_{z=1}^{Z}((1-\sum_{h}\sum_{i^z=r^z+1}^{N^z}\sum_{k\in K} P_{i^z 1}^{(k)}\cdot x_{i^z}^{(k)})\cdot U^z+$$

$$+(\sum_{i^z=r^z+1}^{N^z}\sum_{j^z}\sum_{k\in K} P_{i^z 1}^{(k)}\cdot x_{i^z}^{(k)})\cdot u^z)\rightarrow \min, \quad (22)$$

$$\sum_{k\in K} x_{j^z}^{(k)}-\sum_{i^z=r^z+1}^{N^z}\sum_{k\in K} P_{i^z j^z}^{(k)}\cdot x_{i^z}^{(k)}=a_{j^z}^z,$$

$$j^z=r^z+1,r^z+2,...,N^z,\ \forall z\in Z, \quad (23)$$

$$\sum_{j^z=1}^{r^z}\sum_{i^z=r^z+1}^{N^z}\sum_{k\in K} P_{i^z j^z}^{(k)}\cdot x_{i^z}^{(k)}=1, \quad (24)$$

$$x_{i^z}^{(k)}\geq 0 \text{ при всех } i^z \text{ и всех } k\in K, \quad (25)$$

$$\sum_{i=r^z+1}^{N^z}\sum_{j^z}\sum_{k\in K} P_{i^z j^z}^{(k)}\cdot T_{i^z j^z}^{(k)}\cdot x_{i^z}^{(k)}\leq T_0^z \text{ при всех } z\in Z, \quad (26)$$

$$\sum_{k\in K}\delta_z^{(k)}=1 \text{ для всех z}, \quad (27)$$

$$x^{(k)}-M\cdot\delta^{(k)}\leq 0 \text{ при всех } i^z \text{ и всех } k\in K, \quad (28)$$

$$x_{i^z}^{(k)}-m\cdot\delta_z^{(k)}\geq 0 \text{ при всех } i^z \text{ и всех } k\in K, \quad (29)$$

$$\sum_{z\in Z}\delta_z^{(k)}\leq 1 \text{ при всех } k\in K. \quad (30)$$

Координаты вектора *X* закрепления функций f_z за операторами определяются через решение задачи (22)–(30) по формулам (15) и (16).

4. 4. Пример реализации модели

Рассмотрим демонстрационную упрощенную задачу оптимального распределения функций между операторами-исполнителями фирмы, предоставляющей своим клиентам услуги IT-аутсорсинга. Пусть

на фирму поступают заявки на восстановление базы данных системы бухгалтерского учета заказчика (заявка типа f_1) и восстановление работоспособности кассового аппарата в розничной точке (заявка типа f_2). Приоритет заявок – срочные. Время выполнения для первой заявки не более 3,5-х час., для второй заявки – не более 2,5-х час. Заявки могут выполнять шесть операторов-исполнителей.

Необходимо обеспечить минимум ущерба, который может быть нанесен в результате ошибочного выполнения алгоритмов функционирования, реализующих обе заявки. Жесткое ограничение на временные параметры процесса выполнения объясняется тем, что несвоевременная реализация алгоритма деятельности операторов влечет за собой убытки от срыва графика подачи отчетных документов заказчиком в контролирующие структуры для первой заявки и прекращения торговли для заявки.

Состав операций АФ реализации поступающих заявок показан в табл. 1.

Таблица 1

Состав операций алгоритмов функционирования, реализующих заявки типа f_1 и f_2

№ п/п	Название	Обозначение	Название типовой функциональной единицы
Операции алгоритма деятельности выполнения заявки типа f_1			
1	Подключение к облачному хранилищу данных	P_1	Рабочая
2	Скачивание резервной копии базы данных бухгалтерского учета заказчика	P2	Рабочая
3	Разархивирование и установка резервной копии	P3	Рабочая
4	Контроль правильности функционирования системы	K1	Контроль функционирования
Операции алгоритма деятельности выполнения заявки типа f_2			
1	Формирование и обработка запроса на определение параметров системы управления кассовым аппаратом	P_1	Рабочая
2	Перегрузка модема и кассового аппарата, выполнение ремонтных работ	P2	Рабочая
3	Настройка программного обеспечения системы управления кассовым аппаратом	P3	Рабочая

Модель процесса восстановления резервной базы данных системы бухгалтерского учета в виде графа работ и графа событий показана на рис. 2, модель процесса восстановления работоспособности кассового аппарата – на рис. 3. Обозначения – согласно [12]. В демонстрационных целях показан один из возможных способов выполнения заявок, в случае наличия контрольных операций правильности реализации операций алгоритма, структура реализации заявки f_2 будет с одной или несколькими обратными переходами. Исходные данные по качеству выполнения рабочих операций алгоритмов деятельности для реализации заявок f_1 и f_2 приведены в табл. 2. Исходные данные по качеству выполнения контрольной операции алгоритма деятельности, реализующего заявку f_1, приведены в табл. 3. Здесь B1 – вероятность безошибочного выполнения рабочей операции, K11 – вероятность признания рабочей операции выполненной правильно при фактически правильном выполнении, K00 – вероятность признания рабочей операции выполненной неправильно при фактически неправильном выполнении, M и D – математическое ожидание и дисперсия времени выполнения операции. Величина ущерба при ошибочном выполнении заявки f_1 составляет 98,4 грн., заявки f_2 – 120,7 грн. Величина ущерба за единицу времени ожидания выполнения заявки f_1 составляет 19 грн., заявки f_2 – 25 грн.

Таблица 2

Исходные данные по качеству выполнения рабочих операций алгоритмов деятельности для реализации заявок f_1 и f_2

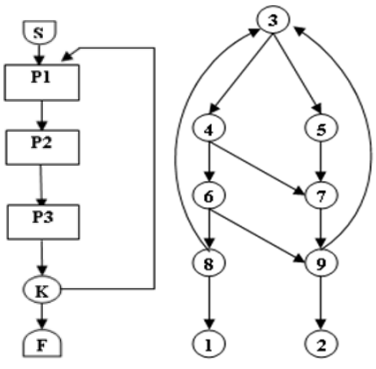
Оператор	Характеристики выполнения		Операции					
			Заявка f_1			Заявка f_2		
			P_1	P_2	P_3	P_1	P_2	P_3
1	Безошибочность	B^1	0,98	0,97	0,98	0,98	0,97	0,98
	Время	M,час	0,25	0,8	1,45	0,3	1,8	0,7
		$D,час^2$	0,10	0,32	0,21	0,25	0,20	0,14
2	Безошибочность	B^1	0,99	0,975	0,986	0,99	0,975	0,986
	Время	M,час	0,1	0,5	1,1	0,35	1,45	0,6
		$D,час^2$	0,09	0,35	0,22	0,28	0,25	0,15
3	Безошибочность	B^1	0,998	0,973	0,989	0,979	0,988	0,986
	Время	M,час	0,25	0,8	1,3	0,2	1,2	0,5
		$D,час^2$	0,08	0,34	0,22	0,29	0,23	0,25
4	Безошибочность	B^1	0,978	0,979	0,9829	0,968	0,983	0,966
	Время	M,час	0,5	0,9	1,2	0,34	1,3	0,65
		$D,час^2$	0,08	0,27	0,32	0,26	0,22	0,26
5	Безошибочность	B^1	0,999	0,977	0,999	0,998	0,983	0,966
	Время	M,час	0,4	0,5	1,5	0,32	1,44	0,65
		$D,час^2$	0,08	0,34	0,21	0,27	0,25	0,26
6	Безошибочность	B^1	0,984	0,987	0,92	0,958	0,991	0,961
	Время	M,час	0,35	0,8	2,4	0,45	1,2	0,85
		$D,час^2$	0,08	0,29	0,20	0,29	0,23	0,25

Таблица 3

Исходные данные по качеству выполнения контрольной операции алгоритма деятельности, реализующего заявку f_1

Оператор	Характеристики выполнения операции контроля			
	Качество контроля		Время	
	K^{11}	K^{00}	M,час	$D,час^2$
1-й оператор	0,99	0,97	0,7	0,25
2-й оператор	0,98	0,91	1	0,21
3-й оператор	0,979	0,954	0,9	0,28
4-й оператор	0,969	0,93	0,6	0,26
5-й оператор	0,972	0,96	1,2	0,24
6-й оператор	0,979	0,988	1,3	0,32

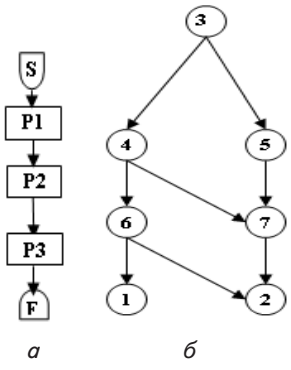
Данные в табл. 2, 3 являются, как правило, результатом обработки информации, содержащейся в статистических базах данных предприятия.



а *б*

Рис. 2. Модель процесса восстановления резервной базы данных системы бухгалтерского учета: *а* – граф работ; *б* – граф событий

Так как при закреплении поступающих заявок типа f_1 и f_2 за операторами-исполнителями необходимо учесть условие ограничения по времени выполнения алгоритмов и тот факт, что каждый алгоритм выполняется только одним оператором, задачу оптимизации представляем моделью (22)–(30). Для решения задачи выбираем средство «Поиск решения» MS Excel. Исходные данные для решения задачи в виде переходных вероятностей выполнения операций алгоритмов деятельности, реализующих заявки типа f_1 и f_2, приведены на рис. 4, 5, соответственно.



а *б*

Рис. 3. Модель процесса восстановления работоспособности кассового аппарата: *а* – граф работ; *б* – граф событий

Описание переменных оптимизационной модели для выполнения алгоритма деятельности, реализующего заявку типа f_1, и значения этих переменных, полученные в результате решения задачи, показаны на рис. 6.

Описание переменных оптимизационной модели для выполнения алгоритма деятельности, реализующего заявку типа f_2, фрагмент системы ограничений, выражение для целевой функции, значения переменных и целевой функции, полученные в результате решения задачи, приведены на рис. 7. Полученный результат ($x_{i^1}^{(2)} > 0$, $x_{i^2}^{(3)} > 0$, $\delta_1^2 > 0$ и $\delta_2^3 > 0$) показывает, что минимальный ущерб (F(X)=108,29) от ошибочного выполнения алгоритмов деятельности, реализующих заявки типа f_1 и f_2, будет получен, если выполнение заявки типа f_1 закрепить за вторым оператором, а выполнение заявки типа f_2 – за третьим оператором.

Матрицы переходных вероятностей выполнения операций алгоритма 1

Первый оператор Pij=	1	0	0	0	0	0	0	0	0		Второй оператор Pij=	1	0	0	0	0	0	0	0	0
	0	1	0	0	0	0	0	0	0			0	1	0	0	0	0	0	0	0
	0	0	0	0,98	0,02	0	0	0	0			0	0	0	0,99	0,01	0	0	0	0
	0	0	0	0	0	0,97	0,03	0	0			0	0	0	0	0	0,975	0,025	0	0
	0	0	0	0	0	0	1	0	0			0	0	0	0	0	0	1	0	0
	0	0	0	0	0	0	0	0,98	0,02			0	0	0	0	0	0	0	0,986	0,014
	0	0	0	0	0	0	0	0	1			0	0	0	0	0	0	0	0	1
	0,99	0	0,01	0	0	0	0	0	0			0,98	0	0,02	0	0	0	0	0	0
	0	0,03	0,97	0	0	0	0	0	0			0	0,09	0,91	0	0	0	0	0	0
Третий оператор Pij=	1	0	0	0	0	0	0	0	0		Четвертый оператор Pij=	1	0	0	0	0	0	0	0	0
	0	1	0	0	0	0	0	0	0			0	1	0	0	0	0	0	0	0
	0	0	0	0,998	0,002	0	0	0	0			0	0	0	0,978	0,022	0	0	0	0
	0	0	0	0	0	0,973	0,027	0	0			0	0	0	0	0	0,979	0,021	0	0
	0	0	0	0	0	0	1	0	0			0	0	0	0	0	0	1	0	0
	0	0	0	0	0	0	0	0,989	0,011			0	0	0	0	0	0	0	0,982	0,018
	0	0	0	0	0	0	0	0	1			0	0	0	0	0	0	0	0	1
	0,979	0	0,021	0	0	0	0	0	0			0,969	0	0,031	0	0	0	0	0	0
	0	0,046	0,954	0	0	0	0	0	0			0	0,07	0,93	0	0	0	0	0	0
Пятый оператор Pij=	1	0	0	0	0	0	0	0	0		Шестой оператор Pij=	1	0	0	0	0	0	0	0	0
	0	1	0	0	0	0	0	0	0			0	1	0	0	0	0	0	0	0
	0	0	0	0,999	0,001	0	0	0	0			0	0	0	0,984	0,016	0	0	0	0
	0	0	0	0	0	0,977	0,023	0	0			0	0	0	0	0	0,987	0,013	0	0
	0	0	0	0	0	0	1	0	0			0	0	0	0	0	0	1	0	0
	0	0	0	0	0	0	0	0,99	0,01			0	0	0	0	0	0	0	0,92	0,08
	0	0	0	0	0	0	0	0	1			0	0	0	0	0	0	0	0	1
	0,972	0	0,028	0	0	0	0	0	0			0,979	0	0,021	0	0	0	0	0	0
	0	0,04	0,96	0	0	0	0	0	0			0	0,012	0,988	0	0	0	0	0	0

Рис. 4. Матрицы переходных вероятностей выполнения операций алгоритма деятельности, реализующего заявку типа f_1

Матрица переходных вероятностей выполнения операций алгоритма 2

Первый оператор Pij=	1	0	0	0	0	0	0		Второй оператор Pij=	1	0	0	0	0	0	0
	0	1	0	0	0	0	0			0	1	0	0	0	0	0
	0	0	0	0,98	0,02	0	0			0	0	0	0,99	0,01	0	0
	0	0	0	0	0	0,97	0,03			0	0	0	0	0	0,975	0,025
	0	0	0	0	0	0	1			0	0	0	0	0	0	1
	0,98	0,02	0	0	0	0	0			0,986	0,014	0	0	0	0	0
	0	1	0	0	0	0	0			0	1	0	0	0	0	0
Третий оператор Pij=	1	0	0	0	0	0	0		Четвертый оператор Pij=	1	0	0	0	0	0	0
	0	1	0	0	0	0	0			0	1	0	0	0	0	0
	0	0	0	0,979	0,021	0	0			0	0	0	0,968	0,032	0	0
	0	0	0	0	0	0,988	0,012			0	0	0	0	0	0,983	0,017
	0	0	0	0	0	0	1			0	0	0	0	0	0	1
	0,986	0,014	0	0	0	0	0			0,966	0,034	0	0	0	0	0
	0	1	0	0	0	0	0			0	1	0	0	0	0	0
Пятый оператор Pij=	1	0	0	0	0	0	0		Шестой оператор Pij=	1	0	0	0	0	0	0
	0	1	0	0	0	0	0			0	1	0	0	0	0	0
	0	0	0	0,998	0,002	0	0			0	0	0	0,958	0,042	0	0
	0	0	0	0	0	0,983	0,017			0	0	0	0	0	0,991	0,009
	0	0	0	0	0	0	1			0	0	0	0	0	0	1
	0,966	0,034	0	0	0	0	0			0,961	0,039	0	0	0	0	0
	0	1	0	0	0	0	0			0	1	0	0	0	0	0

Рис. 5. Матрицы переходных вероятностей выполнения операций алгоритма деятельности, реализующего заявку типа f_2

Переменные для алгоритма 1

Имя переменной	X_{31}^{1}	X_{31}^{2}	X_{31}^{3}	X_{31}^{4}	X_{31}^{5}	X_{31}^{6}	X_{41}^{1}	X_{41}^{2}	X_{41}^{3}
Значение	0,0000	1,0672	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	1,0565	0,0000
Нижнее ограничение	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Имя переменной	X_{41}^{4}	X_{41}^{5}	X_{41}^{6}	X_{51}^{1}	X_{51}^{2}	X_{51}^{3}	X_{51}^{4}	X_{51}^{5}	X_{51}^{6}
Значение	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0100	0,0000	0,0007	0,0000	0,0000
Имя переменной	X_{61}^{1}	X_{6}^{2}	X_{61}^{3}	X_{61}^{4}	X_{61}^{5}	X_{61}^{6}	X_{71}^{1}	X_{71}^{2}	X_{71}^{3}
Значение	0,00000	1,03010	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,03708	0,00000
Имя переменной	X_{71}^{4}	X_{71}^{5}	X_{71}^{6}	X_{81}^{1}	X_{81}^{2}	X_{81}^{3}	X_{81}^{4}	X_{81}^{5}	X_{81}^{6}
Значение	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	1,01568	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000
Имя переменной	X_{91}^{1}	X_{91}^{2}	X_{91}^{3}	X_{91}^{4}	X_{91}^{5}	X_{91}^{6}			
Значение	0,00000	0,05151	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000			

Целочисленные переменные для алгоритма 1

Имя переменной	δ_1^{1}	δ_1^{2}	δ_1^{3}	δ_1^{4}	δ_1^{5}	δ_1^{6}	
Значение	0	1	0	0	0	0	
Верхнее ограничение	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	
Целочисленное	Целое	Целое	Целое	Целое	Целое	Целое	
Вероятность нахождения системы в начальном состоянии в вершине *i* графа событий алгоритма **1**	i=3	i=4	i=5	i=6	i=7	i=8	i=9
	1	0	0	0	0	0	0

Рис. 6. Описание переменных оптимизационной модели для выполнения алгоритма деятельности, реализующего заявку типа f_1

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
97	Переменные для алгоритма 2											
98	**Имя переменной**	x_{32}^{1}	x_{32}^{2}	x_{32}^{3}	x_{32}^{4}	x_{32}^{5}	x_{32}^{6}	x_{42}^{1}	x_{42}^{2}	x_{42}^{3}	x_{42}^{4}	
99	Значение	0,0000	0,0000	1,0451	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	1,8004	0,0000	
100	Нижнее ограничение	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
101												
102	**Имя переменной**	x_{42}^{5}	x_{42}^{6}	x_{52}^{1}	x_{52}^{2}	x_{52}^{3}	x_{52}^{4}	x_{52}^{5}	x_{52}^{6}	x_{6}^{1}	x_{6}^{2}	
103	Значение	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	1,0480	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	
104												
105	**Имя переменной**	x_{6}^{3}	x_{6}^{4}	x_{6}^{5}	x_{6}^{6}	x_{7}^{1}	x_{7}^{2}	x_{7}^{3}	x_{7}^{4}	x_{7}^{5}	x_{7}^{6}	
106	Значение	1,0076	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0930	0,0000	0,0000	0,0000	
107	Целочисленные переменные для алгоритма 2											
108	**Имя переменной**	δ_2^{1}	δ_2^{2}	δ_2^{3}	δ_2^{4}	δ_2^{5}	δ_2^{6}					
109	Значение	0	0	1	0	0	0					
110	Верхнее ограничение	1	1	1	1	1	1					
111	Целочисленное	Целое	Целое	Целое	Целое	Целое	Целое					
112	Вероятность нахождения системы в начальном состоянии в вершине *i* графа событий алгоритма 2	i=3	i=4	i=5	i=6	i=7						
113		1	0	0	0	0						
114	**Целевая функция:**	$U_1*(1-(P_{81}^{(1)}*X_{81}^{(1)}+P_{81}^{(2)}*X_{81}^{(2)}+P_{81}^{(3)}*X_{81}^{(3)}+P_{81}^{(4)}*X_{81}^{(4)}+P_{81}^{(5)}*X_{81}^{(5)}+P_{81}^{(6)}*X_{81}^{(6)}))+u_1*T_1 + U_2*(1-$						108,29		Минимум		
115		$(P_{61}^{(1)}*x_{62}^{(1)}+P_{61}^{(2)}*x_{62}^{(2)}+P_{61}^{(3)}*x_{62}^{(3)}+P_{61}^{(4)}*x_{62}^{(4)}+P_{61}^{(5)})*x_{62}^{(5)}+ P_{61}^{(6)}*x_{62}^{(6)})+u_2*T_2$										
116	**Вид ограничения**	**Ограничения на целочисленные переменные**								**Левая часть**	**Знак**	**Правая часть**
117	$\sum_{k \in K} \delta_{1,2}^{(k)} = 1$	$\delta_1^{(1)}+\delta_1^{(2)}+\delta_1^{(3)}+\delta_1^{(4)}+\delta_1^{(5)}+\delta_1^{(6)}=1$								1,0000	=	1
118		$\delta_2^{(1)}+\delta_2^{(2)}+\delta_2^{(3)}+\delta_2^{(4)}+\delta_2^{(5)}+\delta_2^{(6)}=1$								1,0000	=	1
119		**Ограничения на вещественные и целочисленные переменные алгоритма 1**										
120	$x_{1i}^{(k)} - M * \delta_1^{(k)} \le 0$	$x_{31}^{(k)}-M*\delta_1^{(k)}\le 0$, $x_{31}^{(k)}-m*\delta_1^{(k)}\ge 0$:			$x_{41}^{(k)}-M*\delta_1^{(k)}\le 0$, $x_{41}^{(k)}-m*\delta_1^{(k)}\ge 0$:			$x_{51}^{(k)}-M*\delta_1^{(k)}\le 0$, $x_{51}^{(k)}-m*\delta_1^{(k)}\ge 0$:			$x_{61}^{(k)}-M*\delta_1^{(k)}\le 0$, x		
121	$x_{1i}^{(k)} - m*\delta_1^{(k)} \ge 0$	0,0000	≤	0	0,0000	≤	0	0,0000	≤	0	-0,0012	≤	0
122		0,0000	≥	0	0,0000	≥	0	0,0000	≥	0	0,0000	≥	0

Рис. 7. Фрагмент системы ограничений и результат решения задачи оптимизации распределения функций между операторами в среде MS Excel

Реализация разработанной модели оптимизации закрепления поступающих заявок между операторами-исполнителями, предоставляющими клиентам услуги IT-аутсорсинга, позволяет значительно сократить ущерб от простоя оборудования и ошибок решений распределения функций. На рис. 8 представлены результаты сравнения некоторых вариантов распределения функций (фрагмент).

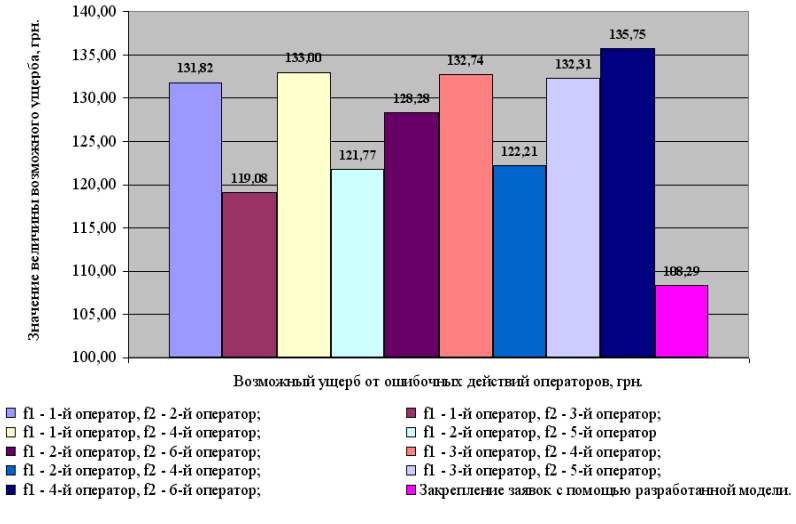


Рис. 8. Сравнение альтернативных вариантов (фрагмент) распределения заявок типа f1 и f2 между операторами

Таким образом, даже для данного "усеченного" демонстрационного примера экономическая эффективность принятых решений очевидна.

Для реальных систем критического типа оптимальное распределение функций является весомым резервом повышения эффективности.

5. Обсуждение результатов исследования задачи оптимального распределения заявок между операторами аутсорсинговой системы

Разработанная модель позволяет решать задачу оптимального распределения поступающих в случайные моменты времени заявок на реализацию дискретных функций между операторами аутсорсинговой системы. Обеспечивается минимизация ущерба от ненадежности действий людей-операторов и выполнение ограничений на своевременное выполнение.

Достоинства разработки состоят в том, что решения принимаются на основе квалиметрического подхода и их характеристики могут быть оценены количественно, при этом обеспечивается возможность учета структур деятельности операторов, а также индивидуальных характеристик

вается возможность учета структур деятельности операторов, а также индивидуальных характеристик их надежности и быстродействия. При традиционном закреплении операторов за заявками, выполняемом, как правило, на основании интуиции руководителей в условиях ограниченного времени, качество принимаемых решений не может быть гарантировано.

К возможным недостаткам и ограничениям метода можно отнести относительно высокую трудоемкость: исследования могут быть полезны только в случае, если предварительно выполнены:

– формальные описания АФ по выполнению типовых заявок;

– формирование исходных данных о:

– надежности выполнения каждым оператором (с учетом всех влияющих факторов) типовых действий и операций;

– ущербе от ненадежного выполнения заявок и от простоя системы.

Исследования могут быть применены для любых полиэргатических систем с дискретным характером деятельности операторов и случайным характером поступления заявок, в которых ведется соответствующая база данных о характеристиках операторов и возможных потерях от ненадежности.

Выполненные работы являются логическим продолжением исследований человеко-машинного взаимодействия, проводимых в рамках функционально-структурной теории эрготехнических систем.

Развитие модели планируется в направлениях:

– для систем с очередями заявок;

– для случая реализации функций группой операторов;

– для систем с необходимостью многокритериального оценивания альтернативных вариантов распределения функций.

6. Выводы

В результате проведенных исследований:

1. Предложена формальная постановка задачи закрепления нескольких заявок с известными:

– множеством операций;

– логико-временными связями между операциями за различными операторами-исполнителями системы, обеспечивающая минимизацию потерь от ненадежного и несвоевременного выполнения заявок.

Для описания деятельности операторов по выполнению поступающих заявок использована функционально-структурная теория эрготехнических систем.

Характерным отличием предложенного способа от ранее разработанных подходов к оптимизации человеко-машинных систем является то, что модель учитывает технологии выполнения не одной, а множества поступающих заявок, а альтернативами являются способы закрепления операторов. При этом учтены возможности потерь, как от ошибочной реализации заявки, так от времени устранения ИТ-нарушений в обслуживаемой системе.

2. Продемонстрирован способ использования разработанной формальной модели для компьютерной реализации задачи распределения функций Практическая значимость состоит в том, что задача сведена к задаче линейного программирования и может быть легко решена в рамках широкого класса информационных технологий, что позволяет легко “встраивать” модель в разнообразные СППР для операторов-руководителей.

Литература

1. Rothmorea, P. The implementation of ergonomics advice and the stage of change approach [Text] / P. Rothmorea, P. Aylwardb, J. Karnon // Applied Ergonomics. – 2015. – Vol. 51. – P. 370–376. doi: 10.1016/j.apergo.2015.06.013
2. Bentley, T. A. The role of organisational support in teleworker wellbeing: A socio-technical systems approach [Text] / T. A. Bentley, S. T. T. Teo, L. McLeod, F. Tana, R. Bosua, M. Gloet //Applied Ergonomics. – 2016. – Vol. 52.– P. 207–215. doi: 10.1016/j.apergo.2015.07.019
3. Wang, Y. Stress, burnout and job satisfaction: caseof police force in China [Text] / Y. Wang, L. Zheng, T. Hiu // Public Personnel Management. – 2014. – Vol. 43, Issue 3. – P. 325–339. doi: 10.1177/0091026014535179
4. De Felice, F. Methodological Approach for Performing Human Reliability and Error Analysis in Railway Transportation System [Text] / F. De Felice, A. Petrillo // International Journal of Engineering and Technology. – 2011. – Vol. 3, Issue 5. – P. 341–353.
5. Cacciabue, P. C. Human error risk management for engineering systems: a methodology for design, safety assessment, accident investigation and training [Text] / P. C. Cacciabue // Reliability Engineering & System Safety. – 2014. – Vol. 83, Issue 2. – P. 229–269. doi: 10.1016/j.ress.2003.09.013
6. Анохин, А. Н. Отечественная эргономика и эргономическое сообщество: состояние и направления развития [Текст] / А. Н. Анохин // Человеческий фактор: проблемы психологии и эргономики. – 2014. – № 1 (68). – С. 4–15.
7. Dul, J. A strategy for human factors/ergonomics: developing the discipline and profession [Text] / J. Dul, R. Bruder, P. Buckle, P. Carayon, P. Falzon, W. S. Marras et. al. // Ergonomics. – 2012. – Vol. 55, Issue 4. – P. 377–395. doi: 10.1080/00140139.2012.661087
8. Anokhin, A. Evaluation of ecological interface design for supporting cognitive activity of nuclear plant operators [Text] / A. Anokhin, A. Ivkin // Proceedings of the 5th International Conference in Applied Human Factors and Ergonomics 2014 and the Affiliated Conferences, 2014. – P. 260–270.
9. Anokhin, A. Education and professional development of ergonomists in Russia [Text] / A. Anokhin, I. Gorodetskiy, V. Lvov, P. Paderno // Proceedings of the 5th International Conference in Applied Human Factors and Ergonomics 2014 and the Affiliated Conferences, 2014. – P. 1017–1024.
10. Haji Hosseini, A. R. Factors influencing human errors during work permit issuance by the electric power transmission network operators [Text] / A. R. Haji Hosseini, M. J. Jafari, Y. Mehrabi, G. H. Halwani, A. Ahmadi // Indian J. Sci.Technol. – 2012. – Vol. 5, Issue 8. – P. 3169–3242.

11. Anokhin, A. N. The system approach to analysis and description of operator activity [Text] / A. N. Anokhin // Cybernetics and Systems. – 2008. – Vol. 1. – P. 82–87.
12. Адаменко, А. Н. Информационно-управляющие человеко-машинные системы: Исследование, проектирование, испытания [Текст]: справочник / А. Н. Адаменко, А. Т. Ашеров, И. Л. Бердников и др.; под общ. ред. А. И. Губинского, В. Г. Евграфова. – М.: Машиностроение, 1993. – 528 с.
13. Grif M. G. Methods of desingning and modeling of man–machine systems [Text] / M. G. Grif, O. Sundui, E. B. Tsoy // Proc. of International Summerworkshop Computer Science 2014, 2014. – P. 38–40.
14. Падерно, П. И. Системный администратор локальной вычислительной сети. Задачи, требования, модель, отбор [Текст] / П. И. Падерно, Ф. Э. Сатторов // Вестник академии наук Республики Таджикистан – 2009. – Т. 52, № 6. – С. 437–442.
15. Lavrov, E. Mathematical models for the distribution of functions between the operators of the computer-integrated flexible manufacturing systems [Text] / E. Lavrov, N. Pasko, A. Krybidub, A. Tolbatov // Proceedings of the XIIIth International Scientific Conference TCSET'2016, 2016. – P. 72–77.
16. Lyubchak, V. Ergonomic support of man-machine interaction. Approach to designing of operators' group activities [Text] / V. Lyubchak, E. Lavrov, N. Pasko // International Journal of Bio-Medical Soft Computing and Human Sciences. – 2011. – Vol. 17, Issue 2. – P. 53–58.
17. Lavrov, E. Planning of Group Activity of Man-Operators in Information Systems [Text] / E. Lavrov, N. Pasko // International Scientific Conference "UNITECH II". Proceedings. – 2011. – Vol. 1. – P. 371–376.

Робота має відношення до області теорії оцінювання цілеспрямованих процесів керованих систем. Виділено класи простих цільових операцій, ефективність яких може бути визначена з використанням методу прямого оцінювання. Розроблено абсолютний показник оцінки ефективності цілеспрямованих процесів, що складаються з множини простих цільових операцій. Наведено результати тестування трьох відносних показників для визначення області їх використання в якості критерію ефективності

Ключові слова: ефективність, метод прямої оцінки ефективності, еталонні моделі простих цільових операцій

Работа относится к области теории оценивания целенаправленных процессов управляемых систем. Выделены классы простых целевых операций, эффективность которых может быть определена с использованием метода прямого оценивания. Разработан абсолютный показатель оценки эффективности целенаправленных процессов состоящих из множества простых целевых операций. Приведены результаты тестирования трех относительных показателей, для определения области их использования в качестве критерия эффективности

Ключевые слова: эффективность, метод прямой оценки эффективности, эталонные модели простых целевых операций

UDC 007.52
DOI: 10.15587/1729-4061.2016.66307

DEVELOPMENT OF THE METHOD FOR TESTING OF EFFICIENCY CRITERION OF MODELS OF SIMPLE TARGET OPERATIONS

I. Lutsenko
Doctor of Technical Sciences, Professor*
E-mail: delo-do@i.ua
E. Vihrova
PhD, Associate Professor
Department of Mathematics and techniques of its teaching
Krivoy Rog Pedagogical Institute
SHEE «Kryvyi Rih National University»
ave. Gagarin, 54, Krivoy Rog, Ukraine, 50086
E-mail: el-vihrova@mail.ru
E. Fomovskaya
PhD, Associate Professor, Head of Department*
E-mail: fill.fo@mail.ru
O. Serdiuk
SIHE «Kryvyi Rih National University»
XXII Partz'yizdu str., 11, Kryvyi Rih, Ukraine, 50027
E-mail: olgajs28@gmail.com
*Department of Electronic Devices
Kremenchuk Mykhailo Ostrohradskyi National University
Pervomaiskaya str., 20, Kremenchuk, Ukraine, 39600

1. Introduction

If we request such definitions as «efficiency", and/or its analogs in the form of "KPI", "BSC" in the search box of any browser, we can get the information array which contains more than 1 billion of the most diverse responses. Whether is it possible to select the index that really can represent the result, declared in the name among the given array of various indices?

© I. Lutsenko, E. Vihrova, E. Fomovskaya, O. Serdiuk, 2016