

Научная статья

УДК 004.654

<https://doi.org/10.31854/1813-324X-2024-10-3-87-103>

Оптимизация распределения информационных ресурсов в едином информационном пространстве

Владимир Викторович Николаев¹✉, fortune-rus@yandex.ru

Игорь Борисович Саенко^{1,2}, ibsaen@mail.ru

¹Военная академия связи им. С.М. Буденного,
Санкт-Петербург, 194064, Российская Федерация

²Санкт-Петербургский Федеральный исследовательский центр Российской академии наук,
Санкт-Петербург, 199178, Российская Федерация

Аннотация

В статье решается **проблема** оптимального распределения информационных ресурсов по узлам хранения единого информационного пространства. **Актуальность** работы обусловлена противоречиями между требуемым уровнем своевременности в едином информационном пространстве и недостаточным уровнем работки научно-методического аппарата повышения указанного свойства для аналогичных систем.

Методы исследования основаны на использовании элементов теорий массового обслуживания, марковских цепей, эволюционных вычислений, а также статистики и общенаучных методов (анализ, синтез, сравнение, дедукция).

Целью работы является повышение своевременности обработки запросов должностными лицами к единому информационному пространству с учетом выполнения требования по устойчивости и безопасности.

Результаты. Цель достигнута благодаря разработке научно-методического обеспечения: модели обмена информационными ресурсами и методики оптимизации плана их распределения, а также научно-технических предложений по реализации, разработанных модели и методики. При создании модели использован концептуальный, аналитический и имитационный подходы, которые в совокупности позволяют рассчитать показатели своевременности, устойчивости и безопасности для любого плана распределения. Методика оптимизации плана распределения информационных ресурсов позволяет сформировать оптимальный план их распределения, удовлетворяющий заданным требованиям. Использование этих научных результатов в прикладной области позволило сформулировать научно-технические предложения по реализации и применению модели и методики. В заключение приводится экспериментальная оценка предложенного подхода, доказывающая его эффективность.

Новизна. Научные результаты позволяют осуществлять оценку показателей единого информационного пространства, а также поиск оптимального плана распределения информационных ресурсов как на этапе проектирования, так и на этапе реконфигурации системы.

Теоретическая значимость работы заключается в том, что она направлена на дальнейшее развитие теории построения единого информационного пространства в части оптимизации плана распределения информационных ресурсов, а **практическая** – в разработке технико-прикладного инструментария, повышающего показатели своевременности, безопасности и устойчивости единого информационного пространства.

Ключевые слова: единое информационное пространство, информационный ресурс, имитационное моделирование, генетический алгоритм

Ссылка для цитирования: Николаев В.В., Саенко И.Б. Оптимизация распределения информационных ресурсов в едином информационном пространстве // Труды учебных заведений связи. 2024. Т. 10. № 3. С. 87–103. DOI:10.31854/1813-324X-2024-10-3-87-103. EDN:UFROMW

Original research

<https://doi.org/10.31854/1813-324X-2024-10-3-87-103>

Optimization of Information Resources Distribution in Common Information Space

✉ Vladimir V. Nikolaev¹, fortune-rus@yandex.ru

✉ Igor B. Saenko^{1,2}, ibsaen@mail.ru

¹Military Academy of Communications,
St. Petersburg, 194064, Russian Federation

²Saint Petersburg Federal Research Center of the Russian Academy of Science,
St. Petersburg, 199178, Russian Federation

Annotation

The article solves the problem of optimal distribution of information resources across the storage nodes of a common information space. The **relevance** of the work is due to the contradictions between the required level of timeliness in a common information space and the insufficient level of development of a scientific and methodological apparatus for improving this property for similar systems. The research **methods** are based on the use of elements of queuing theories, Markov chains, evolutionary calculations, as well as statistics and general scientific methods (analysis, synthesis, comparison, deduction). The **purpose** of the work is to increase the timeliness of processing requests by officials to a common information space, taking into account the fulfillment of the requirements for sustainability and safety. **Results.** The goal was achieved through the development of scientific and methodological support: a model for the exchange of information resources and a methodology for optimizing the information resource allocation plan, as well as scientific and technical proposals for implementation, developed models and methods. When creating the model, conceptual, analytical and simulation approaches were used, which together make it possible to calculate indicators of timeliness, sustainability and safety for any distribution plan. The methodology for optimizing the information resource allocation plan allows you to create an optimal information resource allocation plan that meets the specified requirements. The use of these scientific results in the applied field made it possible to formulate an applied result with practical significance - scientific and technical proposals. In conclusion, an experimental assessment of the proposed approach is presented, proving its effectiveness. **Novelty.** The scientific results make it possible to evaluate the indicators of the common information space, as well as to search for an optimal plan for the distribution of information resources both at the design stage and at the stage of system reconfiguration. The **theoretical significance** of the work lies in the fact that it is aimed at further developing the theory of building a common information space in terms of optimizing the information resource allocation plan, and the **practical significance** lies in the development of technical and applied tools that improve the timeliness, security and sustainability of a common information space.

Keywords: common information space, information resource, simulation modeling, genetic algorithm

For citation: Nikolaev V.V., Saenko I.B. Optimization of Information Resources Distribution in Common Information Space. *Proceedings of Telecommunication Universities*. 2024;10(3):87–103. (in Russ.) DOI:10.31854/1813-324X-2024-10-3-87-103. EDN:UFROMW

Введение

На сегодняшний день военно-политическую обстановку вокруг Российской Федерации можно охарактеризовать как сложную, изменчивую и напряженную. Ведущие страны мира стараются оказывать давление на нашу страну во всех областях, осуществляют санкционное сдерживание и препятствуют реализации политики нашего государства. В связи с этим ключевым фактором для достижения

превосходства во всех сферах является информация, рассматриваемая, с одной стороны, как исходные данные для принятия управленческих решений, а с другой стороны – используемая для осуществления кибервоздействий на инфраструктурные объекты и систему управления организации. Система управления является важнейшим элементом поддержания организации на требуемом уровне готовности к решению задач, а ее фундаментальной составляющей

является автоматизированная система управления, которая формируется в настоящее время путем объединения существующих и разрабатываемых локальных автоматизированных систем (ЛАС) в единое информационное поле. При этом объединение ЛАС подразумевает их взаимодействие, которое возможно только при условии совместимости баз данных при их интеграции на объектах автоматизации с целью создания единого информационного пространства (ЕИП) организации.

Целью настоящей работы является разработка и экспериментальная оценка предложенного подхода к оптимизации распределения информацион-

ных ресурсов (ИР), из которых состоит ЕИП, по местам возможного хранения с учетом требований по своевременности, устойчивости и безопасности.

Классификация

Согласно концептуальным документам, в широком смысле ЕИП можно определить, как упорядоченную совокупность всей информации, имеющейся в организации, а в узком смысле – как совокупность ИР, разработанных и упорядоченных по единым правилам формирования, хранения и распространения [1, 2].

В ЕИП интегрируются различные ИР. Исходя из их многообразия, можно предложить классификацию ИР, представленную на рисунке 1.

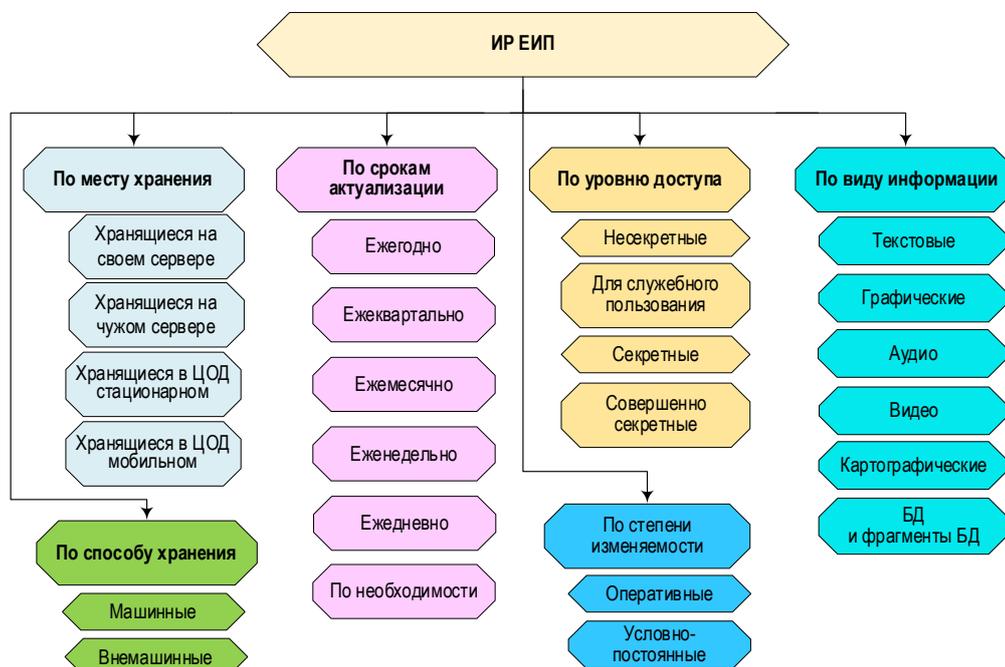


Рис. 1. Классификация ИР

Fig. 1. Information Resources Classification

Известные подходы к рациональному использованию ИР, как правило, не имеют количественного обоснования и не связаны с необходимостью удовлетворять те или иные критерии [3]. Поэтому в настоящей статье будет предложен подход к оптимальному распределению ИР в ЕИП, который направлен на удовлетворение основных требований, предъявляемых к ЕИП. К числу таких относятся требования по своевременности, устойчивости и безопасности функционирования ЕИП.

Распределение

Рассмотрим классификацию (см. рисунок 1) «по месту хранения» [4]. Она подразумевает под собой возможность совмещения двух подходов к хранению информации – централизованного и децентра-

лизованного. Сравнение этих подходов показывает, что ни один из них в отдельности не является оптимальным. Поэтому целесообразным представляется применение смешанного способа хранения ИР, вариант которого представлен на рисунке 2, где узел хранения (УХ) 1 – это стационарный центр обработки данных (ЦОД), УХ 2 – мобильный ЦОД, а остальные УХ – файловые сервера пользователей ЕИП [5].

В связи с этим важной задачей для эффективного функционирования ЕИП является оптимальное распределение ИР по УХ. Для решения данной задачи должностными лицами организации, ответственной за ведение фонда ИР, формируется план распределения ИР. Структура плана изображена на рисунке 3.

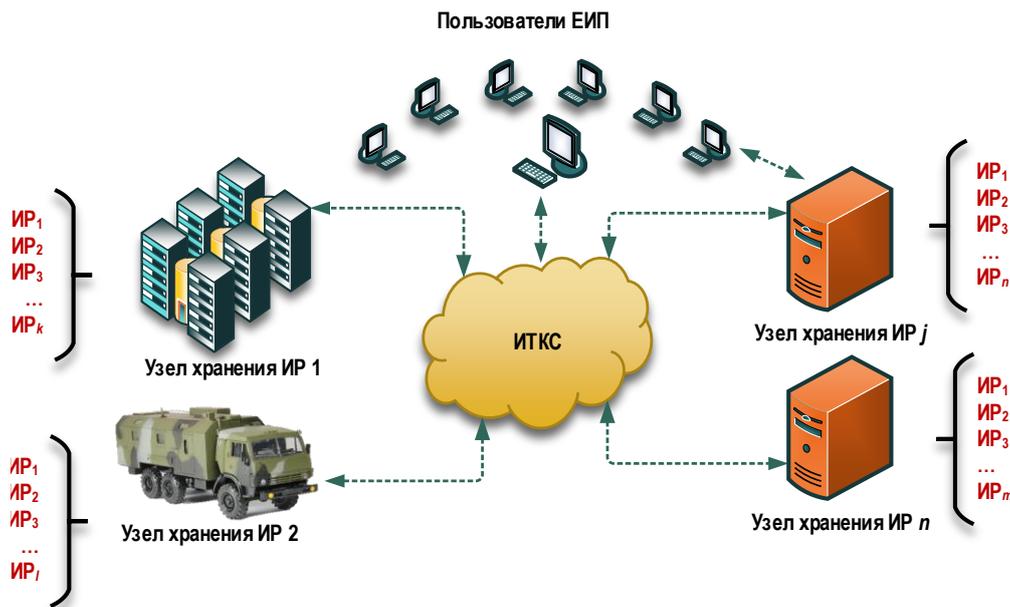


Рис. 2. Смешанный способ хранения ИР в ЕИП

Fig. 2. A Mixed Way of Storing Information Resources in a Common Information Space

	U_1	U_2	...	U_j	...	U_n
R_1	x_{11}	x_{12}	...	x_{1j}	...	x_{1n}
R_2	x_{21}	x_{22}	...	x_{2j}	...	x_{2n}
...
R_i	x_{i1}	x_{i2}	...	x_{ij}	...	x_{in}
...
R_m	x_{m1}	x_{m2}	...	x_{mj}	...	x_{mn}

R_i – i -й ИР, $i = \overline{1, m}$;
 m – множество ИР в ЕИП;
 U_j – j -й узел хранения, $j = \overline{1, n}$
 n – множество узлов хранения ИР
 $x_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{если } R_i \in U_j \\ 0, & \text{если } R_i \notin U_j \end{cases}$

Рис. 3. План распределения ИР в ЕИП

Fig. 3. Information Resources Allocation Plan in a Common Information Space

Таким образом, мы подходим к проблеме распределения ИР по УХ, а именно такого размещения, чтобы оно было оптимальным с точки зрения обеспечения показателей своевременности, устойчивости и безопасности ЕИП.

Постановка задачи

Исходные данные

Требования, предъявляемые к ЕИП по своевременности, устойчивости и безопасности:
 $G(V, H)$ – сетевая структура ЕИП;
 $U = \{u_j\}$ – множество УХ ЕИП, $j = \overline{1, n}$ (n – количество УХ в ЕИП);
 $C = \|c_{ji}\|$ – матрица коэффициентов пропускной

способности составного канала связи между узлами u_j и u_i ;

$C_{\text{лвс}}$ – пропускная способность каналов связи внутри узла;

$C_{\text{серв}}$ – скорость обработки информации в сервере;

λ – интенсивность отказа УХ;

μ – интенсивность восстановления УХ;

$P = \{p_1, p_2, p_3, \dots\}$ – вероятности несанкционированного доступа (НСД) к серверу ИР, центру обработки данных стационарному (ЦОДст) и центру обработки данных мобильному (ЦОДм);

$PR = \|PR_{li}\|$ – вероятность формирования запросов с узла U_l к ИР R_i ;

v_0 – средний объем запроса на доступ к ИР (служебного запроса сервера к другому серверу);

$R = \{r_i\}$ – множество всех ИР, $i = \overline{1, m}$ (m – количество различных ИР в ЕИП);

$V = \{v_j\}$ – множество объемов всех ИР;

$\Lambda = \{\lambda_j\}$ – множество интенсивностей запросов к ИР;

$X_d = \{x_{ij}\}$ – действующий на текущий момент план распределения ИР.

Переменные: план распределения ИР $X = \|x_{ij}\|$.

Допущения и ограничения

$\sum_{i=1}^m x_{ij} \geq 1$ – на каждом узле должен содержаться хотя бы один ИР.

$\sum_{j=1}^n x_{ij} \geq 1$ – все ИР должны быть гарантированно распределены.

Требуется разработать

1) Модель обмена ИР в ЕИП, сочетающая централизованный и децентрализованный способ их распределения, которая позволяет рассчитать показатели эффективности ЕИП.

2) Методику, учитывающую критерии по своевременности, устойчивости и безопасности, которая обеспечивает оптимальное распределение ИР по узлам ЕИП.

3) Научно-технические предложения по реализации и применению модели обмена и методики оптимизации распределения ИР в ЕИП.

Концептуальная модель обмена

Рассмотрим инфотелекоммуникационную сеть (ИТКС). ИТКС представляет собой сложную систему, соединяющую множество узлов, каждый из которых имеет локальную вычислительную сеть (ЛВС). Эти локальные сети объединяют пользователей ЕИП, предоставляя им доступ к сети и ее ресурсам через выделенные каналы связи. Узлы ИТКС могут быть расположены по-разному, образуя произвольную топологию сети, вариант которой представлен на рисунке 4. Топология может включать звездообразные, кольцевые и сетчатые

структуры, либо их комбинации. Эта гибкость позволяет сети адаптироваться к различным требованиям по масштабируемости и отказоустойчивости. В каждом узле сети организованы ЛВС, которые служат для объединения пользователей и различных устройств. ЛВС могут включать в себя не только стационарные компьютеры, но и мобильные устройства, серверы и специализированные системы, такие как ЛАС. Пользователи ЛВС получают доступ к ЕИП посредством каналов связи, которые могут быть проводными (Ethernet, оптоволокно) или беспроводными (Wi-Fi, мобильные сети). Каждый канал связи обеспечивает безопасный и надежный обмен данными между пользователями и другими узлами сети. Пользователями ЕИП могут выступать различные гетерогенные устройства, в том числе автоматизированные системы управления. ИР распределены по узлам ЕИП, что позволяет эффективнее использовать вычислительные и сетевые ресурсы [6].

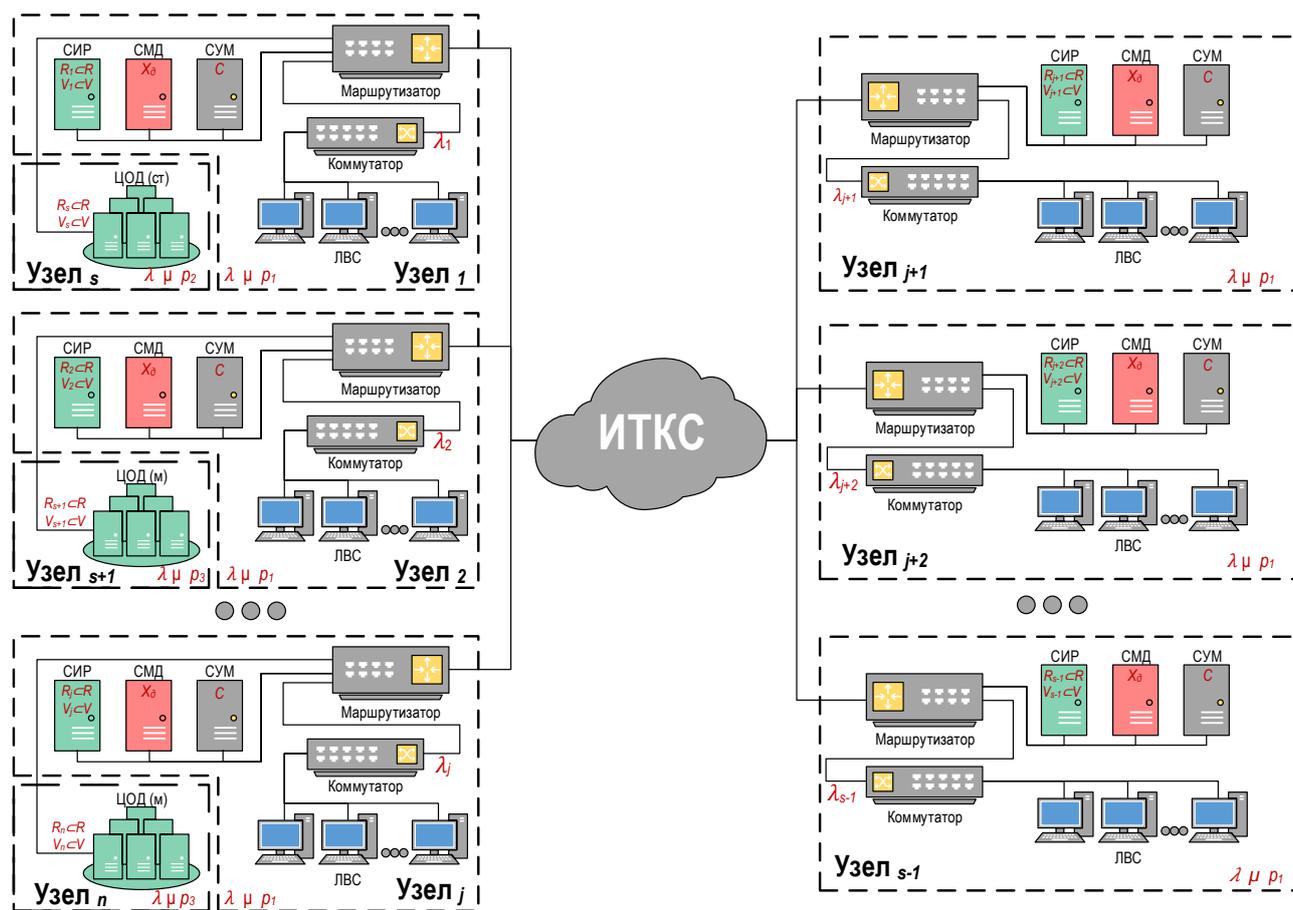


Рис. 4. Детализированная структурная модель обмена ИР в ЕИП

Fig. 4. A Detailed Structural Model for the Exchange of Information Resources in a Common Information Space

Структура узлов включает следующие компоненты: сервер ИР; сервер метаданных (СМД); сервер управления маршрутизацией (СУМ); ЦОДст или

ЦОДм. Сервер ИР осуществляет хранение ИР. СМД содержит план распределения ИР по узлам ЕИП. СУМ обеспечивает взаимодействие пользователей с ЕИП и выполняет следующие основные задачи:

- обработка входящих запросов от пользователей;
- определение узлов ЕИП, ответственных за обработку конкретных запросов пользователей;
- отправка запроса на выбранный узел;
- получение ИР от узлов в ответ на запросы пользователей;
- доставка ИР пользователю, инициировавшему запрос.

Такая архитектура позволяет эффективно управлять распределением и маршрутизацией запросов, обеспечивая оптимальное взаимодействие пользователей с ресурсами ЕИП. Каждый запрос нацелен на доступ к определенному ИР. Алгоритм прохождения пользовательского запроса представлен на рисунке 5.

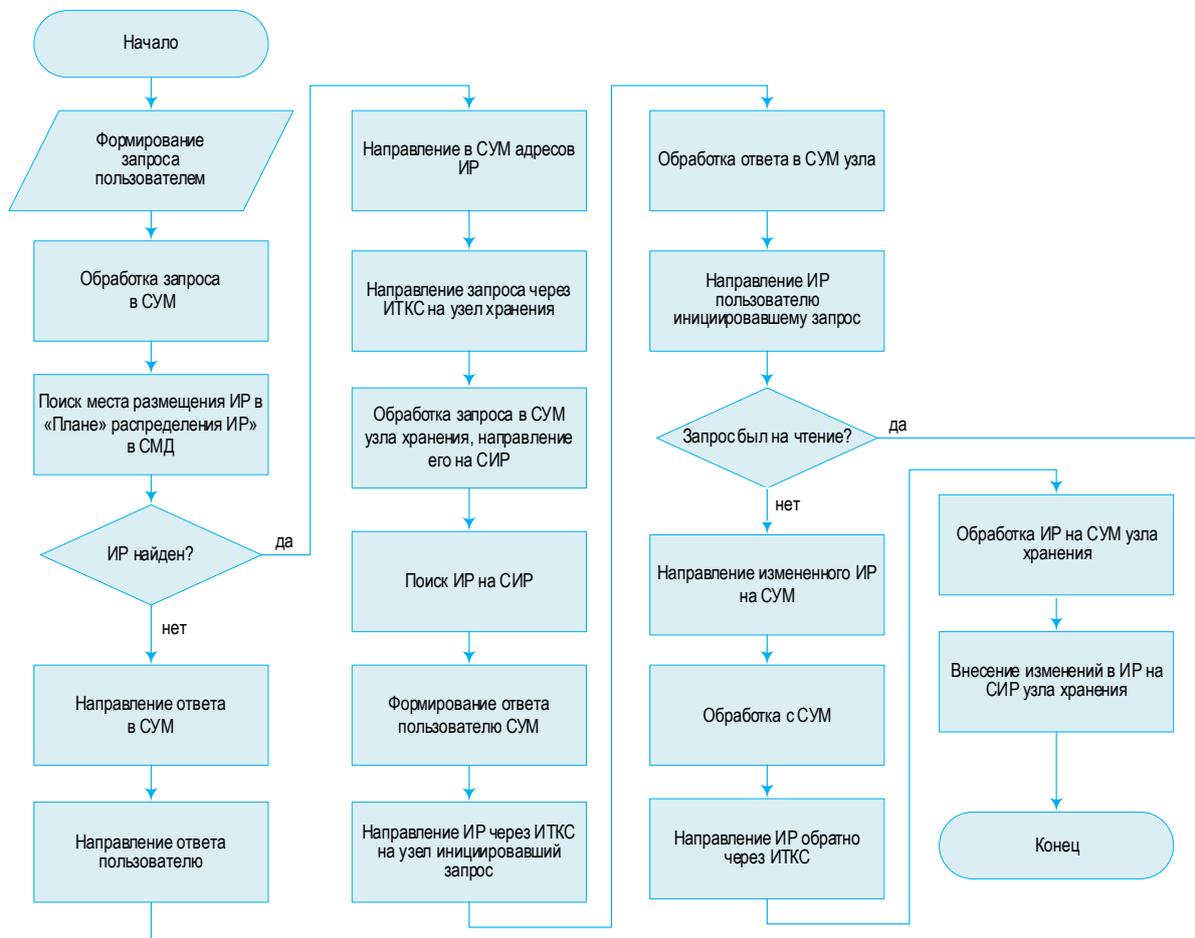


Рис. 5. Алгоритм прохождения пользовательского запроса

Fig. 5. The Algorithm for Passing a User Request

Рассмотрим СеМО, в которую поступает пуассоновский поток заявок. Это означает, что интервал времени между прибытием заявок распределен по экспоненциальному закону с плотностью вероятности $f(t) = \lambda e^{-\lambda t}$, где λ – интенсивность потока

Внесем в СеМО некоторые упрощающие допущения [7]:

1) отсутствие отказов: мы предполагаем, что ни один из компонентов системы не выходит из строя, обеспечивая стабильную и бесперебойную работу системы;

2) нет приоритезации трафика: все запросы обрабатываются в порядке их поступления, без выделения приоритетов для различных типов запросов;

3) диспетчеризация типа FIFO (аббр. от англ. First In, First Out): запросы обрабатываются по принципу очереди – первым поступил, первым обслужен;

4) отсутствие проблем столкновений и сегментации сообщений: мы учитываем, что используемые протоколы связи эффективно минимизируют вероятность возникновения коллизий и иных проблем при передаче данных.

заявок, определяющая среднее количество заявок, поступающих в систему за единицу времени.

Применение пуассоновского потока заявок обусловлено его способностью эффективно моделировать различные реальные процессы. В частности,

формирование запросов пользователями в информационных системах часто соответствует пуассоновскому процессу с высокой степенью точности. Это обусловлено случайным характером поступления запросов и независимостью каждого поступления от предыдущих. Более того, пуассоновский поток заявок существенно упрощает математическое моделирование и аналитическое решение задач СМО, позволяет относительно легко вычислять такие характеристики системы, как среднее время

ожидания, среднее число заявок в системе, вероятность отказа и другие параметры эффективности [8].

Эти допущения помогут упростить нашу модель и сосредоточиться на ключевых аспектах функционирования системы без учета множества вариативных и зачастую маловероятных факторов, что позволит более четко понять структуру и работу ЕИП. Описанную модель можно представить в виде СеМО, приведенной на рисунке 6 [9].

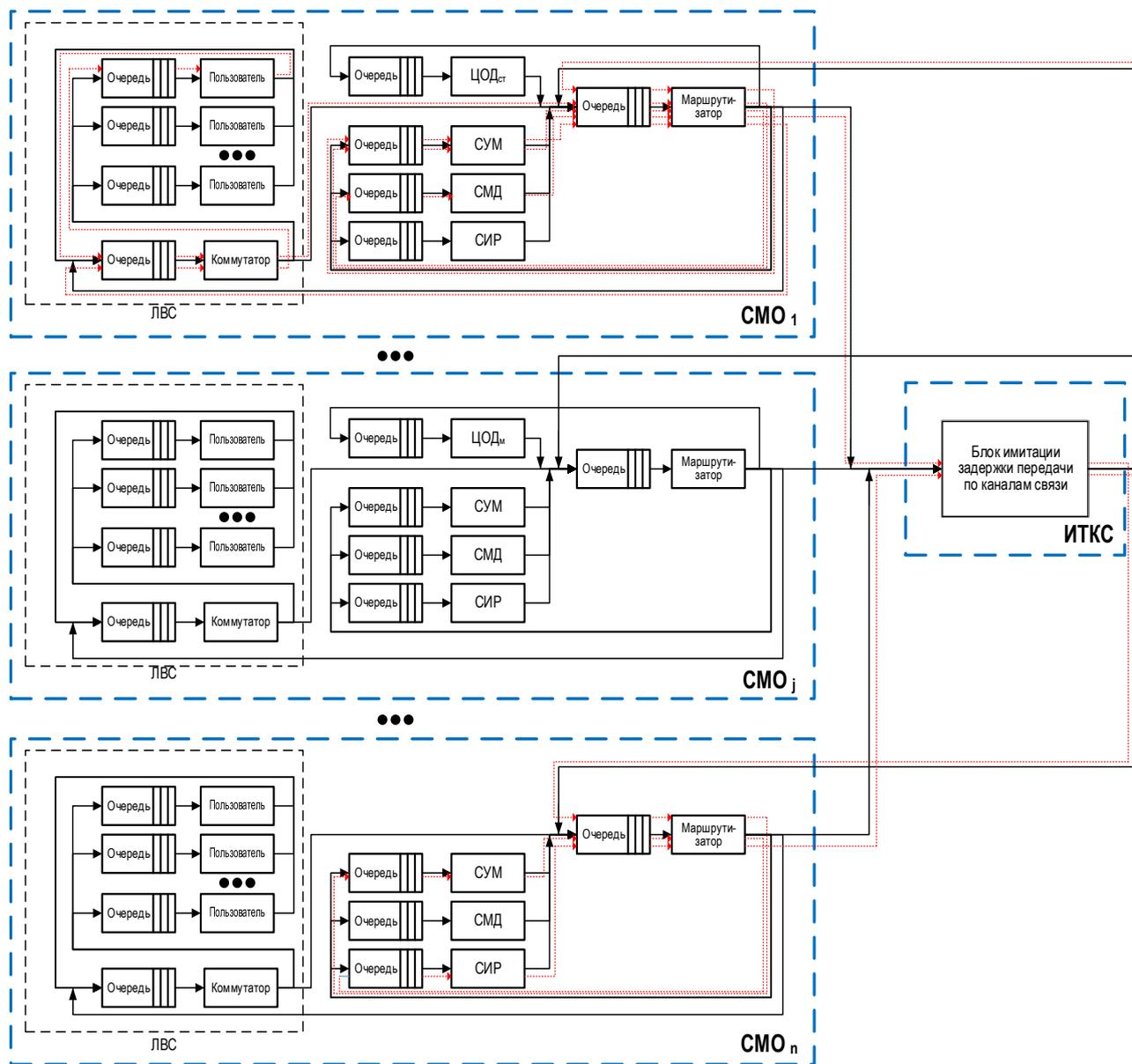


Рис. 6. Модель обмена ИР в ЕИП в терминах теории массового обслуживания

Fig. 6. A Model for the Exchange of Information Resources in a Common Information Space in Terms of Queuing Theory

Для определения времени выполнения запроса конкретного пользователя имеет смысл использовать декомпозиционный подход. Для этого вводятся следующие временные характеристики:

1) время ожидания предоставления ресурсов канала – это время, которое запрос проводит в ожидании доступа к коммуникационным ресурсам, таким как пропускная способность канала связи;

например, если канал перегружен, запрос будет ожидать свободного места для передачи данных;

2) время передачи по каналу связи запросов (квитанций) к маршрутизатору узла и обработки в нем служебной информации – включает в себя время, необходимое для передачи данных от источника к маршрутизатору через канал связи, а также время, которое маршрутизатор тратит на обработку служебной информации (например, заголовков пакетов, маршрутизацию и т. д.);

3) время ожидания запроса в буферной памяти СУМ (сервер ИР, СМД) – время, которое запрос ожидает в очереди (буфере) перед тем, как будет обработан сервером; это ожидание может быть связано с текущей загруженностью системы;

4) время обработки запроса пользователя в СУМ (сервер ИР, СМД) – время, необходимое для непосредственной обработки запроса системой. Оно включает в себя операции чтения и записи данных и т. д.

5) время передачи запроса через ИТКС – это время передачи запроса через ИТКС до конечного пункта назначения (например, сервер ИР) и обратно до пользователя; в это время также включается задержка сети (латентность) и возможные повторные передачи данных при потере пакетов.

Все эти временные составляющие суммируются для определения полного времени выполнения запроса конкретного пользователя.

Аналитическая модель обмена информационными ресурсами

Целью построения модели является определение показателей таких свойств ЕИП, как своевременность, устойчивость и безопасность. Своевременность важна, потому что пользователи должны иметь возможность получать требуемую информацию в нужный момент времени, чтобы принимать обоснованные решения и выполнять задачи. Например, в случае критически важных ситуаций своевременный доступ к информации может быть решающим фактором. Устойчивость информационного пространства гарантирует непрерывный доступ к информационным ресурсам вне зависимости от времени, внешних воздействий или технических проблем. Это важно для обеспечения бесперебойной работы систем, особенно в случае, когда доступ к информации критичен для выполнения определенных функций или процессов. Безопасность информационного пространства необходима для защиты от НСД, взломов, утечек данных и других угроз. Это особенно важно с учетом существующих киберугроз и утечек информации, которые могут нанести значительный ущерб.

Таким образом, своевременность, устойчивость и безопасность являются фундаментальными

свойствами ЕИП, необходимыми для его эффективного функционирования и обеспечения потребностей пользователей.

Остановимся более подробно на выбранных свойствах и их показателях [10–12].

Своевременность – основное свойство, показывающее способность обеспечить получение пользователем требуемого ИР по запросу в заданное время. Показателем своевременности может служить вероятность того, что среднее время реакции системы (T_p) на запросы пользователей не больше допустимого ($T_p^{доп}$).

Введенные в предыдущем разделе временные характеристики позволяют определить время TP_{lk} выполнения запроса из узла U_l на узел U_k :

$$\begin{aligned} TP_{lk} = & TOK_1^{КОМ} + TPO_1^{КОМ} + TOK_1^M + TPO_1^M + \\ & + TOP_1^{СУМ} + TOB_1^{СУМ} + TOK_2^M + TPO_2^M + TOP^{СМД} + \\ & + TOB^{СМД} + TOK_3^M + TPO_3^M + TOP_2^{СУМ} + TOB_2^{СУМ} + \\ & + TOK_4^M + TPO_4^M + TOK_1^{ИТКС} + TPO_1^{ИТКС} + \\ & + TOP_3^{СУМ} + TOB_3^{СУМ} + TOK_5^M + TPO_5^M + s_{r1} \times \\ & \times (TOP^{СИР} + TOB^{СИР}) + s_{r2} \times (TOP^{ЦОД} + TOB^{ЦОД}) + \\ & + TOK_6^M + TPO_6^M + TOP_4^{СУМ} + TOB_4^{СУМ} + TOK_7^M + \\ & + TPO_7^M + TOK_2^{ИТКС} + TPO_2^{ИТКС} + TOP_5^{СУМ} + \\ & + TOB_5^{СУМ} + TOK_8^M + TPO_8^M + TOK_2^{КОМ} + TPO_2^{КОМ}, \end{aligned} \quad (1)$$

где s_{r1} и s_{r2} – элементы матрицы $s = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix}$; СИР – сервер ИР. Если ИР размещен на сервере ИР, то $r = 1$, если в ЦОД, то $r = 2$.

Обозначим вероятность формирования запроса с узла U_l на узел U_k как PQ_{lk} , $l = \overline{1, n}$, $k = \overline{1, n}$. Тогда время TP_l выполнения запросов с узла U_l можно определить по формуле:

$$TP_l = \sum_{k=1}^n PQ_{lk} * TP_{lk}. \quad (2)$$

Время TP реакции системы на запросы пользователей вычисляется по формуле:

$$TP = \sum_{l=1}^n \lambda_l * TP_l / \sum_{l=1}^n \lambda_l. \quad (3)$$

Для определения времени выполнения запросов с узла U_l необходимо учитывать вероятности формирования запроса с узла U_l на другие узлы:

$$PQ_{li} = \sum_{i=1}^m PR_{li} * x_{ik}, \quad (4)$$

где PR_{li} – вероятность формирования запросов с узла U_l к ИР R_i ; x_{ik} – элемент матрицы плана распределения ИР в ЕИП ($x_{ik} = 1$, если ИР R_i находится на узле U_k , иначе $x_{ik} = 0$).

Время ожидания обслуживания заявок с γ входными потоками и диспетчеризацией FIFO и при отсутствии приоритетов вычисляется по следующей формуле:

$$t_0 = \sum_{i=1}^{\gamma} \lambda_i \bar{x}_i^2 * \left(2 \left(1 - \sum_{i=1}^{\gamma} \lambda_i \omega_i \right) \right), \quad (5)$$

где λ_i – интенсивность i -го потока заявок; \bar{x}_i^2 – второй момент обслуживания заявок; ω_i – среднее время обслуживания заявок.

В нашем случае поток заявок один, поэтому приведенную формулу можно упростить до следующего вида:

$$t_0 = \frac{\lambda_i \bar{x}_i^2}{2(1 - \sum_{i=1}^{\gamma} \lambda_i \omega_i)}. \quad (6)$$

Определим *среднее время обслуживания запросов* для нескольких случаев:

– среднее время обслуживания запросов в каналах внутри узла:

$$W_{\text{лвс}}^{\text{запр}} = \frac{v_0}{c_{\text{лвс}}}, \quad (7)$$

– среднее время обслуживания запросов на серверах (в ЦОД):

$$W_{\text{лвс}}^{\text{запр}} = \frac{v_0}{c_{\text{серв}}}, \quad (8)$$

– среднее время обслуживания запросов при передаче через ИТКС:

$$W_{\text{лвс}}^{\text{запр}} = v_0 c_{\text{лк}}, \quad (9)$$

где v_0 – средний объем запроса на доступ к ИР (служебного запроса к серверу); $c_{\text{лвс}}$ – скорость передачи информации внутри узла; $c_{\text{серв}}$ – скорость обработки информации на серверах; $c_{\text{лк}}$ – коэффициент пропускной способности составного канала при передаче информации через ИТКС.

Определим *среднее время обслуживания ИР* для нескольких случаев:

– среднее время обслуживания ИР в каналах внутри узла:

$$W_{\text{лвс}}^{\text{ИР}} = \frac{v_i}{c_{\text{лвс}}}, \quad (10)$$

– среднее время обслуживания ИР на серверах (в ЦОД):

$$W_{\text{лвс}}^{\text{ИР}} = \frac{v_i}{c_{\text{серв}}}, \quad (11)$$

– среднее время обслуживания ИР при передаче через ИТКС:

$$W_{\text{лвс}}^{\text{ИР}} = v_i c_{\text{лк}}, \quad (12)$$

где v_i – объем ИР R_i .

При экспоненциальном законе распределения вторые моменты времени обслуживания равны $\bar{x}^2 = 2\omega^2$, а при постоянном времени обслуживания $\bar{x}^2 = \omega^2$. Время передачи запроса будем считать постоянным, в то время как длительность передачи данных, возвращаемых запросом, распределено по экспоненциальному закону. Тогда выражение для расчета времени $TP_{\text{лк}}$ выполнения запроса из узла U_i на узел U_k принимает следующий вид:

$$TP_{\text{лк}} = 6\text{ТОК}_{\text{лвс}}^{\text{запр}} + 4\text{ТОК}_{\text{лвс}}^{\text{ИР}} + \text{ТОК}_{\text{иткс}}^{\text{запр}} + \text{ТОК}_{\text{иткс}}^{\text{ИР}} + 4\text{ТОК}_{\text{серв}}^{\text{запр}} + 4\text{ТОК}_{\text{серв}}^{\text{ИР}} + 6W_{\text{лвс}}^{\text{запр}} + W_{\text{иткс}}^{\text{запр}} + 4W_{\text{лвс}}^{\text{ИР}} + W_{\text{иткс}}^{\text{ИР}} + 6W_{\text{серв}}^{\text{запр}} + 2W_{\text{серв}}^{\text{ИР}}. \quad (13)$$

Под безопасностью ЕИП понимается свойство, характеризующее его способность противостоять получению НСД к ИР. Показателем безопасности является вероятность защищенности ЕИП от НСД к ИР за заданный период времени $T_{\text{зад}}$ ($P_{\text{защ}}(T_{\text{зад}})$). Он рассчитывается по следующим формулам:

$$P_{\text{защ}} = 1 - P_{\text{НСД}}, \quad (14)$$

где $P_{\text{НСД}}$ – вероятность совершения НСД в ЕИП:

$$P_{\text{НСД}} = \min_{1 \leq i \leq n} p_i^{\text{НСД}}, \quad (15)$$

где n – количество ИР в ЕИП; $p_i^{\text{НСД}}$ – вероятность совершения НСД к i -му ИР, учитывающая наличие дубликатов ИР на других УХ:

$$p_i^{\text{НСД}} = 1 - \prod_{k \in [1, n_1]} (1 - p_{\text{сир}}^{\text{НСД}} x_{ik}) \times \prod_{k \in [n_1+1, n_1+n_2]} (1 - p_{\text{ЦОДм}}^{\text{НСД}} x_{ik}) \times \prod_{k \in [n-n_3+1, n]} (1 - p_{\text{ЦОДст}}^{\text{НСД}} x_{ik}), \quad (16)$$

где $p_{\text{сир}}^{\text{НСД}}$, $p_{\text{ЦОДм}}^{\text{НСД}}$, $p_{\text{ЦОДст}}^{\text{НСД}}$ – вероятность НСД к серверу ИР, мобильному и стационарному ЦОД, соответственно; n_1 , n_2 , n_3 – количество серверов ИР, мобильных и стационарных ЦОД, соответственно; $n = n_1 + n_2 + n_3$.

Под устойчивостью ЕИП будем понимать его способность в каждый момент времени обеспечить доступ должностного лица к требуемому ИР. Показателем этого свойства может выступать коэффициент готовности ЕИП $K_{\text{ЕИП}}$. Данный показатель является комплексным, в него закладываются как надежные характеристики оборудования УХ, так и его живучесть.

В целом, чем больше мы имеем размещенных на узлах дубликатов, тем больше вероятность того, что должностное лицо, запросившее ИР, получит его в заданный интервал времени. Такую зависимость можно описать графом возможных состояний ЕИП, представленным на рисунке 7.

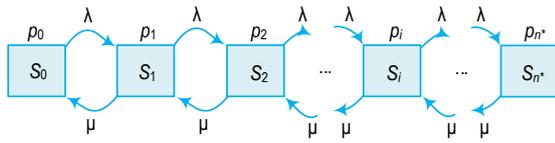


Рис. 7. Граф возможных состояний ЕИП для каждого из ИР
Fig. 7. Graph of Possible States of a Common Information Space for Each Information Resource

Состояние \$S_0\$ – когда все дубликаты ИР доступны, \$S_1\$ – когда один из дубликатов ИР недоступен, \$S_2\$ – когда два из дубликатов ИР недоступны и т. д.

Таким образом, коэффициент готовности можно определить следующими выражениями:

$$K_{r\text{ЕИП}} = \frac{\sum_{i=1}^n K_{r_i}}{n^*}, \tag{17}$$

где \$K_{r_i}\$ – коэффициент готовности для \$i\$-го ИР; \$n^*\$ – количество узлов, на которых размещен \$i\$-й ИР:

$$n^* = \sum_{k=1}^n x_{ik}. \tag{18}$$

Коэффициент готовности для \$i\$-го ИР вычисляется как сумма вероятностей всех состояний системы, кроме состояния «недоступны все узлы, хранящие ИР»:

$$K_{r_i} = \sum_{s=0}^{n^*-1} p_s. \tag{19}$$

Данные вероятности рассчитываются путем решения системы линейных уравнений, которые составляются для ЕИП, представленного в виде графа-схемы гибели-размножения:

$$\begin{cases} -\lambda p_0 + \mu p_1 = 0 \\ \lambda p_0 - (\lambda + \mu)p_1 + 2\mu p_2 = 0 \\ \dots \\ \lambda p_{s-1} - (\lambda + s\mu)p_s + (s+1)\mu p_{s+1} = 0 \\ \dots \\ \lambda p_{n^*-2} - (\lambda + (n^*-1)\mu)p_{n^*-1} + n^*\mu p_{n^*} = 0 \\ \sum_{s=0}^{n^*} p_s = 1 \end{cases} \tag{20}$$

где \$\lambda\$ – интенсивность перехода узла, хранящего ИР, из доступного состояния в недоступное; \$\mu\$ – интенсивность восстановления узла; \$p_0\$ – вероятность того, что все узлы хранящие ИР, доступны; \$p_s\$ – вероятность того, что \$s\$ узлов, хранящих ИР, недоступны; \$p_{n^*}\$ – вероятность того, что все узлы, хранящие ИР, недоступны.

Статистическая оценка адекватности модели обмена

Чтобы проверить адекватность модели обмена ИР в ЕИП, было принято решение воспользоваться

статистическими методами, а именно: построить уравнение регрессии [13] и оценить его при помощи критерия Фишера. Для этого были проанализированы результаты ряда экспериментов, проведенных на имитационной модели (выходной параметр \$y\$ – среднее время реакции системы).

Эксперименты проводились для следующей конфигурации:

- средняя интенсивность запросов в сутки: \$\lambda \in [10; 100]\$ (фактор \$z_1\$);
- количество узлов: \$n \in [10; 33]\$ (фактор \$z_2\$);
- количество информационных ресурсов: \$m \in [1000; 10000]\$ (фактор \$z_3\$);
- время моделирования: 30 суток.

Требуется определить степень влияния параметров \$z_1, z_2, z_3\$ на значение выходной переменной, для чего были поставлены эксперименты по плану полного факторного эксперимента (ПФЭ) \$2^k, k = 3\$ (таблица 1), число повторений каждого эксперимента – 3, т. е. значения выходных параметров – \$y_1, y_2, y_3\$.

ТАБЛИЦА 1. Исходная матрица планирования ПФЭ \$2^3\$
TABLE 1. The Initial Planning Matrix for a Complete Factorial Experiment

Номер опыта	Факторы			Результаты		
	\$z_1\$	\$z_2\$	\$z_3\$	\$y_1\$	\$y_2\$	\$y_3\$
1	+	+	+	14,8	16,8	12,8
2	-	+	+	17,2	14,0	15,6
3	+	-	+	24,6	18,0	18,6
4	-	-	+	11,6	11,6	11,4
5	+	+	-	37,6	34,0	30,4
6	-	+	-	16,8	16,8	12,0
7	+	-	-	23,6	14,0	18,8
8	-	-	-	21,0	15,6	16,2

- Работа выполняется по схеме:
- 1) кодируются переменные;
 - 2) достраиваются матрицы планирования в кодированных переменных с учетом парных взаимодействий и дополняются столбцом средних значений отклика;
 - 3) вычисляются коэффициенты уравнения регрессии;
 - 4) проверяются вычисленные коэффициенты на значимость, предварительно определяя дисперсию воспроизводимости, и получается уравнение регрессии в кодированных переменных;
 - 5) проверяется полученное уравнение на адекватность.

В результате было получено уравнение регрессии в кодированных переменных:

$$y = 18,49 + 3,51_{s_1} + 1,41_{s_2} - 2,91_{s_3} - 1,49_{s_{13}} - 1,79_{s_{23}} - 3,41_{s_{123}}. \tag{21}$$

Сравнивая табличное значение критерия Фишера с расчетным, был сделан вывод об адекватно-

сти уравнения регрессии, и, следовательно, об адекватности модели.

Методика оптимизации плана распределения с учетом критериев своевременности, устойчивости и безопасности

Предлагаемая методика предназначена для использования разработчиками и администраторами ЕИП на стадиях проектирования, эксплуатации и реорганизации ЕИП. Она представляет собой ин-

струмент, позволяющий на основании исходных данных оптимизировать план распределения ИР по критерию своевременности с учетом предъявляемых требований по устойчивости и безопасности ЕИП.

Методика состоит из четырех этапов. Ее общая структура представлена на рисунке 8. Ее особенность заключается в последовательном использовании генетического алгоритма [14] и имитационной модели.

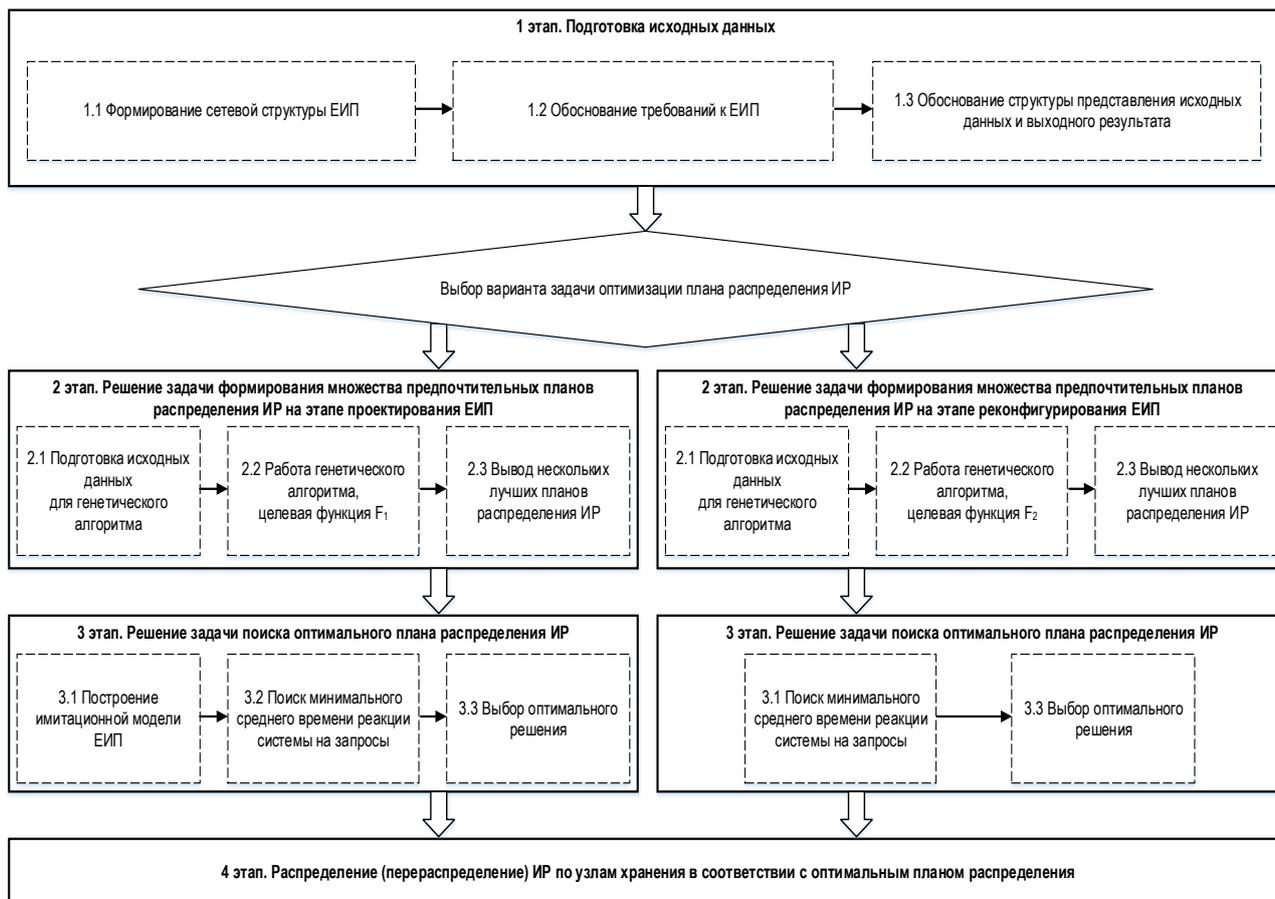


Рис. 8. Структура и взаимосвязь этапов методики оптимизации плана распределения ИР

Fig. 8. Structure and Interrelation of Methodology Stages for Optimization of the Information Resources Allocation Plan

На рисунке 9 представлена последовательность использования должностными лицами генетического алгоритма для решения задачи формирования множества предпочтительных планов распределения ИР. Новизна данного алгоритма заключается в комбинации его модификаций, таких как использование:

- многохромосомного подхода к построению особи, которой является вариант плана распределения ИР (рисунок 10);
- начального структурирования популяции с гарантированным распределением ИР по УХ;

- разбиения особей на группы с высоким значением функции пригодности с помощью алгоритма быстрой сортировки;
- адаптивной фильтрации, отсекающей особи с низким значением функции пригодности;
- универсального стохастического выбора числа точек скрещивания;
- элитизма, т. е. отбора нескольких наилучших особей в следующее поколение, минуя оператор селекции.

Задача формирования множества предпочтительных планов распределения ИР решается для двух случаев, при которых целевая функция генетического алгоритма отличается [15].

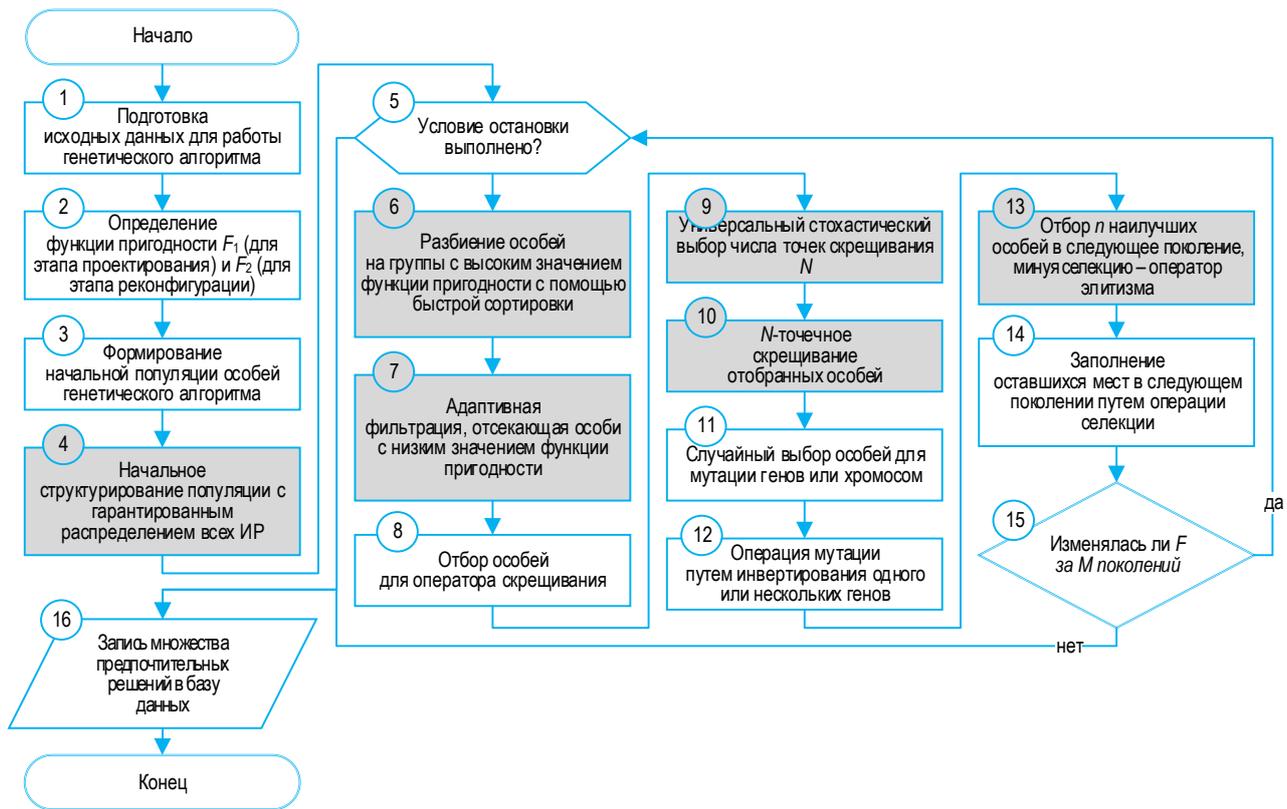


Рис. 9. Блок-схема алгоритма решения задачи формирования множества предпочтительных планов распределения ИР

Fig. 9. Block Diagram of the Algorithm for Solving the Set of Preferred Information Resources Allocation Plans Problem Forming

	U_1	U_2	...	U_j	...	U_n
R_1	0	1	...	1	...	0
R_2	1	0	...	0	...	1
...
R_i	1	1	...	0	...	1
...
R_m	1	1	...	1	...	0

– хромосома особи ГА
 – ген хромосомы

Рис. 10. Особь генетического алгоритма

Fig. 10. An Individual of the Genetic Algorithm

В первом случае (для этапа проектирования ЕИП) целевая функция принимает следующий вид:

$$F_1 = \gamma_1 f_1 + \gamma_2 f_2 + \gamma_3 f_3, \quad (22)$$

где $f_1 = f(P_{св}), f_2 = f(P_{защ}), f_3 = f(K_r)$ при условии, что $P_{св} \rightarrow \min, P_{защ} \geq P_{защ}^{треб}, K_r \geq K_r^{треб}$.

Во втором случае (для этапа реконфигурации ЕИП) целевая функция определяется выражением:

$$F_1 = \gamma_1 f_1 + \gamma_2 f_2 + \gamma_3 f_3 + \gamma_4 f_4, \quad (22)$$

где $f_1 = f(D), f_2 = f(P_{св}), f_3 = f(P_{защ}), f_4 = f(K_r)$ при условии, что $D \rightarrow \min, P_{св} \geq P_{св}^{треб}, P_{защ} \geq P_{защ}^{треб}, K_r \geq K_r^{треб}$.

В свою очередь, расстояние Хэмминга между текущим планом распределения ИР X_1 и новым X_2 рассчитывается следующим образом:

$$D(X_1, X_2) = \sum_{i=1}^m \sum_{k=1}^n |x_{ik_1} - x_{ik_2}|. \quad (24)$$

Оптимальный план распределения ИР находится на третьем этапе методики (рисунок 11) и реализуется при помощи использования имитационной модели, разработанной в среде имитационного моделирования AnyLogic.

При разработке имитационной модели [16] использован агентный подход и модульный принцип построения (рисунок 12). Как упоминалось выше, модель позволяет рассчитать показатели своевременности, безопасности и устойчивости для всех планов распределения ИР.

Запуск имитационной модели осуществлялся $N = 885104$ раз, тем самым обеспечивается требуемая точность $\epsilon = 0,01$ и достоверность $\alpha = 0,95$.

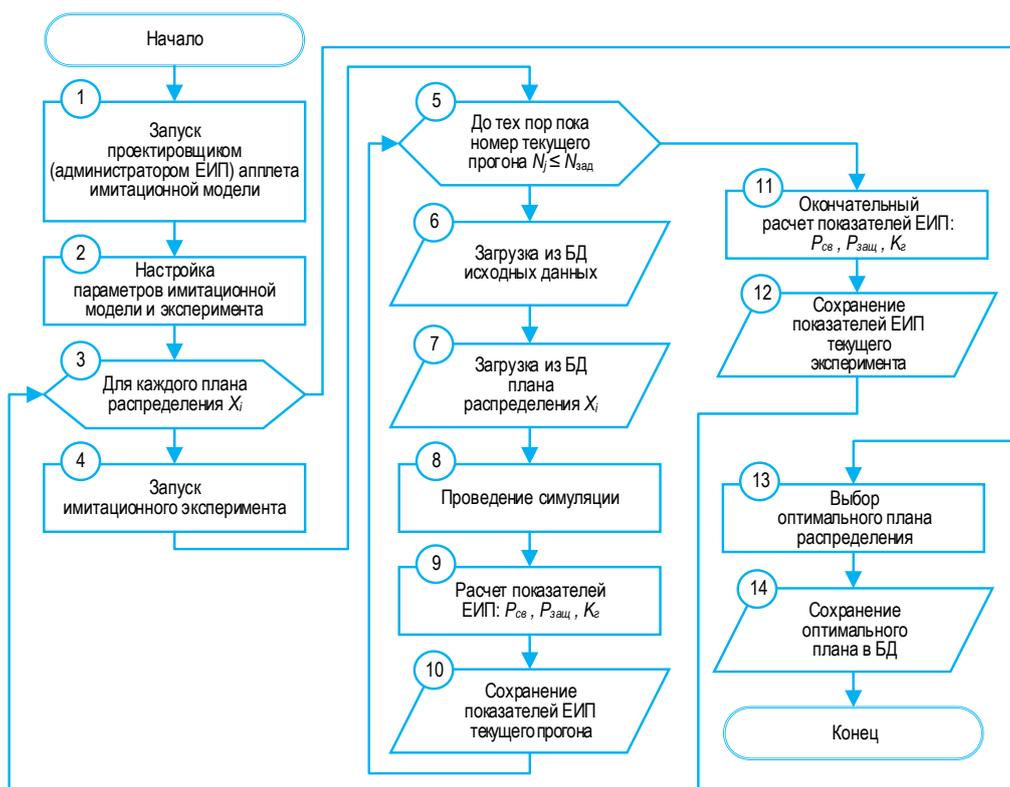


Рис. 11. Блок-схема алгоритма поиска оптимального плана распределения ИР в ЕИП

Fig. 11. Block Diagram of the Algorithm for Finding the Optimal Information Resources Allocation Plan

Количество прогонов было рассчитано по формуле [17]:

$$DN = t_{\alpha}^2 \frac{\sigma_{\alpha}^2}{\epsilon^2}, \tag{25}$$

где t_{α} – значение аргумента функции Лапласа для значения достоверности α ; σ_{α}^2 – дисперсия, рассчитанная в ходе проведения регрессионного анализа.

Предложения по построению системы планирования распределения ИР

Приведенная методика оптимизации распределения ИР в ЕИП используется для построения системы планирования распределения ИР (далее – Система). Данная система будет работать на двух этапах – на этапе проектирования ЕИП ее будут использовать разработчики и проектировщики, а на этапе реконфигурации ею будут пользоваться администраторы ЕИП. Как и любая автоматизированная система, она обладает присущими ей видами обеспечения (рисунок 13): техническим, информационным, лингвистическим, математическим, программным и кадровым [18]. Лингвистическое и кадровое обеспечение в данной статье рассматриваться не будут.

Техническое обеспечение Системы представляет собой совокупность технических средств реализации процессов преобразования информации, к ко-

торым относятся средства обработки, ввода-вывода, передачи и хранения. Остановимся более подробно на средствах обработки и хранения, так как именно они представляют особую значимость для процесса распределения ИР. Основу средств хранения составляют ЦОД и сервера, предназначенные для хранения ИР в ЕИП. Технические характеристики ЦОД и серверов хранения известны и более, чем достаточны для функционирования ЕИП. К средствам обработки относятся ПЭВМ разработчика и администратора. ПЭВМ должны отвечать современным требованиям к компьютерным системам, должны быть достаточно производительны для максимального снижения времени работы специального программного обеспечения (ПО), о котором речь пойдет далее. Варианты аппаратной конфигурации ПЭВМ разработчика и администратора представлены на рисунке 12.

Информационное обеспечение для Системы представляет собой комбинацию различных элементов, таких как описание информационных баз, системы классификации и кодирования данных, унифицированные системы документов и нормативно-справочные базы, необходимые для обеспечения ее эффективного функционирования.

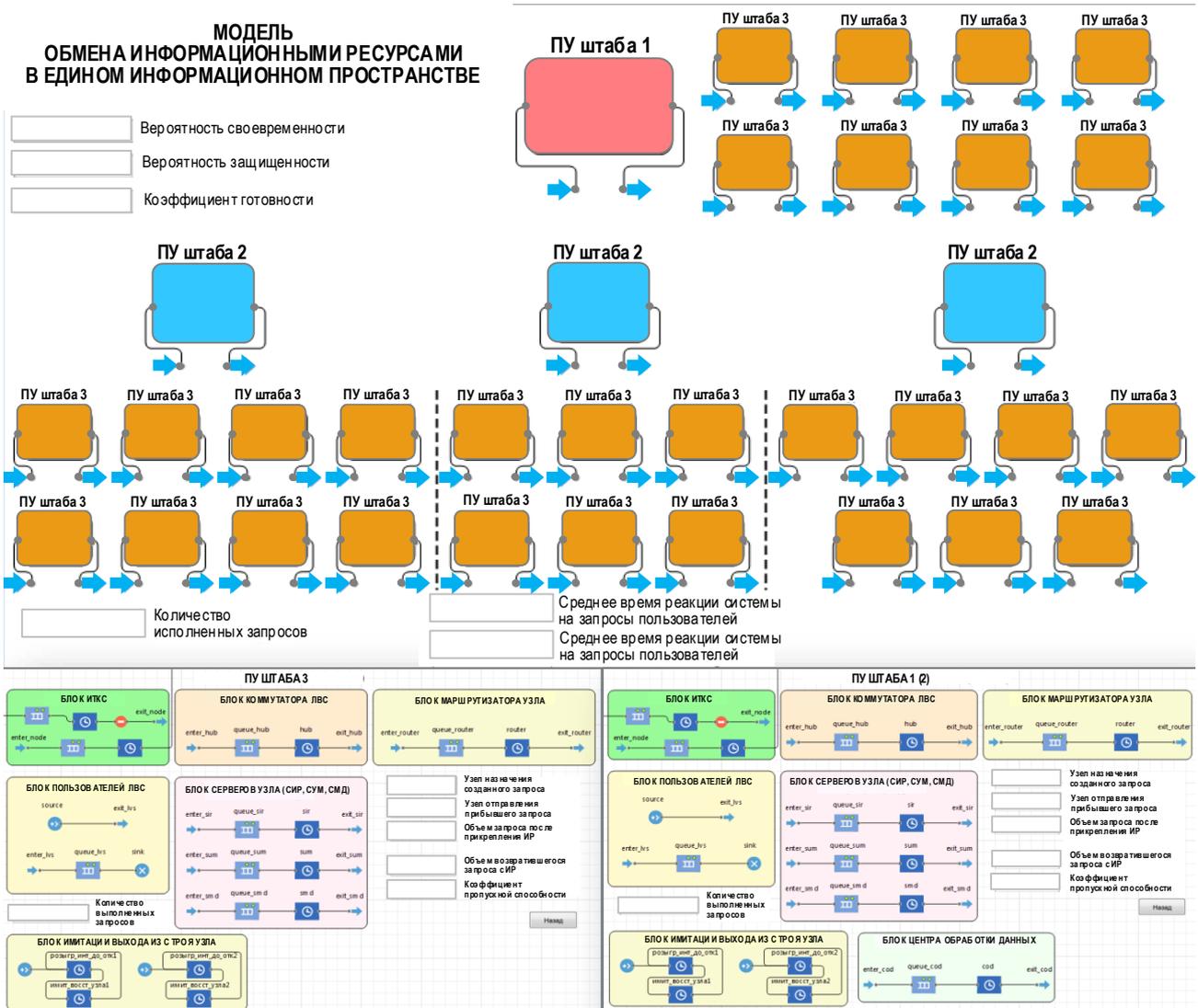


Рис. 12. Имитационная модель обмена информационными ресурсами в ЕИП
Fig. 12. Simulation Model of Information Resource Exchange in a Common Information Space

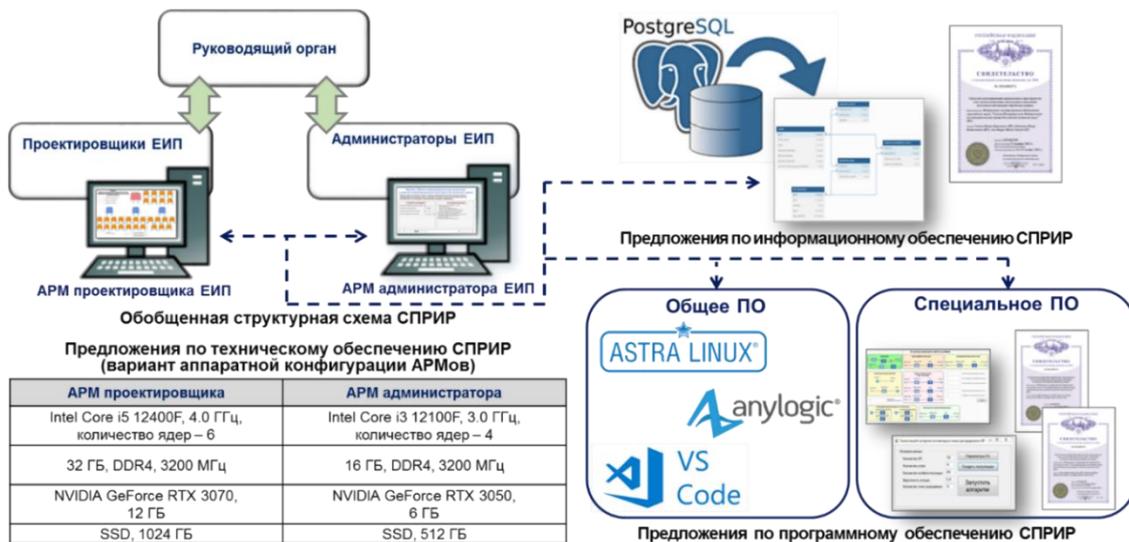


Рис. 13. Система планирования распределения ИР
Fig. 13. Information Resource Allocation Planning System

Учитывая, что персональные компьютеры, включенные в Систему, работают под управлением операционной системы AstraLinux, рекомендуется применять СУБД PostgreSQL для хранения исходных данных и выходного результата методики. Математическое обеспечение Системы включает в себя модели, методы и алгоритмы для преобразования информации, используемые в ее работе. Эти математические компоненты делятся на две категории: общее и специальное математическое обеспечение [19].

ПО Системы включает в себя набор программных продуктов и документацию, которые используются для ее отладки, тестирования и эксплуатации. В зависимости от выполняемых функций его можно разделить на две основные категории: общее и специальное [20].

Общее ПО обеспечивает базовые функции для работы системы и возможность взаимодействия с аппаратным обеспечением, предназначено для организации функционирования ЭВМ и делится на ПО ЭВМ и общесистемное ПО. К ПО ЭВМ относят операционную систему, программы технического обслуживания, сервисные программы. Основное требование – использование ПО отечественной разработки, а именно: операционной системы AstraLinux. К общесистемному ПО, помимо стандартного предустановленного ПО, следует отнести платформу для имитационного моделирования, предназначенную для разработки и использования разработанной модели обмена ИР в ЕИП. В качестве варианта – можно использовать среду имитационного моделирования AnyLogic. Также в эту группу можно отнести средства, необходимые разработчику для программирования на языке Python и библиотеки, работающие с генетическими алгоритмами, например, фреймворк DEAP.

Специальное ПО – это специализированные программные продукты, предназначенные для решения конкретных задач в рамках системы. К специальному ПО применительно к приведенным предложениям можно отнести программы решения специализированных задач, а именно: апплет имитационной модели обмена ИР в ЕИП, а также программу, реализующую методику оптимизации распределения ИР в ЕИП, реализованную на языке программирования Python и основанную на применении генетического алгоритма.

Экспериментальная оценка предложенного подхода

Чтобы оценить предложенный подход, были проведены контрольные вычислительные эксперименты для различных вариантов планов распределения ИР – централизованного, децентрализован-

ного и смешанного оптимального (таблица 2). Количество распределяемых ИР во всех случаях было равно 1000. Количество узлов ЕИП, которые являлись местами хранения ИР, было равно 23 или 37.

ТАБЛИЦА 2. Результаты контрольных замеров

TABLE 2. The Results of Control Measurements

Кол-во узлов	Варианты распределения ИР	Показатели вариантов распределения ИР		
		$P_{св}$	$P_{зщ}$	$K_{г}$
23	Централизованный	0,851	0,889	0,869
	Децентрализованный	0,880	0,893	0,914
	Смешанный (оптимальный)	0,984	0,974	0,980
37	Централизованный	0,834	0,823	0,869
	Децентрализованный	0,854	0,873	0,896
	Смешанный (оптимальный)	0,979	0,978	0,963

Из таблицы 2 видно, что смешанный оптимальный вариант распределения ИР при любых значениях количества узлов демонстрирует выполнение требований, определяющих необходимость быть больше или равным 0,9, по всем показателям – своевременности ($P_{св}$), безопасности ($P_{зщ}$) и устойчивости ($K_{г}$). В то же время для централизованного (когда все ИР хранятся в ЦОД) и децентрализованного (когда все ИР распределены по местам создания, а ЦОД – отсутствует) вариантов при любом количестве узлов эти требования практически никогда не выполняются (за исключением $K_{г}$ для децентрализованного варианта при 23 узлах).

Кроме того, видно, что с увеличением количества узлов своевременность, безопасность и устойчивость для централизованного и децентрализованного вариантов ухудшаются. В то же время для смешанных оптимальных вариантов хоть и наблюдаются небольшие уменьшения значений этих показателей, однако все они отвечают предъявляемым требованиям.

Заключение

В работе предложен подход к оптимизации плана распределения ИР в ЕИП по критериям своевременности, устойчивости и безопасности. Показано, что достичь такого оптимального распределения можно, применяя имитационную модель обмена ИР в ЕИП и методику оптимизации плана распределения ИР в ЕИП, основанную на использовании генетических алгоритмов. Кроме того, предложены решения по построению системы планирования распределения ИР в ЕИП, использование которой на этапах проектирования и реконфигурации ЕИП позволяет повысить показатели своевременности, с учетом требований по устойчивости и безопасности за счет оптимизации распределения ИР.

Список источников

1. Хахонова Н.Н. Место учета в системе единого информационного пространства организации // Финансовые исследования. 2015. № 1(46). С. 184–191. EDN:TTGAHD
2. Емельянова О.В. Структура информационно-аналитического пространства инновационной корпорации // Экономика, статистика и информатика. Вестник УМО. 2015. № 4. С. 174–178. EDN:ULFJQN
3. Саенко И.Б., Николаев В.В., Михайличенко А.В. Распределение информационных ресурсов в едином информационном пространстве, построенном с применением мобильных центров обработки данных // I научно-техническая конференция «Состояние и перспективы развития современной науки по направлению «ИТ-технологии» (Анапа, Российская Федерация, 24–25 марта 2022). Анапа: Военный инновационный технополис «ЭРА», 2022. Т. 3. С. 5–11. EDN:SZQYHX
4. Vishvanath R., Nasreen A. Survey on Recent Technology of Storage Area Network and Network Attached Storage Protocols // International journal of Innovative Research in Electrical, Electronics, Instrumentation and Control Engineering. 2014. Vol. 2. Iss. 8. PP. 1784–1789.
5. Куваев В.О., Фимов В.В., Чечулин А.А., Лыжинкин К.В. Варианты построения единого информационного пространства для интеграции разнородных автоматизированных систем // Информация и космос. 2015. № 4. С. 83–87. EDN:VJFNDD
6. Николаев В.В. Модель обмена информационными ресурсами в едином информационном пространстве специального назначения // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. 2024. № 2. С. 158–162. DOI:10.24412/2071-6168-2024-2-158-159. EDN:EXVFPV
7. Горобец В.В. Облачная модель транзакционной системы // Вестник компьютерных и информационных технологий. 2013. № 4(106). С. 19–24. EDN:PYCHUL
8. Кингман Дж. Пуассоновские процессы. М.: МЦНМО, 2007. 136 с.
9. Таха Х.А. Исследование операций. Пер. с англ. М.: Вильямс, 2016. 901 с.
10. Фабияновский И.Н. Обеспечение своевременности обмена информационными ресурсами на основе технологии распределенного реестра // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. 2021. № 9. С. 184–194. DOI:10.24412/2071-6168-2021-9-184-194. EDN:ZLEFDL
11. ГОСТ Р 59341-2021. Системная инженерия. Защита информации в процессе управления информацией системы. М.: Стандартинформ, 2021.
12. Ревнивых А.В., Федотов А.М. Доступность ресурсов информационных систем // Вестник Новосибирского государственного университета. Серия: Информационные технологии. 2014. Т. 12. № 1. С. 55–63. EDN:SCLHLP
13. Любимова О.Н., Сиськов В.В. Построение и проверка регрессионных моделей при обработке результатов факторных экспериментов: для студентов, обучающихся по направлению «Прикладная механика». Практикум. Владивосток: Дальневост. федерал. ун-т, 2017. 36 с.
14. Simon D. Evolutionary Optimization Algorithms. John Wiley & Sons, 2013. 1002 p.
15. Богданов М.Д., Рудинский И.Д. Использование генетического алгоритма для решения задачи поиска оптимального пути // Вестник науки и образования Северо-Запада России. 2023. Т. 9. № 2. С. 76–88. EDN:UXLSLY
16. Белов А.Г., Моисеев С.А., Григорьев А.В. Методы имитационного моделирования // Труды международного симпозиума «Надежность и качество». 2014. Т. 1. С. 277–279. EDN:SPDJJF
17. Каталевский Д.Ю. Основы имитационного моделирования и системного анализа в управлении: учебное пособие. М.: Издательский дом «Дело» РАНХиГС, 2015. 496 с.
18. Куцый Н.В., Мальцев И.А., Цветков Д.Ю. Виды обеспечения автоматизированных систем управления // XI Международная научно-практическая конференция «Научный ответ на вызовы современности: технический и технологический аспекты» (октябрь, 2018). Уфа: Аэтерна, 2018. С. 9–11.
19. Легков К.Е., Емельянов А.В. Математическое обеспечение контуров автоматизированных систем управления информационными системами специального назначения при решении задач учета и мониторинга // Научные исследования в космических исследованиях земли. 2016. Т. 8. № S1. С. 37–43. EDN:YJWVUX
20. Кубасов И.А., Стрельников Ф.И. О перспективах перехода автоматизированных информационных систем на отечественное оборудование и программное обеспечение // Международная научно-практическая конференция «Стратегическое развитие системы МВД России: состояние, тенденции, перспективы» (Москва, Российская Федерация, 30 октября 2019 г.). М.: Академия управления Министерства внутренних дел Российской Федерации, 2019. С. 115–118. EDN:ZWAPMX

References

1. Khakhonova N.N. Place of accounting in the system of a single information space of an organization. *Financial Research*. 2015(46):184–191. (in Russ.) EDN:TTGAHD
2. Emelyanova O.V. The structure of the information and analytical space of the innovation corporation. *Economics, Statistics and Computer Science*. 2015;4:174–178. (in Russ.) EDN:ULFJQN
3. Saenko I.B., Nikolaev V.V., Mikhailichenko A.V. Distribution of information resources in a single information space built using mobile data processing centers. *Proceedings of the 1st Scientific and Technical Conference on State and Prospects for the Development of Modern Science in the Direction of "IT technologies", 24–25 March 2022, Anapa, Russian Federation, vol.3*. Anapa: Military Innovation Technopolis "ERA" Publ.; 2022. p.5–11. (in Russ.) EDN:SZQYHX
4. Vishvanath R, Nasreen A. Survey on Recent Technology of Storage Area Network and Network Attached Storage Protocols. *International journal of Innovative Research in Electrical, Electronics, Instrumentation and Control Engineering*. 2014;2(8): 1784–1789.

5. Kuvaev V.O., Efimov V.V., Chechulin A.A., Lyzhinkin K.V. Options for building a unified information space for the integration of diverse automated systems. *Information and Space*. 2015;4:83–87. (in Russ.) EDN:VJFNDD
6. Nikolaev V.V. The model of information resource exchange in a special purpose common information space. *Izvestiya Tula State University*. 2024;2:158–162. (in Russ.) DOI:10.24412/2071-6168-2024-2-158-159. EDN:EXVFPV
7. Gorobets V.V. Cloud model of on-line transaction processing system. *Herald of Computer and Information Technologies*. 2013;4(106):19–24. (in Russ.) EDN:PYCHUL
8. Kingman J. *Puassonovskie protsessy*. Translation from English. Moscow: MCN-MO Publ.; 2007. 136 p. (in Russ.)
9. Taha H.A. *Operations research: an introduction*. New Jersey: Paerson Education, 2003.
10. Fabianovski I.N. Providing timely exchange of information resources based on distributed register technology. *Izvestiya Tula State University*. 2021;9:184–194. (in Russ.) DOI:10.24412/2071-6168-2021-9-184-194. EDN:ZLEFDL
11. GOST R 59341-2021. *Systems Engineering. Protection of information in system information management process*. Moscow: Standartinform Publ.; 2021. (in Russ.)
12. Revnivykh A.V., Fedotov A.M. Availability of resources in information-processing systems. *Vestnik NSU. Series: Information Technologies*. 2014;12(1):55–63. (in Russ.) EDN:SCLHLP
13. Lyubimova O.N., Siskov V.V. *Construction and testing of regression models when processing the results of factorial experiments: for students studying in the direction of "Applied Mechanics"*. Vladivostok: Far Eastern Federal University Publ.; 2017. 36 p. (in Russ.)
14. Simon D. *Evolutionary Optimization Algorithms*. John Wiley & Sons; 2013. 1002 p.
15. Bogdanov M.D., Rudinsky I.D. Using a genetic algorithm to solve the problem of finding the optimal path. *Journal of Science and Education of North-West Russia*. 2023;9(2):76–88. (in Russ.) EDN:UXLSLY
16. Belov A.G., Moiseev S.A., Grigoriev A.V. Simulation modeling methods. *Proceedings of the International Symposium on Reliability and Quality, vol.1*. 2014. p.277–279. (in Russ.) EDN:SPDJFF
17. Katalevsky D.Yu. *Fundamentals of simulation modeling and system analysis in management*. Moscow: Delo RANKHiGS Publ.; 2015. 496 p. (in Russ.)
18. Kutsyi N.V., Maltsev I.A., Tsvetkov D.Yu. Types of support for automated control systems. *Proceedings of the XIth International Scientific and Practical Conference on Scientific Response to the Challenges of our Time: Technical and Technological Aspects, October 2018*. Ufa: Aeterna Publ.; 2018. p.9–11. (in Russ.)
19. Legkov K.E., Emelyanov A.V. Mathematical provision of automated control systems of information systems of special purpose in dealing with accounting and monitoring tasks. *H&ES Research*. 2016;8(S1):37–43. EDN:YJWVUX
20. Kubasov I.A., Strelnikov F.I. On the prospects for the transition of automated information systems to domestic equipment and software // *Proceedings of the International Scientific and Practical Conference on Strategic Development of the System of the Ministry of Internal Affairs of Russia: Status, Trends, and Prospects, 30 October 2019, Moscow, Russian Federation*. Moscow: Academy of Management of the Ministry of Internal Affairs of Russia Publ.; 2019. p.115-118. EDN:ZWAPMX

Статья поступила в редакцию 07.05.2024; одобрена после рецензирования 30.05.2024; принята к публикации 10.06.2024.

The article was submitted 07.05.2024; approved after reviewing 30.05.2024; accepted for publication 10.06.2024.

Информация об авторах:

НИКОЛАЕВ
Владимир Викторович

адъюнкт кафедры автоматизированных систем специального назначения
Военной академии связи имени Маршала Советского Союза С.М. Буденного
 <https://orcid.org/0009-0002-0823-6299>

САЕНКО
Игорь Борисович

доктор технических наук, профессор, профессор кафедры автоматизированных систем специального назначения Военной академии связи имени Маршала Советского Союза С.М. Буденного, главный научный сотрудник Санкт-Петербургского Федерального исследовательского центра Российской академии наук
 <https://orcid.org/0000-0002-9051-5272>

Авторы сообщают об отсутствии конфликтов интересов.

The authors declare no conflicts of interests.