

На правах рукописи

ЕСИКОВ ДМИТРИЙ ОЛЕГОВИЧ



**УПРАВЛЕНИЕ ИНФОРМАЦИОННЫМИ ПРОЦЕССАМИ ПРОМЫШЛЕН-
НЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ**

Специальность 05.13.01 Системный анализ, управление и обработка инфор-
мации (промышленность)

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Тула - 2018

Работа выполнена в ФГБОУ ВО «Тульский государственный университет»

Научный руководитель: кандидат технических наук, доцент Ивутин Алексей Николаевич

Официальные оппоненты: Привалов Александр Николаевич – доктор технических наук, профессор, ФГБОУ ВО «Тульский государственный педагогический университет», профессор

Цимбал Владимир Анатольевич – доктор технических наук, профессор, Филиал военной академии РВСН им. Петра Великого (г.Серпухов, Московская область), профессор

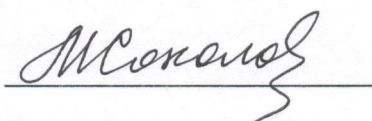
Ведущая организация: Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Юго-Западный государственный университет», г. Курск

Защита состоится «25» декабря 2018 г. в 16.00 часов на заседании диссертационного совета Д 212.271.05 созданного на базе ФГБОУ ВО «Тульский государственный университет» по адресу: 300012, г.Тула, проспект Ленина, 92, 9-101.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ФГБОУ ВО «Тульский государственный университет» и на сайте http://tsu.tula.ru/science/dissertation/diss-212-271-05/Esikov_DO/

Автореферат разослан «23» октября 2018 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета



Соколова
Марина Юрьевна

Общая характеристика работы

Принятый курс на развитие цифровой экономики требует интенсивного внедрения информационных технологий в процессы управления промышленными предприятиями. Однако масштабное внедрение в процессы управления современных информационных технологий требует существенных материальных затрат, поэтому система должна обеспечивать повышение эффективности производства, производительности труда, экономических показателей, решать вопросы рационального использования материальных ресурсов, обеспечивать снижение издержек производства.

Специфика управления промышленными предприятиями с применением цифровых технологий состоит в том, что объекты управления территориально распределены. Это предполагает использование распределенных информационных и вычислительных систем, узлы, которых размещаются в цехах, отделах и службах предприятия. При этом системы управления организациями и предприятиями различного, в том числе и корпоративного уровня становятся крайне уязвимыми к действиям различных дестабилизирующих факторов на всех этапах их жизненного цикла.

Для создания эффективно функционирующей распределенной системы управления предприятием кроме качественной проработки технических вопросов необходимо быстро и эффективно решать задачи, возникающие в ходе управления потоками данных в условиях воздействия различных дестабилизирующих факторов. При этом эффективность функционирования предприятия во много определяется устойчивостью, эксплуатируемой распределенной информационной системы управления.

Вопросам построения систем управления предприятиями посвящены работы В.Н. Буркова, Н.А. Коргина, Д. А. Новикова, О.В. Логиновского.

Вопросам построения, организации функционирования, оценки эффективности распределенных систем обработки информации посвящены работы В.М.Глушкова, Д. Флинта, Э.А. Якубайтиса, Г.Т.Артамонова, В.Д. Тюрина, Г.Ф. Янбых, Б.А. Столярова, Ю.П. Зайченко, Ю.В. Гонга, Э. Кодда, К. Дейта, Ч. Бахмана, М. Стоунбрекера, Ю.А.Григорьева, А.Д. Плутенко, Du W., Krishnamurthy R., Graefe G., А.А.Зацеринного, Е.В.Ларкина, В.Д.Киселева, В.А.Балыбердина, А.Г. Мамиконова, В.В. Кульбы Вопросы обеспечения безопасности обработки информации отражены в работах А.А. Молдавьяна, Е.В. Касперского, Н.Н. Безрукова, Ю.В. Романец, В.А. Герасименко, В.В. Мельникова, П.Д. Зегжды, Л. Хоффмана, К. Шеннона, а также в законодательных и нормативных актах. Организация эффективного функционирования распределенных систем управления связано с решением соответствующих задач оптимизации, чему посвящены работы О.Г.Алексеева, В.С.Михалевича, В.Л. Волковича, А.Ф.Волошина, И.В. Сергиенко, Л.Ф. Гуляницкого, С.И.Сиренко, J.H. Holland, Л.А.Гладкова, А.П.Карпенко, Н.Pohlheim, P.Штойер, K.Deб и др.

Основным недостатком работ, проведенных в указанных направлениях, является недостаточно полное и комплексное решение вопросов управления информационными процессами и ресурсами предприятия с целью обеспечения его эффективного функционирования. Под управлением информационными ресурсами предприятия понимается решение задач их распределения и перераспределения, резервирования и восстановления в процессе решения задач управления.

Таким образом, **актуальность задачи исследования обусловлена:**

- необходимостью дальнейшего совершенствования распределенных информационных систем управления предприятием;
- отсутствием единого комплексного подхода к построению процессов хранения и обработки информации в распределенных системах управления предприятием;
- наличием существенных недостатков у существующих в данной предметной области решений.

Объект исследования: территориально распределенные информационные системы управления промышленным предприятием.

Предмет исследования: методы управления информационными ресурсами, обеспечивающие устойчивость функционирования распределенных информационных систем управления предприятия в условиях воздействия дестабилизирующих факторов различной природы.

В связи с этим целью работы является повышение устойчивости функционирования распределенных информационных систем управления предприятием (РИС УП) за счет рациональной организации процессов хранения и обработки информации.

Задачи исследования:

1. Анализ состояния развития и условий функционирования распределенных информационных систем управления предприятием, путей обеспечения устойчивости функционирования центров хранения и обработки данных корпоративного уровня, выбор эффективных подходов к организации процессов хранения и обработки данных, а также построения высоконадежной подсистемы долговременного хранения критически важной информации.

2. Разработка математических моделей и методик управления информационными процессами предприятия для обеспечения устойчивости функционирования распределенных информационных систем управления предприятия (РИС УП).

3. Выбор, разработка и экспериментальная проверка способов повышения эффективности методов решения математических моделей управления информационными процессами предприятия.

4. Экспериментальная проверка эффективности предлагаемых математических моделей, алгоритмов и методик.

Научная новизна работы определяется следующими результатами:

1. Разработан подход к формализации математических моделей информационных систем предприятия как объектов управления, отличающийся от существующих комплексностью, возможностью приведения их к стандартному виду задач целочисленного линейного программирования, решения как последовательно, так и отдельно на всех этапах жизненного цикла РИС УП, в том числе в условиях реконфигурирования.

2. Разработаны методики применения математических моделей управления информационными процессами предприятия, алгоритмов и методов, позволяющие в отличие от существующих осуществлять их решение, формировать гибкие планы реконфигурирования РИС УП для обеспечения устойчивости их функционирования, в том числе в условиях жестких временных ограничений.

3. Впервые экспериментально получены зависимости для определения параметров островного генетического алгоритма (размер популяции, количество островов, число итераций, количество поколений в итерации), обеспечивающие

получение рационального (квазиоптимального) решения задач управления информационными процессами предприятия за ограниченное время.

Положения, выносимые на защиту:

1. Математические модели управления информационными процессами предприятия.
2. Методики применения разработанных математических моделей управления информационными процессами предприятия, алгоритмов и методов в условиях реконфигурирования РИС УП и жестких временных ограничений на время решения.
3. Экспериментально полученные зависимости для определения параметров островного генетического алгоритма решения задач управления информационными процессами предприятия.

Достоверность результатов диссертационной работы определяется следующими факторами:

1. Результаты получены на базе хорошо апробированного аппарата системного анализа, теорий математического моделирования, графов, вероятностей, сетей Петри-Маркова с использованием математических моделей, отражающих реальные процессы и системы.
2. Согласованностью результатов теоретических исследований и полученных экспериментально.

Теоретическая и практическая значимость работы: предложенные математические модели, методики, методы и алгоритмы могут быть использованы в организациях и предприятиях разрабатывающих и эксплуатирующих распределенные информационные системы управления промышленными предприятиями, а также в учебном процессе ВУЗов при подготовке специалистов в области управления информационными процессами и построения систем обработки и хранения информации.

Апробация работы.

Результаты работы докладывались и обсуждались на 15 конференциях различного уровня, в том числе Всероссийских научно-практических конференций – 3 (6-я всероссийская научно-практическая конференция «Системы управления электротехническими объектами», Тула, 2012 г.; Всероссийская научно-практическая конференция «Интеллектуальные и информационные системы. Интеллект 2013», «2016» Тула, 2013, 2016 гг.), международных – 12 (Third International Conference "High Performance Computing" HPC-UA 2013, Украина, Киев, 2013 г.; 15-я международная научно-практическая конференция «Фундаментальные и прикладные исследования, разработка и применение высоких технологий в промышленности» Санкт-Петербург, 2013 г.; Международная молодежная научная конференция «XXXIX Гагаринские чтения», Москва, 2012г.; 17-ая международная конференция «Цифровая обработка сигналов и её применение – DSPA 2015», Москва, 2015г.; XI Международной научно-практической конференции молодых исследователей «Содружество наук. Барановичи-2015», Беларусь, Барановичи, 2015г.; III международная научно-практическая конференция «Техника и технологии: инновации и качество», Беларусь, Барановичи, 2015г.; Международный научный форум молодых ученых «НАУКА БУДУЩЕГО – НАУКА МОЛОДЫХ», Севастополь, 2015г.; 2015 4th, 2016 5th Mediterranean Conference on Embedded Computing (MECO), Черногория, Будва, Бар, 2015-2016 гг.; Международный Балтийский морской форум - XIV Международная научная конференция "Инновации в науке, образовании и пред-

принимательстве - 2016", Калининград, 2016 г.; XXIX - Международная научная конференция Математические Методы в Технике и Технологиях ММТТ- 29, Санкт-Петербург, 2016г; 20-ая международная научная конференция (25-27 сентября 2017) Distributed computer and communication networks: control, computation, communications (DCCN-2017) Moscow, Technosphaera 2017.

Реализация результатов работы.

Математических модели, методики и программные средства управления информационными процессами предприятия в условиях воздействия дестабилизирующих факторов, а также полученные экспериментальные данные по оценке эффективности применения островного генетического алгоритма (ОГА) для решения задач дискретной оптимизации, в том числе на кластере, использованы в АО КБП (Акт реализации от 04.07.2018) при выборе эффективных методов решения практических задач в комплексах обработки данных специального назначения.

Распределенная реализация ОГА и результаты разработки программного обеспечения для решения задач целочисленного линейного программирования на кластере реализованы в учебном процессе ФГБОУ ВО «Тульский государственный университет» (Акт реализации от 10.09.2018) при проведении занятий по дисциплинам: «Параллельное программирование», «Вычислительные системы» на кафедре «Вычислительной техники».

Описание реализации ОГА, а также распределенной его реализации с помощью семантических сетей Петри-Маркова, использовано в ФГБОУ ВО «Тульский государственный университет» при выполнении гранта № 16-41-710160 «Теория и методы использования семантических сетей Петри-Маркова для синтеза параллельных алгоритмов».

Разработанное программное обеспечение решения задач целочисленного линейного программирования с булевыми переменными ОГА на кластере применено в ФГБОУ ВО «Тульский государственный университет» при выполнении госзадания № 2.3121.2017/ПЧ «Параллельные полумарковские процессы в системах управления мобильными роботами» (Акт реализации от 12.09.2018).

Математические модели определения рационального уровня расходов на создание системы хранения данных и оптимизации состава комплекса средств хранения данных использованы в практической деятельности ООО «1 СМК» при обосновании цены и формировании технического задания на закупку оборудования подсистемы резервного хранения информации предприятия.

Публикации.

По результатам работы опубликовано 47 работ в различных печатных изданиях, в том числе 13 из перечня ВАК МНиО РФ, получено 5 свидетельств о регистрации программ.

Структура и объем диссертации.

Диссертация состоит из введения, трех глав, заключения, изложенных на 178 страницах текста, списка использованной научной литературы, включающего 187 наименований научных трудов на русском и иностранных языках и 4 приложения, и содержит 45 рисунков и 29 таблиц.

Основное содержание работы

Во введении дана общая характеристика работы, сформулированы цель и задачи исследования, перечислены основные теоретические и практические результаты работы.

В первой главе дан анализ состояния развития систем управления предприятиями. Показано, что современные информационные технологии задействованы и являются востребованными во многих сферах управления промышленным предприятием. Для эффективного управления предприятием в современных условиях необходимым условием является применение взаимосвязанных информационных систем различного назначения, интегрируемых в РИС УП. Для сокращения затрат на организацию процессов хранения данных создаются центры хранения и обработки информации (ЦХОИ), в том числе на коммерческой основе (с предоставлением услуг по хранению данных). Показано, что РИС УП являются уязвимыми к воздействиям как внешних, так и внутренних дестабилизирующих факторов, что влияет на эффективность процесса управления предприятием. Современные технические и технологические решения в области обеспечения устойчивости функционирования РИС УП отличаются фрагментарностью, сводятся обычно к оперативному резервированию средств аппаратного, программного и информационного обеспечения, и не гарантируют решение ключевых задач (резервирования данных, реконфигурирования).

Предложен подход к обеспечению устойчивости функционирования РИС УП в условиях воздействия дестабилизирующих факторов, основанный на управлении информационными процессами предприятия и построении высоконадежной подсистемы резервирования данных.

Сформулирована постановка задачи исследований.

Во второй главе, в рамках предложенного в главе 1 подхода к обеспечению устойчивости функционирования РИС УП, разработаны математические модели управления информационными процессами предприятия.

Задача определения числа и месторасположения центров обработки и хранения информации в РИС УП решается с целью получения такого плана распределения ЦХОИ, который обеспечивал бы использование наиболее скоростных каналов передачи данных при передаче информации. Определение количества и местоположения ЦХОИ в РИС УП предложено осуществлять путем решения задачи о p -медиане, которая относится к классу задач целочисленного линейного программирования.

Задача оптимизации состава комплекса средств хранения данных сформулирована по критерию максимума значения коэффициента готовности системы хранения и приведена к задаче целочисленного линейного программирования с булевыми переменными.

Для определения рационального уровня расходов на создание системы хранения данных и оценки вариантов ее построения в РИС УП предложено, на основе применения теории оптимизации по Парето, осуществлять минимизацией линейной свёртки критериев:

$$R(q, \mu) = \mu R_n(q) + (1 - \mu) R_x(q) \rightarrow \min_{0 < q < 1}, \quad (1)$$

где $\mu \in (0,1)$ - параметр свёртки критериев, R_x – затраты на создание системы обеспечения сохранности информации; R_n – потери от нарушения сохранности информации, q – параметр, характеризующий уровень сохранности информации в распределенных информационных системах $0 \leq q \leq 1$. Для экспоненциальных законов изменения $R_n(q)$ и $R_x(q)$, решением (1) получена зависимость для определения значения параметра q , соответствующего рациональному уровню расходов на организацию системы хранения информации в виде

$$q(\mu) = \frac{\alpha + \ln\left(\frac{\alpha\mu}{\beta(1-\mu)}\right)}{\alpha + \beta} \quad (2)$$

где, $\alpha = \ln\left(\frac{S_n}{\varepsilon}\right)$, $\beta = \ln\left(\frac{S_x}{\varepsilon}\right)$, ε - параметр, учитывающий степень важности информации, обращающейся в РИС УП, S_n - максимальный уровень потерь от разрушения или искажения информации в РИС УП; S_x - объем затрат на создание «абсолютной» системы обеспечения сохранности информации.

Формализована задача распределения элементов программного обеспечения по узлам вычислительной сети по критерию минимума объема информации, передаваемой по каналам связи при решении всех функциональных задач в РИС УП. Данная задача относится к классу задач линейного программирования с булевыми переменными.

Задача оптимизации распределения информационных массивов по критерию минимума среднего времени решения всех функциональных задач в РИС УП может быть сформулирована следующим образом.

Определить такие значения $\psi_{mj}, m=1,2,\dots,M, j \in X_p$, что

$$T = \min \sum_{j=1}^L \sum_{k=1}^K \varphi_{kj} \left(t_{kj}^p + \sum_{l=1}^M \omega_{kl} \frac{L_{kl}}{l_0} \sum_{m \in X_p} \psi_{lm} t_{jm}^0 \right),$$

при ограничениях:

- на объем пространства на носителях для хранения информационных массивов

$$\sum_{k=1}^M \psi_{kj} u_k \leq V_j, j \in X_p,$$

- на значения переменных

$$\sum_{j=1}^L \psi_{kj} = 1, \forall k, \psi_{kj} = \{0,1\},$$

где M – количество информационных массивов; $\|\varphi_{lj}\|$ - матрица распределения элементов программного обеспечения (ЭПО) по узлам сети ($l=1,2,\dots,K, j=1,2,\dots,L$), $\varphi_{lj} = \{0,1\}$; $\|\omega_{lm}\|$ - матрица связи ЭПО и информационных массивов ($l=1,2,\dots,K, m=1,2,\dots,M$) $\omega_{lm} = 1$, если l -й ЭПО имеет информационный обмен в процессе своего решения с m -м информационным массивом и 0 – в противном случае; $\|\psi_{mj}\|$ - матрица распределения информационных массивов (БД) ($m=1,2,\dots,M, j \in X_p$); L_{lm} - среднее значение суммарного объема информационного обмена l -го ЭПО при его выполнении с m -м информационным массивом; l_0 – длина эталонного сообщения; t_{ij}^0 - среднее время доведения эталонного сообщения от i -го узла сети к j -му; t_{ij}^p - среднее время выполнения l -го ЭПО в j -м узле без учета информационного обмена с информационными массивами; X_p – множество номеров узлов сети, в которых создаются ЦХОИ.

Данная задача относится к классу задач целочисленного линейного программирования с булевыми переменными.

Задача оптимизации распределения резерва информационных ресурсов РИС УП по центрам хранения и обработки данных решается с целью получения такого плана распределения резерва, который обеспечивал бы минимальное время восстановления работоспособности РИС УП в случае нарушения целостности информации при соблюдении ограничений на стоимость хранения резерва информационных ресурсов.

Пусть N - число ЦХОИ, создаваемых в системе, M - число информационных массивов, хранящихся и обрабатываемых в ЦХОИ. Известны распределение ИМ по ЦХОИ, задаваемое матрицей $\|\psi_{ij}\|, i=1,2,\dots,M; j=1,2,\dots,N$, пропускные способности каналов передачи данных между каждым l -м и m -м ЦХОИ - ν_{lm} . Тогда можно определить значение среднего времени восстановления i -го ИМ в случае его искажения или разрушения

$$T_i^B = \sum_{l=1}^N \psi_{il} \sum_{m=1}^N y_{im} \left(\frac{u_i}{\nu_{lm}} + t_{il}^p \right),$$

где t_{il}^p - время выполнения работ по развертыванию и подключению (регламентных работ) i -го ИМ после его восстановления в l -м ЦХОИ; $\|y_{ij}\|, i=1,2,\dots,M; j=1,2,\dots,N$ - матрица распределения резерва ИМ по ЦХОИ, причем

$$y_{ij} = \{0,1\}, \quad \sum_{j=1}^N y_{ij} = 1, \quad i=1,2,\dots,M; \quad \psi_{ij} y_{ij} = 0 \quad \forall i, j.$$

В этом случае задачу распределения резерва ИМ по ЦХОИ по критерию минимума общего значения среднего времени восстановления информации в РИС УП может быть сформулирована следующим. Определить такие значения $\|y_{ij}\|, i=1,2,\dots,M; j=1,2,\dots,N$, такие, что

$$\sum_{i=1}^M \sum_{l=1}^N x_{il} \sum_{m=1}^N y_{im} \left(\frac{V_i}{\nu_{lm}} + t_{il}^p \right) \rightarrow \min \quad (3)$$

при ограничениях:

- на стоимость хранения резерва ИМ

$$\sum_{j=1}^N C_j \sum_{i=1}^M y_{ij} \left] \frac{V_i}{\nu} \right[\leq C_{don}; \quad (4)$$

- на значение коэффициентов готовности ИМ

$$\frac{T_i^p}{T_i^p + T_i^B} \geq K_{\Gamma_i}^{don}, \quad i=1,2,\dots,M; \quad (5)$$

- на объем пространства хранения в ЦХОИ

$$\sum_{i=1}^M (\psi_{ij} + y_{ij}) \mu_i \leq V_j, \quad j=1,2,\dots,N, \quad (6)$$

- на значения переменных

$$y_{ij} = \{0,1\}, \quad \sum_{j=1}^N y_{ij} = 1, \quad i=1,2,\dots,M; \quad \psi_{ij} y_{ij} = 0 \quad \forall i, j, \quad (7)$$

где C_j - стоимость хранения единицы объема информации в j -м ЦХОИ; ν - размер единицы объема хранения информации; C_{don} - максимально возможное значение стоимости хранения резерва ИМ в РИС УП, T_i^p - среднее время штатной эксплуатации ИМ за время T_i^9 .

Задача (3) - (7) относится к классу задач дискретного линейного программирования с булевыми переменными. Ее решение позволит минимизировать время восстановления работоспособности РИС УП в случае нарушения целостности информации.

Реконфигурирование РИС УП в случае воздействия дестабилизирующих факторов должно основываться на перераспределении информационных ресурсов по работоспособным ЦХОИ с учетом результатов решения задач управления информационными процессами, полученных ранее.

Обозначим через $\Psi^* = \|\psi_{ij}^*\|, i = 1, 2, \dots, M, j = 1, 2, \dots, L$ - результат решения задачи распределения ИМ по ЦХОИ в КС, γ - номер узла сети, вышедшего из строя, J - номер ЦХОИ, размещенный в узле с номером $\gamma (\gamma \in X_p)$, $Y^* = \|y_{ij}^*\|, i = 1, 2, \dots, M; j = 1, 2, \dots, N$ - результат решения задачи распределения восстановительного резерва ИМ по ЦХОИ.

Перераспределению должны подлежать ИМ и резерв ИМ, доступ к которым был заблокирован при возникновении подобных событий. В этом случае методика реконфигурации РИС УП будет включать следующие шаги.

1. Определение узла сети γ , вышедшего из строя ЦХОИ.
2. Определение состава множества ИМ Z , доступ к которым был нарушен, $m \in Z, \psi_{mj}^* = 1, j = \gamma, m = 1, 2, \dots, M$.

Если число ЦХОИ в РИС УП равно 2, то есть $|X_p| = 2$, то задача перераспределения ИМ по работоспособным ЦХОИ сводится к восстановлению ИМ из его восстановительного резерва, ранее распределенных на вышедший из строя ЦХОИ, в работоспособный центр хранения и обработки информации. Переход к п.5.

В противном случае сформулировать и осуществить решение задачи распределения ИМ, входящих в множество Z . Перейти к п.3

3. Определение множества ИМ Z_1^p , резерв которых размещался в узле γ

$$i \in Z_1^p, y_{im}^* = 1, m = J, i = 1, 2, \dots, M.$$

Если число ЦХОИ в РИС УП равно 2, то есть $|X_p| = 2$, то задача перераспределения резерва ИМ, будет сводится к созданию резерва ИМ, который был размещен на вышедшем из строя ЦХОИ в работоспособном из рабочих копий ИМ. Переход к п.5

В противном случае сформулировать и решить задачу распределения восстановительного резерва ИМ, вышедшего из строя ЦХОИ.

Перейти к п.4.

4. При необходимости осуществить перераспределение резерва ИМ, перераспределенных в ЦХОИ, хранящих их же резерв. Для чего определить состав множества Z_2^p ИМ, распределенных совместно с их резервом.

$$l \in Z_2^p \text{ при } \psi_{lj} y_{lj} = 1, l \in Z, j \in X_p, j \neq \gamma.$$

Если $|Z_2^p| \neq \emptyset$, для обеспечения сохранности ИМ в РИС УП после перераспределения ИМ по работоспособным ЦХОИ, необходимо осуществить перераспределение восстановительного резерва ИМ с номерами из множества Z_2^p . В противном случае перераспределение резерва ИМ не требуется. План перераспределения восста-

новительного резерва формируется путем решения задачи (3)-(7) в формулировке для множества Z_2^p .

5. Конец

Показано, что для обеспечения устойчивости функционирования РИС УП, необходимо оперативное получение решения разработанных математических моделей. Обоснован выбор эффективных методов решения формализованных задач. Для получения точного решения разработанных математических моделей предложено применять метод ветвей и границ, а для получения рационального решения - генетические алгоритмы.

Для повышения эффективности метода ветвей и границ для решения задач управления информационными процессами предприятия предложен способ, основанный на однократном решении двойственной по отношению к исходной задачи алгоритмом, основанным на градиентной процедуре, предложенной Алексеевым О.Г., для предварительного определения порядка ветвления переменных с дальнейшим использованием точного метода оценки границ решения.

Для получения рационального (квазиоптимального) решения задач управления информационными процессами предприятия предложено применять генетический алгоритм (ГА) с адаптивной схемой репродукции особей и островной схемой организации вычислений. При реализации ГА использовались следующие операторы: кроссинговеры: одноточечный, двухточечный, универсальный, триадный с формированием маски кроссинговера из лучшей особи элитной популяции, триадный с учетом схемы; схемы отбора особей для скрещивания: инбридинг, аутбридинг, случайная; мутация – одноточечная. Способ кодирования особей – бинарным вектором, соответствующим варианту решения задачи. В качестве функции приспособленности особей использовались целевые функции решаемых задач.

Для обеспечения дальнейшего сокращения времени решения формализованных задач управления информационными процессами предприятия островным генетическим алгоритмом (ОГА), на основе применения теории семантических сетей Петри-Маркова, разработана схема организации распределенных вычислений на кластере, которая реализована в программном обеспечении с применением технологии MPI. Предложена структура программно-аппаратных средств кластера на основе применения вычислительных модулей Raspberry Pi 3 Model B.

В **третьей главе** осуществлена экспериментальная проверка эффективности разработанных математических моделей и методик, а также предлагаемых методов решения задач управления информационными процессами предприятия.

Экспериментальная проверка математических моделей и методик управления информационными процессами предприятия выполнялась для фрагмента РИС УП, состоящей из 46 узлов, в которой эксплуатируются 12 ИМ при решении 11 ЭПО. Решением задачи о p -медиане определено местоположение ЦХОИ для вариантов их количества 3,4,5. Сформирован перечень средств хранения данных для формирования состава средств хранения информации в ЦХОИ. Решением задачи оптимизации состава технических средств системы хранения и обработки данных получены варианты ее построения для уровня ограничений на общую стоимость средств в 4, 6 и 8 млн. руб. Для величины максимального ущерба от потери информации в 150 млн.руб. и объема затрат на создание идеальной системы хранения данных в 48 млн. руб. с применением зависимости (1) определен рациональный уровень затрат на создание системы хранения информации с уровнем важности соответствующим рабочей и конструкторской документации, в размере 5143 млн.

руб. Это позволило выбрать вариант построения системы хранения из полученных с общей стоимостью не ниже рассчитанного рационального уровня затрат, обеспечивающий уровень сохранности информации 0.87 и уровнем готовности системы хранения информации 0.93. Решением формализованных задач оптимизации распределения ЭПО по узлам сети, ИМ и их резерва по ЦХОИ получены варианты построения РИС УП для случаев 3,4,5 ЦХОИ. Показано, что с ростом числа ЦХОИ с 3 до 5 значение коэффициента готовности РИС УП для используемых исходных данных растёт с 0.997671 до 0.997699. Смоделирована ситуация выхода из строя одного из центров хранения и обработки информации для варианта построения РИС УП с 4 ЦХОИ. С использованием разработанной методики применения формализованных математических моделей обеспечения устойчивости РИС УП в условиях ее реконфигурирования определены планы перераспределения ИМ и восстановительного резерва, хранящихся в вышедшем из строя ЦХОИ. Получено, что после реконфигурации значение коэффициента готовности РИС УП незначительно снижается с 0.997691 до 0.997665. При этом среднее время восстановления работоспособности РИС УП, с учетом времени решения задач, восстановления недоступного резерва ИМ и выполнения регламентных работ для рассматриваемого случая составляет 3.3 часа. Полученные результаты свидетельствуют о работоспособности разработанных математических моделей и методик управления информационными процессами предприятия и целесообразности их практического применения.

На различных вариантах исходных данных выполнена экспериментальная оценка эффективности применения метода ветвей и границ и островного генетического алгоритма для решения разработанных математических моделей.

Применение предложенного способа ранжирования переменных по уровню влияния на результат решения задачи для организации процесса ветвления переменных совместно с точным методом оценки границ решения обеспечивает существенное (от 3 до 14 раз) повышение производительности метода ветвей и границ. Показано, что время получения результата методом ветвей и границ существенно зависит не только от числа переменных, но и от количества ограничений решаемых задач, жесткости ограничений.

Экспериментально получены параметры ОГА при решении задач управления информационными процессами предприятия различной размерности и аппроксимирующие зависимости для их определения, обеспечивающие максимально возможные шансы получения оптимального решения, которые представлены в таблице 1.

Таблица 1 - Параметры и характеристики ОГА для решения задач управления информационными процессами предприятия

Параметры и характеристики	Кол-во переменных N				Значения параметров
	70	100	150	200	
Количество островов	4	4	5	8	$0.03N+1.27$
Количество итераций	6	6	8	10	$0.05N+0.5$
Количество особей в популяции	50	60	80	120	$0.53N+8.5$
Длина периода миграции особей (поколений)	-	120	160	180	$0.6N+63.3$
Среднее время решения (сек.)	2.0	12.1	68.8	396.9	
Среднее время решения задач МВиГ (сек.)	0.2	13.99	74.05	1279.58	

Экспериментально показаны эффективность применения адаптивной схемы репродукции особей и островной схемы организации вычислений для получения ОГА решения максимального качества, незначительная зависимость времени решения задач от числа ограничений, их вида и жесткости. Экспериментально дока-

зана возможность управления точностью и временем получения решения ОГА путем варьирования значений параметров алгоритма. Определено, что сокращение размера исходной популяции и числа поколений особей в итерации до 50% относительно рекомендуемых (таблица 1), позволяет в совокупности сократить время получения рационального решения ОГА более чем в 6 раз, при незначительном (менее 1%) ухудшения качества получаемого результата. Показана эффективность распределенного решения формализованных задач ОГА на кластере. Экспериментально подтверждено, что применение кластера, состоящего из 4-х вычислительных модулей, сокращает время решения формализованных задач ОГА в 3.6 раза.

На основе результатов экспериментальной проверки эффективности методов решения задач управления информационными процессами предприятия разработана методика их, которая включает следующие шаги.

1. Определение параметров решаемой задачи (размерность, жесткость ограничений и т.п.).
2. Определение значения ограничения на время решения задач, задаваемого требованиями к РИС УП на текущем этапе жизненного цикла и выбранным режимом функционирования T^{don} .
3. Оценка ожидаемого времени решения задачи каждым из методов на основе использования результатов экспериментальной проверки эффективности методов решения $(T^{\text{BuГ}}, T^{\text{ОГА}})$.
4. Корректировка значения ожидаемого времени решения в соответствии с результатами решения тестовых задач на эксплуатируемом вычислительном комплексе $(T_{\kappa}^{\text{BuГ}}, T_{\kappa}^{\text{ОГА}})$.

$$T_{\kappa}^{\text{BuГ}} = T^{\text{BuГ}} \left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{t_i^{\text{Bэ}}}{t_i^{\text{Bм}}} \right), \quad T_{\kappa}^{\text{ОГА}} = T^{\text{ОГА}} \left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{t_i^{\text{Оэ}}}{t_i^{\text{Ом}}} \right)$$

где n -число тестовых задач; $t_i^{\text{Bэ}}$ - время решения i -й тестовой задачи методом ветвей и границ в ходе экспериментальной проверки эффективности методов решения задач; $t_i^{\text{Bм}}$ - время решения i -й тестовой задачи методом ветвей и границ на эксплуатирующемся вычислительном комплексе; $t_i^{\text{Оэ}}$ - время решения i -й тестовой задачи островным генетическим алгоритмом в ходе экспериментальной проверки эффективности методов решения задач; $t_i^{\text{Ом}}$ - время решения i -й тестовой задачи островным генетическим алгоритмом на эксплуатирующемся вычислительном комплексе.

5. Проверка соответствия ожидаемого времени решения задачи методом ветвей и границ ограничения на время решения задачи. Если $T_{\kappa}^{\text{BuГ}} \leq T^{\text{don}}$, то выбрать в качестве метода решения метод ветвей и границ. Перейти к шагу 8. В противном случае перейти к шагу 6.

6. В качестве метода решения задачи выбрать островной генетический алгоритм.

7. Проверка соответствия ожидаемого времени решения задачи островным генетическим алгоритмом ограничения на время решения задачи. Значения параметров ОГА взять в соответствии с экспериментально определенными (таблица 1). Если $T_{\kappa}^{\text{ОГА}} \leq T^{\text{don}}$, то перейти к шагу 8. В противном случае осуществить выбор параметров алгоритма, удовлетворяющих данному условию в соответствии с таблицей 1 следующим образом.

Если $\frac{T_{\kappa}^{\text{ОГА}}}{T^{\text{don}}} > 6$, то сократить число итераций D по зависимости

$$D' = D - \left[\frac{(T_k^{OGA} - 6T^{дон})D}{T_k^{OGA}} \right].$$

Выбрать значения степени сокращения времени решения за счет уменьшения числа особей в популяции S^o и числа поколений особей в итерации S^n таким образом, чтобы выполнялись условия $S^o S^n = \frac{T_k^{OGA}}{T^{дон}} < 6$; $S^o \leq 3$; $S^n \leq 2$.

Определить новые значения числа особей в популяции R^o и числа поколений особей в итерации R^n

$$R^o = \frac{1.7R^{o\text{рек}}}{S^o + 0.7}; R^n = \frac{0.8R^{n\text{рек}}}{S^n - 0.2},$$

где $R^{o\text{рек}}$ и $R^{n\text{рек}}$ рекомендуемые (по таблице 1) значения числа особей в популяции и числа поколений особей в итерации.

8. Конец

Применение данной методики позволит осуществлять обоснованный выбор метода решения задач управления информационными процессами предприятия в практических условиях, и обеспечить требуемые значения их показателей устойчивости функционирования.

В заключении сформулированы основные результаты и выводы, полученные в ходе исследований.

Основные результаты работы

1. Для обеспечения устойчивости функционирования РИУ УП предложен подход основанный на использовании в качестве объекта управления информационные процессы предприятия. Разработаны и экспериментально проверены математические модели управления информационными процессами предприятия, последовательное решение которых позволит обеспечить устойчивость функционирования РИС УП в условиях воздействия дестабилизирующих факторов.
2. Разработана и экспериментально проверена методика применения формализованных математических моделей управления информационными процессами предприятия в условиях реконфигурации РИС УП в следствие воздействия дестабилизирующих факторов.
3. Предложено для повышения оперативности получения точного решения задач управления информационными процессами предприятия методом ветвей и границ применение предварительного определения порядка ветвления переменных однократным решением двойственной задачи приближенным методом, которое позволяет сократить время решения задачи, по сравнению с традиционными алгоритмами от 3 до 14 раз.
4. Экспериментально определены параметры генетического алгоритма, обеспечивающих гарантированное получение рационального (квазиоптимального) решения задач управления информационными процессами предприятия максимального качества и показана возможность управления временем и точностью получаемого решения разработанных задач ОГА путем варьирования значений параметров алгоритма, что позволяет до 6 раз сократить время получения результата при незначительном снижении его качества (значение относительной ошибки менее 1%).
5. Для повышения оперативности получения управленческих решений по реорганизации процессов хранения и обработки информации в РИС УП предложены и экспериментально проверены способы организации распределенных вычислений формализованных математических моделей. Экспериментально определено, что

применение кластера с 4-мя вычислительными модулями позволяет сократить время решения формализованных задач ОГА в 3.6 раза.

6. Разработана методика применения выбранных методов решения формализованных задач управления информационными процессами предприятия на различных этапах жизненного цикла РИС УП, в том числе в условиях жестких временных ограничений.

По теме диссертационного исследования опубликованы следующие основные работы:

Статьи, опубликованные в периодических научных изданиях, рекомендованных ВАК Минобрнауки России для публикации основных научных результатов на соискание ученой степени кандидата наук:

1. Есиков, Д.О. Задачи обеспечения устойчивости функционирования распределенных информационных систем / Есиков Д.О. // Программные продукты и системы. № 4 (112), 2015. -с.133-141.

2. Есиков, Д.О. Вычислительный кластер для решения задач обеспечения устойчивости функционирования распределенных информационных систем./ Ивутин А. Н., Есиков Д. О. // Вестник РГРТУ. 2016. № 57. - с. 63-67.

3. Есиков, Д.О. Применение семантических сетей Петри-Маркова для решения задачи распараллеливания алгоритмов. / Ивутин А. Н., Трошина А. Г., Есиков Д. О. // Вестник РГРТУ, № 58, 2016. - с.49-56.

4. Есиков, Д.О. Математические модели построения подсистемы обеспечения сохранности информации в распределенных информационных системах. / Есиков Д.О., Акиншин Р.Н., Абрамов П.И., Лутина Л.Э. // Научный вестник МГТУ ГА № 05 (20), 2017. -с.161-170.

5. Есиков, Д. О. Методика выбора метода решения задач обеспечения устойчивости функционирования распределенных информационных систем/ Есиков Д. О. // Электронные информационные системы. № 1 (16), 2018. -с. 64-76.

6. Есиков, Д.О. Рекомендации по выбору параметров многоагентных алгоритмов стохастического поиска для решения отдельных видов задач дискретной оптимизации / Есиков Д.О., Акиншина Н.Ю., Чернышков А.И., Мамон Ю.И // Известия Тульского государственного университета. Технические науки, выпуск 2, 2018. - с. 59-67.

Свидетельства о регистрации программ:

7. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ №2014619324 «Программа распределенного решения задач целочисленного линейного программирования с булевыми переменными методом ветвей и границ». Номер и дата поступления заявки: №2014616900, 16.06.2014. Дата государственной регистрации в Реестре программ для ЭВМ – 15.09.2014 г.

8. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2017614899 «Программа оптимизации плана эксплуатации оборудования при производстве промышленной продукции». Номер и дата поступления заявки: № 2016663508, 09.12.2016. Дата государственной регистрации в Реестре программ для ЭВМ – 27.04.2017 г.

9. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2018613135 «Программа распределенного решения задач целочисленного программирования с булевыми переменными островным генетическим алгоритмом на кластере» Номер и дата поступления заявки: №2017661235, 03.11.2017. Дата государственной регистрации в Реестре программ для ЭВМ – 02.03.2018 г.

Статьи, тезисы, опубликованные в других изданиях:

10. Yesikov, D.O. Increase of level of stability of functioning of systems of storage and data processing at the expense of realization of actions for ensuring safety of information / Yesikov D.O. // Third International Conference "High Performance Computing" HPC-UA 2013 (Ukraine, Kyiv, October 7-11, 2013). -с. 416-420
11. Yesikov, D.O. Complex of Mathematical Models to Ensuring Sustainability of the Distributed Information Systems / Ivutin, A.N., Yesikov, D.O. // 4rd Mediterranean Conference on Embedded Computing (MECO) – 2015 June 14-18 2015 – Budva, Montenegro, 2015 - P.106-109. DOI: 10.1109/MECO.2015.7181878. (проиндексировано в **Scopus** и **Web of Science**).
12. Yesikov, D.O. Rational values of parameters of island genetic algorithms for the effective solution of problems of ensuring stability of functioning of the distributed information systems / D. O. Yesikov , A. N. Ivutin // 12-16 June 2016, 2016 5th Mediterranean Conference on Embedded Computing (MECO) 2016, P. 309 - 312. DOI: 10.1109/MECO.2016.7525769. (проиндексировано в **Scopus** и **Web of Science**).
13. Yesikov, D. O. The use of cluster computing based RASPBERRY PI 3modules for the solution of optimization problems toensure the sustainability of distributed informationsystems / Ivutin, A. N., Yesikov, D. O. // Материалы 20-ой международной научной конференции (25-27 сентября 2017) Distributed computer and communication networks: control, computation, communications (DCCN-2017) Moscow, Technosphaera 2017. – P. 399-407.