

ПОВЫШЕНИЕ СВОЕВРЕМЕННОСТИ ОБМЕНА ИНФОРМАЦИОННЫМИ РЕСУРСАМИ В ЕДИНОМ ИНФОРМАЦИОННОМ ПРОСТРАНСТВЕ

Николаев В.В.¹

DOI: 10.24682/3034-4050-2024-3-41-55

Ключевые слова: оптимизация распределения ресурсов, имитационное моделирование, генетический алгоритм, регрессионный анализ, план распределения информационных ресурсов, информационный обмен, AnyLogic.

Аннотация

Цель работы: разработка и экспериментальная оценка предложенного подхода к оптимизации распределения информационных ресурсов, из которых состоит единое информационное пространство, по местам возможного хранения с учетом требований по своевременности, устойчивости и безопасности.

Метод исследования: использованы концептуальный, аналитический и имитационный подходы, которые в совокупности позволяют рассчитать вероятность того, что среднее время реакции системы на запросы пользователей не больше допустимого, коэффициент готовности единого информационного пространства и вероятность защищенности единого информационного пространства от несанкционированного доступа к информационным ресурсам за заданный период времени.

Результаты: разработана модель обмена информационными ресурсами и представлено доказательство адекватности модели, полученное статистическими методами. Создана методика оптимизации плана распределения информационных ресурсов, которая позволяет, во-первых, используя генетический алгоритм сформировать множество предпочтительных планов распределения информационных ресурсов, а, во-вторых, при помощи имитационного компонента модели выбрать оптимальный план, удовлетворяющий заданным требованиям. Использование этих научных результатов в прикладной области позволило сформулировать прикладной результат, обладающий практической значимостью, а именно научно-технические предложения по реализации разработанных модели и методики. В заключении приводится экспериментальная оценка предложенного подхода, доказывающая его эффективность.

Научная новизна: полученный результат позволяет осуществлять оценку показателей единого информационного пространства, а также поиск оптимального плана распределения информационных ресурсов как на этапе проектирования, так и на этапе реконфигурации системы.

Практическая значимость проведенного исследования заключается в разработке технико-прикладного инструментария, позволяющего оптимально распределять информационные ресурсы единого информационного пространства и повышающего такие показатели, как вероятность того, что среднее время реакции системы на запросы пользователей не больше допустимого, коэффициент готовности единого информационного пространства и вероятность защищенности единого информационного пространства от несанкционированного доступа к информационным ресурсам за заданный период времени.

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, ведут 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 управленче-

ских 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

¹Николаев Владимир Викторович, преподаватель кафедры Военная академия связи имени Маршала Советского Союза С.М. Буденного, г. Санкт-Петербург, Россия. E-mail: fortune-rus@yandex.ru

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

Классификация ИР ЕИП

Согласно Концепции развития ЕИП до 2027 года 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 рис. 1.

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 (РИР) в ЕИП, который направлен на удовлетворение основных требований, предъявляемых к ЕИП. К числу таких требований относятся требования по своевременности, устойчивости и безопасности функционирования ЕИП.

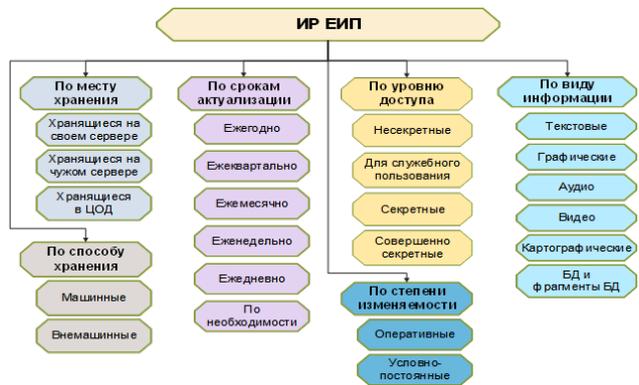


Рис. 1. Классификация ИР

Распределение ИР в ЕИП

Вернемся к рисунку 1 и рассмотрим классификацию «по месту хранения» [4]. Она подразумевает под собой возможность совмещения

двух подходов к хранению информации — централизованного и децентрализованного. 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].

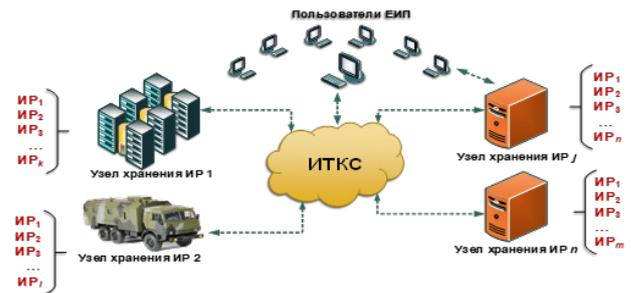


Рис. 2. Смешанный способ хранения ИР в ЕИП

В связи с этим важной задачей для эффективного функционирования ЕИП является задача оптимального РИР по УХ. Для решения данной задачи должностными лицами организации, ответственной за ведение фонда ИР, формируется план РИР (ПРИР). Структура плана изображена на рисунке 3.

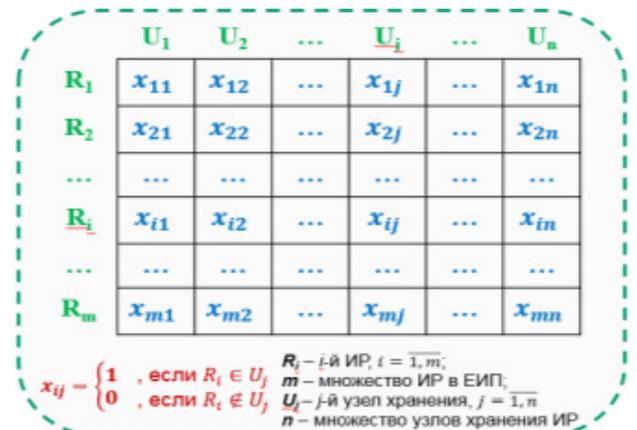


Рис. 3. План распределения ИР в ЕИП

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

Постановка задачи

Исходные данные:

1. Требования, предъявляемые к ЕИП по своевременности, устойчивости и безопасности.
2. $G(V, H)$ — сетевая структура ЕИП.
3. $U = \{u_j\}$ — множество УХ ЕИП, $j=(1', n)$ (n — количество УХ в ЕИП).
4. $C = \|c_{jl}\|$ — матрица коэффициентов пропускной способности составного канала связи между узлами u_j и u_l .
5. $c_{\text{звс}}$ — пропускная способность каналов связи внутри узла.
6. $c_{\text{серв}}$ — скорость обработки информации в сервере.
7. λ — интенсивность отказа УХ.
8. μ — интенсивность восстановления УХ.
9. $P = \{p_1, p_2, p_3\}$ — вероятности несанкционированного доступа (НСД) к серверу информационных ресурсов (СИР), центру обработки данных стационарному (ЦОДст) и центру обработки данных мобильному (ЦОДм).
10. $PR = \|PR_{li}\|$ — вероятность формирования запросов с узла U_l к ИР R_i .
11. v_o — средний объем запроса на доступ к ИР (служебного запроса сервера к другому серверу).
12. $R = \{r_i\}$ — множество всех ИР, $i = (1', m)$ (m — количество различных ИР в ЕИП).
13. $V = \{v_i\}$ — множество объемов всех ИР.
14. $A = \{\lambda_j\}$ — множество интенсивностей запросов к ИР.
15. $X_d = \{x_{ij}\}$ — действующий на текущий момент ПРИР.

Переменные: ПРИР $X = \|x_{ij}\|$.

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:

$$M(\text{ЕИП}) = \langle V_{\text{исх.дан}} \rangle \quad (1)$$

где $P_{\text{св}}$ — показатель своевременности, K_r — показатель устойчивости, $P_{\text{защ}}$ — показатель безопасности.

2. Методику оптимизации РИР в ЕИП, учитывающую критерии по своевременности, устойчивости и безопасности, которая обеспечивает оптимальное РИР по узлам ЕИП:

$$Met = \langle \{Alg_i\}, \{Cr_w\} \rangle, \text{ чтобы } \begin{cases} P_{\text{св}} \rightarrow \max \\ K_r \geq K_r^{\text{доп}} \\ P_{\text{защ}} \geq P_{\text{защ}}^{\text{доп}} \end{cases}, \quad (2)$$

где $\{Alg_i\}$ — совокупность алгоритмов выполнения отдельных этапов методики, на которых с помощью генетического алгоритма и имитационной модели происходит оптимальное РИР; $\{Cr_w\}$ — критерии эффективности ЕИП.

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

$$\text{НТП} = \langle S_{\text{эф}}, \{Actions\} \rangle \quad (3)$$

где $S_{\text{эф}}$ — предложения по разработке системы планирования РИР в ЕИП; $\{Actions\}$ — предложения по применению системы планирования РИР в ЕИП.

Концептуальная модель обмена ИР в ЕИП

Рассмотрим инфотелекоммуникационная 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 (локальные автоматизированные системы). 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. Информационные ресурсы распределены по узлам ЕИП, что позволяет эффективнее использовать вычислительные и сетевые ресурсы [6].

Структура узлов включает следующие компоненты:

- сервер информационных ресурсов (СИР);
- сервер метаданных (СМД);
- сервер управления маршрутизацией (СУМ);
- центр обработки данных, который может быть стационарным (ЦОДст) или мобильным (ЦОДм).

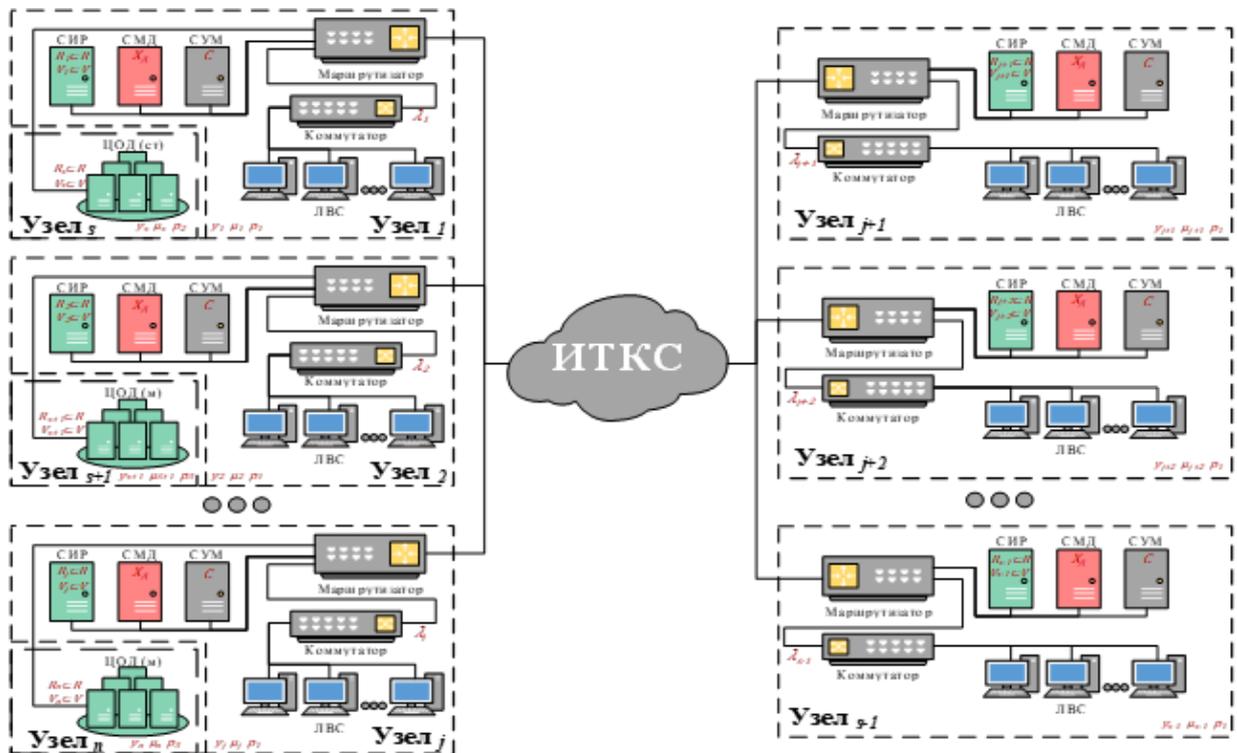


Рис. 4. Детализированная структурная модель обмена IP в ЕИП

СИР осуществляет хранение IP. СМД содержит ПРИР 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 IP от узлов в ответ на запросы пользователей;
- доставка IP 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 IP. Алгоритм прохождения пользовательского запроса представлен на рисунке 5.

Внесем некоторые упрощающие допущения [7]. В нашей СеМО будем предполагать следующие условия:

1. Отсутствие отказов: мы предполагаем, что ни один из компонентов системы не выходит из строя, обеспечивая стабильную и бесперебойную работу системы.
2. Нет приоритизации трафика: все запросы обрабатываются в порядке их поступления, без выделения приоритетов для различных типов запросов.
3. Диспетчеризация типа First In, First Out (FIFO): 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.

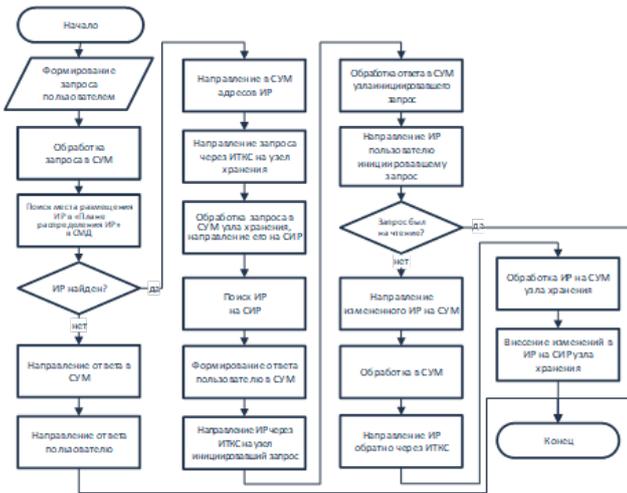


Рис. 5. Алгоритм прохождения пользовательского запроса

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 заявок, определяющая среднее количество заявок, поступающих в си-

стему 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].

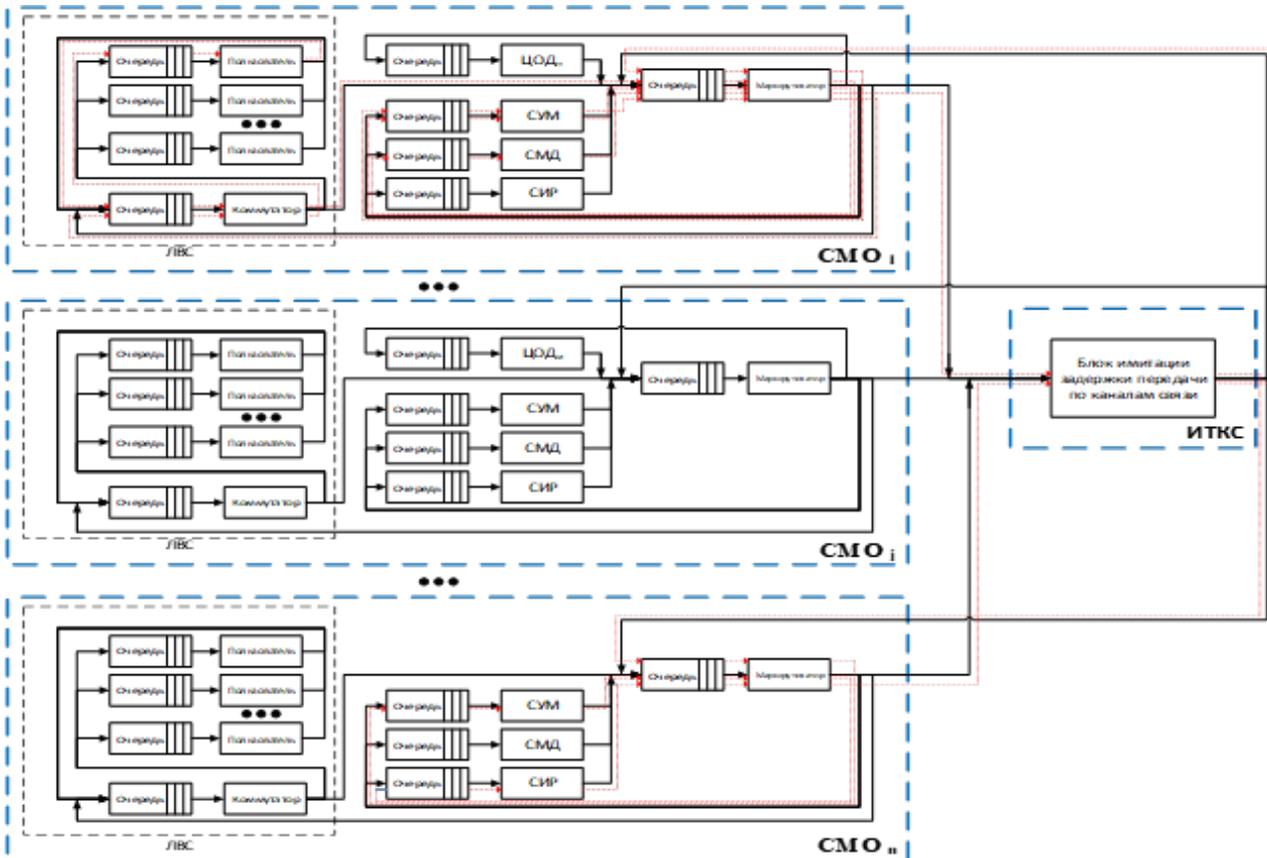


Рис. 6. Модель обмена ИР в ЕИП в терминах теории массового обслуживания

Время ТР реакции системы на запросы пользователей вычисляется по формуле:

$$TR = (\sum_{i=1}^n \lambda_i * TP_i) / \sum_{i=1}^n \lambda_i \quad (8)$$

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

$$PQ_{ik} = \sum_{i=1}^m PR_{li} * x_{ik}, \quad (9)$$

где PR_{li} — вероятность формирования запросов с узла U_i к ИР R_i , а x_{ik} — элемент матрицы ПРИР 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 «первый вошел первый вышел» и при отсутствии приоритетов вычисляется по следующей формуле:

$$t_0 = (\sum_{i=1}^{\gamma} \lambda_i x_i^2 / (2(1 - \sum_{i=1}^{\gamma} \lambda_i \omega_i))) \quad (10)$$

где λ_i — интенсивность i -го потока заявок; 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:

$$t_0 = (\lambda_x^2) / (2(1 - \lambda\omega)) \quad (11)$$

Определим среднее время обслуживания запросов для нескольких случаев:

- среднее время обслуживания запросов в каналах внутри узла:

$$W_{лвс}^{запр} = v_0 / c_{лвс}, \quad (12)$$

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

$$W_{серв}^{запр} = v_0 / c_{серв}, \quad (13)$$

- среднее время обслуживания запросов при передаче через ИТКС:

$$W_{иткс}^{запр} = v_0 c_{lk}, \quad (14)$$

где v_0 — средний объем запроса на доступ к ИР (служебного запроса к серверу); $c_{лвс}$ — скорость передачи информации внутри узла; $c_{серв}$ — скорость обработки информации на серверах; c_{lk} — 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:

$$W_{лвс}^{ир} = v_i / c_{лвс}, \quad (15)$$

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

$$W_{серв}^{ир} = v_i / c_{серв}, \quad (16)$$

- среднее время обслуживания ИР при передаче через ИТКС:

$$W_{иткс}^{ир} = v_i c_{lk}, \quad (17)$$

где v_i — объем ИР R_i .

При экспоненциальном законе распределения вторые моменты времени обслуживания равны $x^2 = 2\omega^2$, а при постоянном времени обслуживания $x^2 = \omega^2$. Время передачи запроса будем считать постоянным, в то время как длительность передачи данных, возвращаемых запросом, распределено по экспоненциальному закону. Тогда временные характеристики определим следующим образом:

$$ТОК^{ком}_1 = ТОК^м_1 = ТОК^м_2 = ТОК^м_3 = ТОК^м_4 = ТОК^м_5 = ТОК^м_6 = ТОК^{лвс\ запр} = \lambda_3 W_{лвс}^{запр 2} / \quad (18)$$

$$ТОК^{иткс}_1 = ТОК^{иткс\ запр} = (\lambda_3 W_{иткс}^{запр 2}) / \quad (19)$$

$$ТОК^м_6 = ТОК^м_7 = ТОК^м_8 = ТОК^{ком}_2 = ТОК^{лвс} = \lambda_3 2 W_{лвс}^2 / \quad (20)$$

$$ТОК^{иткс}_2 = ТОК^{иткс} = \lambda_3 2 W_{иткс}^2 / \quad (21)$$

$$ТОП^{сум}_1 = ТОП^{смл} = ТОП^{сум}_2 = ТОП^{сум}_3 = ТОП^{серв} = \lambda_3 W_{серв}^{запр 2} / \quad (22)$$

$$ТОП^{сир} ТОП^{пол} ТОП^{сум}_4 = ТОП^{сум}_5 = ТОП^{ир} = \lambda_3 2 W_{серв}^2 / \quad (23)$$

$$ТПО^{ком}_1 = ТПО^м_1 = ТПО^м_2 = ТПО^м_3 = ТПО^м_4 = ТПО^м_5 = W_{лвс} \quad (24)$$

$$ТПО_{иткс} = W_{иткс}^{запр} \quad (25)$$

$$ТПО^м_6 = ТПО^м_7 = ТПО^м_8 = ТПО^{ком}_2 = W_{лвс}^{ир} \quad (26)$$

$$ТПО_{иткс} = W_{иткс}^{ир} \quad (27)$$

$$ТОБ^{сум}_1 = ТОБ^{смл} = ТОБ^{сум}_2 = ТОБ^{сум}_3 = ТОБ^{сир} = ТОБ^{пол} = W_{серв}^{запр} \quad (28)$$

$$ТОБ^{сум}_4 = ТОБ^{сум}_5 = W_{серв}^{ир} \quad (29)$$

Таким образом выражение расчета времени ТР TR_{lk} выполнения запроса из узла U_i на узел U_k принимает следующий вид:

$$TR_{lk} = 6ТОК^{лвс} + 4ТОК^{ир} + ТОК^{иткс} + ТОК^{иткс} + 4ТОП^{серв} + 4ТОП^{серв} + 6W_{лвс}^{запр} + W_{иткс}^{запр} + 4W_{лвс}^{ир} + W_{иткс}^{ир} + 6W_{серв}^{запр} + 2W_{серв}^{ир} \quad (30)$$

Под безопасностью ЕИП понимается свойство, характеризующее его способность противостоять несанкционированному получению доступа к ИР. Показателем безопасности является вероятность защищенности ЕИП от несанкционированного доступа к ИР.

рованного доступа (НСД) к ИР за заданный период времени $T_{\text{зад}} (P_{\text{защ}}(T_{\text{зад}}))$. Он рассчитывается по следующим формулам:

$$P_{\text{защ}} = 1 - P_{\text{НСД}}, \quad (31)$$

где $P_{\text{НСД}}$ — вероятность совершения НСД в ЕИП.

$$P_{\text{НСД}} = \min_{1 \leq i \leq n} p_i^{\text{НСД}}, \quad (32)$$

где $p_i^{\text{НСД}}$ — вероятность совершения НСД к i -му ИР, учитывающая наличие дубликатов ИР на других УХ, N — количество ИР в ЕИП.

$$p_i^{\text{НСД}} = 1 - \prod_{k \in [1, n]} |1 - p_{\text{сп}}^{\text{НСД}} \prod_{l \in [1, i+k]} (1 - p_{\text{ст}}^{\text{НСД}}) \prod_{m \in [i+k+1, n]} (1 - p_{\text{моб}}^{\text{НСД}}) \prod_{s \in [i+k+1, n]} (1 - p_{\text{ст}}^{\text{НСД}})|. \quad (33)$$

где $p_{\text{СИР}}^{\text{НСД}}$ — вероятность НСД к СИР, $p_{\text{ЦОДм}}^{\text{НСД}}$ — вероятность НСД к мобильному ЦОД, $p_{\text{ЦОДст}}^{\text{НСД}}$ — вероятность НСД к стационарному ЦОД, n_1 — количество СИР, n_2 — количество мобильных ЦОД, n_3 — количество стационарных ЦОД, n — количество УХ, $n = n_1 + n_2 + n_3$.

Под устойчивостью ЕИП будем понимать способность ЕИП в каждый момент времени обеспечить доступ должностного лица к требуемому ИР. Показателем этого свойства может выступать коэффициент готовности ЕИП $K_{\text{г}}^{\text{ЕИП}}$. Данный показатель является комплексным, в него закладываются как надежностные характеристики оборудования узла хранения, 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 рис. 7:

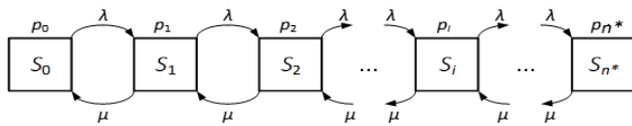


Рис. 7. Граф возможных состояний ЕИП для каждого из ИР

Состояние S_0 — когда все дубликаты ИР доступны, S_1 — когда один из дубликатов ИР не доступен, S_2 — когда два из дубликатов ИР не доступны и т. д.

Таким образом коэффициент готовности можно определить следующими выражениями:

$$K_{\text{г}}^{\text{ЕИП}} = \sum_{i=1}^n K_{\text{г}i} / n, \quad (34)$$

где $K_{\text{г}i}$ — коэффициент готовности для i -го ИР; n — количество узлов, на которых размещен i -й ИР:

$$n = \sum_{k=1}^n x_{ik} \quad (35)$$

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

$$K_{\text{г}i} = \sum_{s=0}^{n-1} p_s \quad (36)$$

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

$$\begin{cases} -\lambda p_0 + \mu p_1 = 0 \\ \lambda p_0 - (\lambda + \mu) p_1 + 2\mu p_2 = 0 \\ \dots \\ \lambda p_{s-1} - (\lambda + s\mu) p_s + (s+1)\mu p_{s+1} = 0 \\ \dots \\ \lambda p_{n-2} - (\lambda + (n-1)\mu) p_{n-1} + n\mu p_n = 0 \\ \sum_{s=0}^n p_s = 1 \end{cases} \quad (37)$$

где λ — интенсивность перехода узла, хранящего ИР, из доступного состояния в недоступное; μ — 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 ИР в ЕИП

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 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) $2^k, k = 3$ (табл. 1), число повторений каждого эксперимента — 3, т. е. значения выходных параметров y_1, y_2, y_3 .

Работу следует выполнять по следующей 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.

Таблица 1.

Исходная матрица планирования ПФЭ 2³

Номер опыта	Факторы			Результаты		
	z1	z2	z3	y1	y2	y3
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

В результате было получено уравнение регрессии в кодированных переменных:

$$y = 18,49 + 3,51s_1 + 1,41s_2 - 2,91s_3 - 1,49s_{13} - 1,79s_{23} - 3,41s_{123} \quad (38)$$

Сравнивая табличное значение критерия Фишера с расчетным, был сделан вывод об адекватности уравнения регрессии, и, следовательно, об адекватности модели.

Методика оптимизации ПРИР в ЕИП 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 инструмент, позволяющий на основании исходных данных оптимизировать ПРИР по критерию своевременности, с учетом предъявляемых требований по устойчивости и безопасности ЕИП.

Методика состоит из четырех этапов. Ее общая структура представлена на рисунке 8.

Особенность методики заключается в последовательном использовании генетического алгоритма [14] и имитационной модели.

На рисунке 9 представлена последовательность использования должностными лицами генетического алгоритма для решения задачи формирования множества предпочтительных ПРИР. Новизна данного алгоритма заключается

в комбинации его модификаций, таких как использование:

- многохромосомный подход к построению особи, которой является вариант ПРИР (рис. 10);
- начального структурирования популяции с гарантированным ПРИР 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;

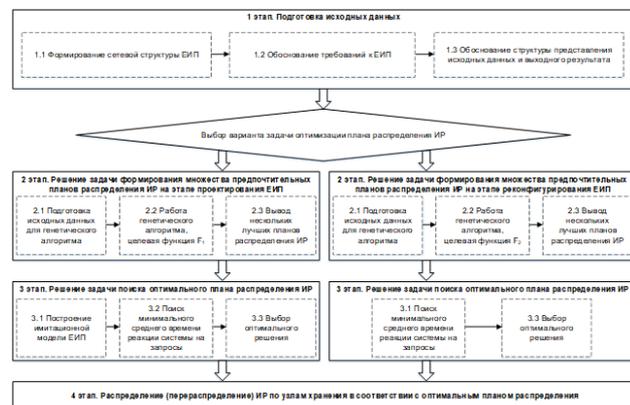


Рис. 5. Алгоритм прохождения пользовательского запроса

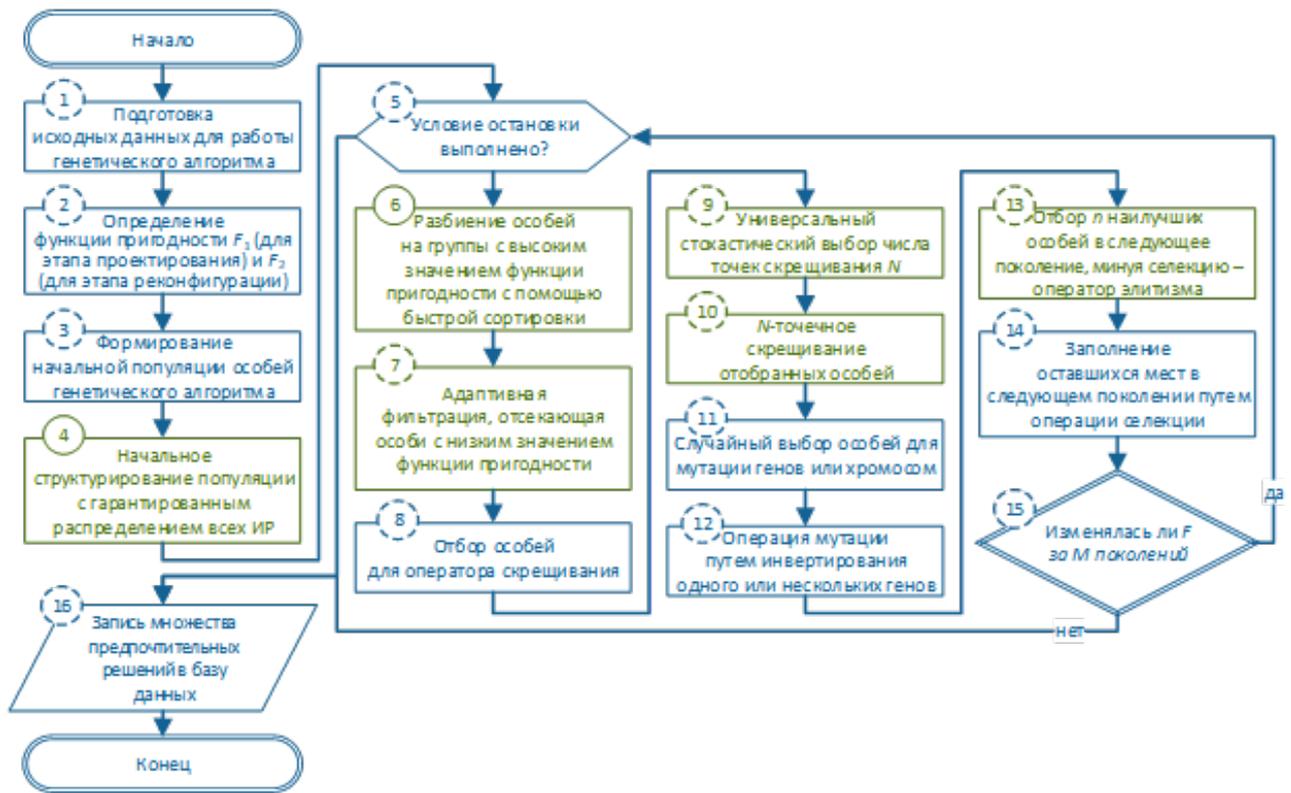


Рис. 9. Блок-схема алгоритма решения задачи формирования множества предпочтительных ПРИР

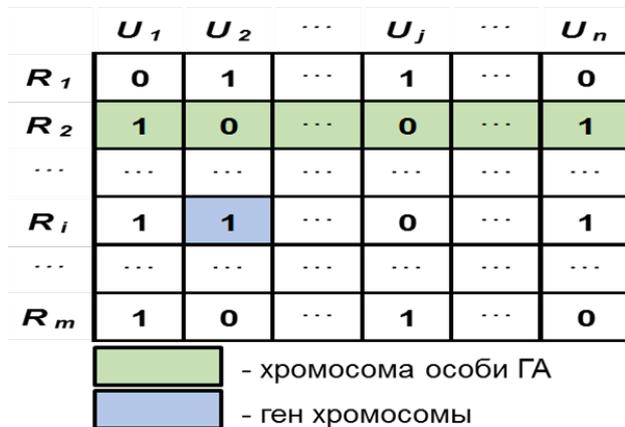


Рис. 10. Особь генетического алгоритма

элитизма, т. е. отбора нескольких наилучших особей в следующее поколение, минуя оператор селекции.

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

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

$$F_1 = \gamma_1 f_1 + \gamma_2 f_2 + \gamma_3 f_3, \quad (39)$$

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:

$$F_1 = \gamma_1 f_1 + \gamma_2 f_2 + \gamma_3 f_3 + \gamma_4 f_4, \quad (40)$$

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 D , расстояние Хэмминга между текущим ПРИР X_1 и новым X_2 , рассчитывается следующим образом:

$$D(X_1, X_2) = \sum_{l=1}^m \sum_{k=1}^n |x_{lk1} - x_{lk2}| \quad (41)$$

Оптимальный ПРИР находится на третьем этапе методики (рис. 11) при помощи использования имитационной модели, разработанной в среде имитационного моделирования AnyLogic.

При разработки имитационной модели [16] использован агентный подход и модульный принцип построения модели (рис. 12). Как упоминалось ранее, модель позволяет рассчитать показатели своевременности, безопасности и устойчивости для всех ПРИР.

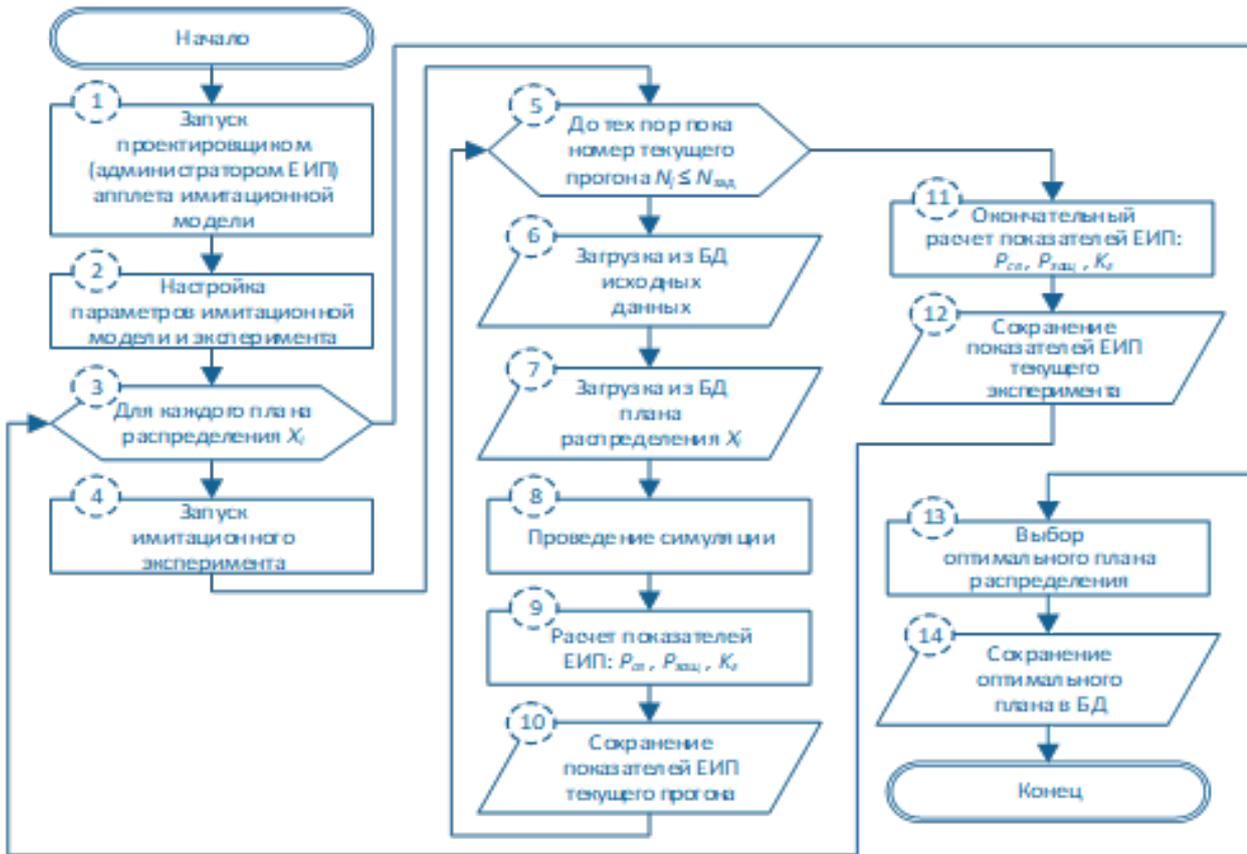


Рис. 11. Блок-схема алгоритма поиска оптимального ПРИР в ЕИП

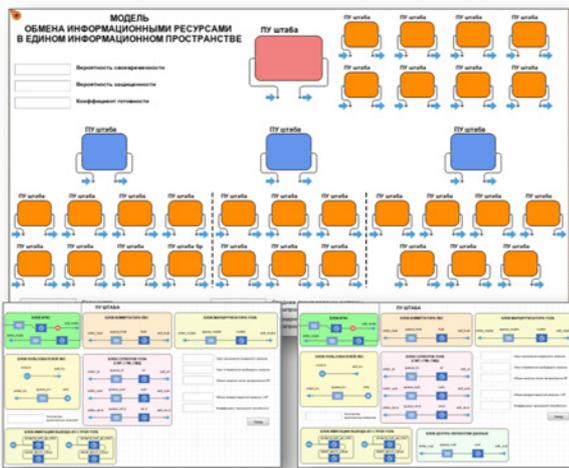


Рис. 12. Имитационная модель обмена информационными ресурсами в ЕИП

Запуск имитационной модели осуществлялся $N = 885104$ раз, тем самым обеспечивается требуемая точность $\varepsilon = 0,01$ и достоверность $\alpha = 0,95$. Количество прогонов было рассчитано по формуле [17]:

$$DN^2 = t_{\alpha}^2 \frac{\sigma_{\alpha}}{\varepsilon^2} \quad (42)$$

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 РИР

Приведенная методика оптимизации РИР в ЕИП используется для построения системы планирования РИР (СПРИР). 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.

СПРИР — автоматизированная система. Как и любая автоматизированная система она обладает присущими ей видами обеспечения (рис. 13): техническим, информационным, лингвистическим, математическим, программным и кадровым [18]. Лингвистическое и кадровое обеспечение в данной статье рассматриваться не будут.

Техническое обеспечение СПРИР представляет собой совокупность технических средств реализации процессов преобразования информации, к которым относятся средства обработки,

ввода-вывода, передачи и хранения. Остановимся более подробно на средствах обработки и хра-

нения, так как именно они представляют особую значимость для процесса РИР.

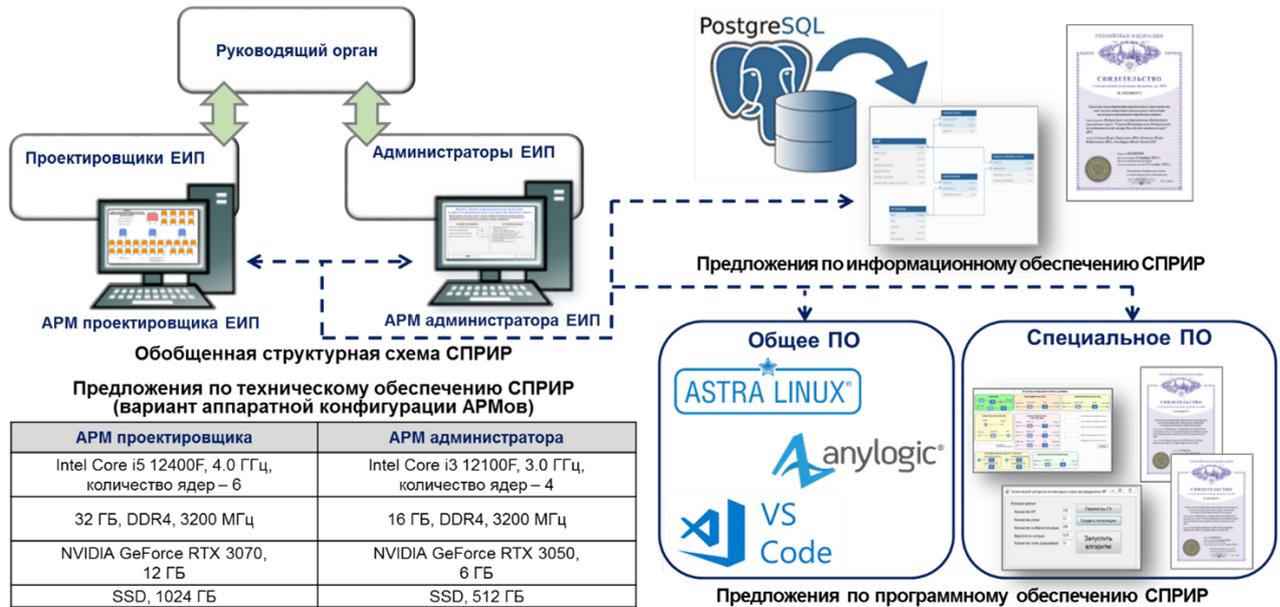


Рис. 13. Системы планирования РИР

Основу средств хранения составляют центры обработки данных (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, о котором речь пойдет далее.

Варианты аппаратной конфигурации ПЭВМ разработчика и администратора представлены на рисунке 12.

Информационное обеспечение для СПРИР 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 её эффективного функционирования.

Учитывая, что персональные компьютеры, включённые в СПРИР, работают под управлением операционной системы AstraLinux, рекомендуется применять СУБД PostgreSQL для хранения исходных данных и выходного результата методики.

Математическое обеспечение СПРИР 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].

Общее (внутреннее) математическое обеспечение:

- включает совокупность моделей, методов и алгоритмов, которые управляют работой ЭВМ независимо от конкретной системы автоматизации управления;
- это алгоритмы, реализованные в операционных системах ЭВМ и в их системах технического обслуживания.

Специальное (внешнее) математическое обеспечение:

- охватывает модели, методы и алгоритмы, которые предназначены для решения конкретных управленческих задач;
- примеры включают аналитическую модель обмена ИР в ЕИП и алгоритмы для оптимизации использования ИР в ЕИП.

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

Общее ПО обеспечивает базовые функции для работы системы и возможность взаимодействия с аппаратным обеспечением, предназна-

чено 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 специализирован-

ные 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 ПРИР в ЕИП, реализованную на языке программирования Python и основанную на применении генетического алгоритма.

Экспериментальная оценка предложенного подхода

Для оценки предложенного подхода были проведены контрольные вычислительные эксперименты для различных вариантов ПРИР до и после оптимизации (таблица 2). Результаты экспериментов показали прирост показателя своевременности на 4–27% (рис. 14). Цель исследования достигнута.

Таблица 2.

Результаты контрольных замеров

n узлов	m ИР	Начальное ПРИР	До оптимизации			После оптимизации		
			P _{св}	P _{защ}	K _г	P _{св}	P _{защ}	K _г
15	1000	X1	0,834	0,823	0,969	0,965	0,956	0,964
		X2	0,954	0,573	0,996	0,993	0,953	0,985
		X3	0,769	0,980	0,923	0,979	0,978	0,963

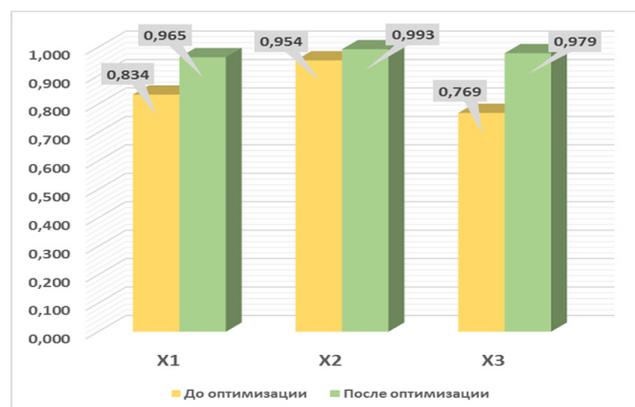


Рис. 14. Сравнение показателя своевременности до оптимизации и после

Заключение

В работе предложен подход к оптимизации ПРИР 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 ПРИР в ЕИП, основанную на использовании генетических алгоритмов. Кроме того, предложены решения по построению системы планирования ПРИР в ЕИП, использование которой на этапах проектирования и реконфигурации ЕИП позволяет повысить показатели своевременности, с учетом требований по устойчивости и безопасности, за счет оптимизации ПРИР.

Литература

1. Легков К.Е., Оркин В.В. Основные направления развития единого информационного пространства воздушно-космических сил в современных условиях // Военная мысль. 2020. № 8. С. 47–53.
2. Иванов В.Г., Гудков М.А., Лукьянчик В.Н. Единое информационное пространство Вооруженных Сил Российской Федерации - основа информационного обеспечения войск в международных вооруженных конфликтах // Военная мысль. 2023. № 5. С. 85–95.
3. Саенко И.Б., Николаев В.В., Михайличенко А.В. Распределение информационных ресурсов в едином информационном пространстве, построенном с применением мобильных центров обработки данных // «Состояние и пер-

- спективы развития современной науки по направлению «ИТ-технологии». Сборник статей I научно-технической конференции. Том 3. 2022. С. 5–11.
4. Siyuan Yang. Advancements in Network Attached Storage (NAS) for Mobile Devices: Technological Developments and Performance Assessment // Science and Technology of Engineering Chemistry and Environmental Protection. 2024. Vol. 1 No. 9. P. 1–7.
 5. Ащеулов С.В., Михайличенко Н.В., Грибков В.А., Мишутин Н.В. Центры обработки данных в автоматизированной системе обработки информации // Информационная безопасность регионов России (ИБРР-2023). XIII Санкт-Петербургская межрегиональная конференция. Материалы конференции. Санкт-Петербург, 2023. С. 123–124.
 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.
 7. Редругина Н.М. Комплекс имитационных моделей элементов рабочих процессов для транзакционных услуг инфокоммуникационных систем. // Computing, telecommunications and control. 2023. С. 29–39.
 8. Аверина Т.А. Об одном методе моделирования неоднородного пуассоновского точечного процесса. // Сибирский журнал вычислительной математики. 2022. Т. 25. № 1. С. 1–17.
 9. Ерешко Ф.И., Киселев О.И., Шевченко В.В. Опыт исследования операций и некоторые возможности его использования в оборонно-промышленном комплексе // Научный вестник оборонно-промышленного комплекса России. 2021. № 2. С. 23–31.
 10. Фабияновский И.Н. Обеспечение своевременности обмена информационными ресурсами на основе технологии распределенного реестра // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. 2021. Вып. 9. С. 184–194.
 11. Дубровина А.И. Методы защиты информации от НСД // Modern science. 2020. № 12–3. С. 241–244.
 12. Иванов С.А. Метод оценки устойчивости информационного направления, функционирующего на ресурсах сети связи с отказами // Труды учебных заведений связи. 2021. Том 7. № 4. С. 85–94.
 13. Иванищев Ю.Г., Давыдов В.М., Сарыгин А.В. Сравнительный анализ расчетных параметров регрессионной модели в зависимости от объема выборки и методики расчета дисперсий // Вестник Тихоокеанского государственного университета. 2022. № 2 (65). С. 51–60.
 14. Саймон Д. Алгоритмы эволюционной оптимизации. М.: ДМК-Пресс. 2020. С. 940.
 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.
 16. Баушев С.В. Обоснование и выбор математического аппарата при проведении научных исследований // Радионавигация и время: Труды СЗРЦ концерна ВКО "Алмаз - Антей". 2024. № 14 (22). С. 15–37.
 17. Макаров А.А. Имитационное моделирование как основа решения учебно-практических задач в условиях высшей школы // Вестник международного института рынка. 2021. № 1. С. 157–163.
 18. Мегера Ю.А. Применение программного обеспечения при решении управленческих задач в общей структуре технического обеспечения связи и автоматизированной системы управления // Техника средств связи. 2022. № 3 (159). С. 21–29.
 19. Пасечник Р.М., Табункова М.П., Королёв И.Д. Математическое обеспечение оптимизационной системы защиты информации в автоматизированных системах управления // I-METHODS. 2021. Т. 13. № 1. С. 1–10.
 20. Кубасов И.А., Стрельников Ф.И. О перспективах перехода автоматизированных информационных систем на отечественное оборудование и программное обеспечение // Стратегическое развитие системы МВД России: состояние, тенденции, перспективы. Сборник статей Международной научно-практической конференции. 2019. С. 115–118.

IMPROVING THE TIMELINESS OF THE INFORMATION RESOURCES EXCHANGE OF IN A COMMON INFORMATION SPACE

*Nikolaev V.V.*¹

Keywords: resources allocation optimization, simulation modeling, genetic algorithm, regression analysis, information resources allocation plan, information exchange, AnyLogic.

Abstract

The purpose of the work is to develop and experimentally evaluate the proposed approach to optimizing the allocation of information resources, which make up a common information space, in places of possible storage, taking into account the requirements for timeliness, stability and security.

¹Vladimir V. Nikolaev, lecturer at the Department of the Military Academy of Communications named after Marshal of the Soviet Union S.M. Budyonny, St. Petersburg, Russia. E-mail: fortune-rus@yandex.ru

Research method: conceptual, analytical and simulation approaches were used, which together allow us to calculate the probability that the average system response time to user requests is no longer than acceptable, the readiness coefficient of the common information space and the probability of the security of the common information space from unauthorized access to information resources for a given period of time.

Results: a model for the exchange of information resources has been developed and a proof of the adequacy of the model obtained by statistical methods has been presented. A methodology for optimizing the information resource allocation plan has been created, which allows, firstly, using a genetic algorithm to generate a set of preferred information resource allocation plans, and, secondly, using the simulation component of the model to select the optimal 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, namely scientific and technical proposals for the implementation of the developed models and techniques. In conclusion, an experimental assessment of the proposed approach is presented, proving its effectiveness.

Scientific novelty: the result obtained makes it possible to evaluate the indicators of the common information space, as well as to search for an optimal plan for the allocation of information resources both at the design stage and at the stage of system reconfiguration.

The practical significance of the conducted research lies in the development of technical and applied tools that make it possible to optimally allocate information resources of a common information space and increase such indicators as the probability that the average system response time to user requests is no more than acceptable, the readiness coefficient of a common information space and the probability of security of a common information space from unauthorized access to information resources for a given period the time period.

References

1. Legkov K.E., Orkin V.V. Main directions of development of a single information space of aerospace forces in modern conditions // Military Thought. 2020. No. 8. Pp. 47-53.
2. Ivanov V.G., Gudkov M.A., Lukyanchik V.N. Single information space of the Armed Forces of the Russian Federation - the basis of information support for troops in international armed conflicts // Military Thought. 2023. No. 5. Pp. 85-95.
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 // "State and prospects for the development of modern science in the direction of "IT technologies". Collection of articles of the I scientific and technical conference. Volume 3. 2022. Pp. 5-11.
4. Siyuan Yang. Advancements in Network Attached Storage (NAS) for Mobile Devices: Technological Developments and Performance Assessment // Science and Technology of Engineering Chemistry and Environmental Protection. 2024. Vol. 1 No. 9. P. 1-7.
5. Ashcheulov S.V., Mikhailichenko N.V., Gribkov V.A., Mishutin N.V. Data processing centers in an automated information processing system // Information security of the regions of Russia (IBRR-2023). XIII St. Petersburg interregional conference. Conference materials. St. Petersburg, 2023. P. 123-124.
6. Nikolaev V.V. Model of information resource exchange in a single special-purpose information space // Bulletin of Tula State University. Technical sciences. 2024. No. 2. P. 158-162.
7. Redrugina N.M. A set of simulation models of workflow elements for transaction services of infocommunication systems. // Computing, telecommunications and control. 2023. Pp. 29-39.
8. Averina T.A. On one method for modeling a non-homogeneous Poisson point process. // Siberian Journal of Computational Mathematics. 2022. Vol. 25. No. 1. Pp. 1-17.
9. Ereshko F.I., Kiselev O.I., Shevchenko V.V. Experience in operations research and some possibilities of its use in the defense-industrial complex // Scientific Bulletin of the defense-industrial complex of Russia. 2021. No. 2. Pp. 23-31.
10. Fabiyonovskiy I.N. Ensuring the timeliness of the exchange of information resources based on distributed ledger technology // Bulletin of the Tula State University. Technical sciences. 2021. Issue. 9. P. 184-194.
11. Dubrovina A.I. Methods of protecting information from unauthorized access // Modern science. 2020. No. 12-3. P. 241-244.
12. Ivanov S.A. Method for assessing the stability of an information flow operating on communication network resources with failures // Proceedings of communication educational institutions. 2021. Vol. 7. No. 4. P. 85-94.
13. Ivanishchev Yu.G., Davydov V.M., Sarygin A.V. Comparative analysis of the calculated parameters of the regression model depending on the sample size and the method for calculating variances // Bulletin of the Pacific State University. 2022. No. 2 (65). P. 51-60.
14. Simon D. Algorithms for evolutionary optimization. Moscow: DMK-Press. 2020. S. 940.
15. Bogdanov M.D., Rudinsky I.D. Using a Genetic Algorithm to Solve the Problem of Finding the Optimal Path // Bulletin of Science and Education of the North-West of Russia, 2023, Vol. 9, No. 2. P. 76-88.
16. Baushev S.V. Justification and Selection of Mathematical Apparatus in Scientific Research // Radio Navigation and Time: Proceedings of the North-West Radio Center of the Almaz-Antey Air and Space Defense Concern. 2024. No. 14 (22). P. 15-37.
17. Makarov A.A. Simulation Modeling as a Basis for Solving Educational and Practical Problems in Higher School // Bulletin of the International Market Institute. 2021. No. 1. P. 157-163.
18. Megera Yu.A. Application of software in solving management problems in the general structure of technical support for communications and an automated control system // Communication equipment. 2022. No. 3 (159). P. 21-29.
19. Pasechnik R.M., Tabunkova M.P., Korolev I.D. Mathematical support for optimizing the information security system in automated control systems // I-METHODS. 2021. Vol. 13. No. 1. P. 1-10.
20. Kubasov I.A., Strelnikov F.I. On the prospects for the transition of automated information systems to domestic equipment and software // Strategic development of the system of the Ministry of Internal Affairs of Russia: state, trends, prospects. Collection of articles of the International Scientific and Practical Conference. 2019. P. 115-118