

На правах рукописи



Маковий Катерина Александровна

**МОДЕЛИ И АЛГОРИТМЫ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ ПОДДЕРЖКИ
ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ В ПРОЦЕССЕ ФОРМИРОВАНИЯ
ИНФРАСТРУКТУРЫ ВИРТУАЛЬНЫХ КЛИЕНТСКИХ РАБОЧИХ
МЕСТ**

Специальность 2.3.1. Системный анализ, управление и обработка информации

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Воронеж – 2021

Работа выполнена в ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет»

Научный руководитель

Проскурин Дмитрий Константинович,
кандидат физико-математических наук,
доцент

Официальные оппоненты

Абрамов Геннадий Владимирович,
доктор технических наук, профессор,
федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего
образования «Воронежский
государственный университет», кафедра
математического обеспечения ЭВМ,
заведующий кафедрой

Громов Юрий Юрьевич,
доктор технических наук, профессор,
федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего
образования «Гамбовский государственный
технический университет», институт
автоматики и информационных технологий,
директор

Ведущая организация

**ФГАОУ ВО «Южный федеральный
университет»**

Защита состоится «24» сентября 2021 г. в 14 часов на заседании диссертационного совета 99.2.031.03, созданного на базе ВГТУ, ВГУ и ЛГТУ, по адресу: г. Воронеж, Московский просп., 14, ауд. 216.

С диссертацией можно ознакомиться в научной библиотеке и на официальном сайте ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет» <https://cchgeu.ru/>

Автореферат разослан «19» июля 2021г.

Ученый секретарь
диссертационного
совета 99.2.031.03



Белецкая Светлана
Юрьевна

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. Повсеместная доступность широкополосного доступа к сети Интернет, взрывной рост мощности аппаратных ресурсов компьютеров способствовали появлению новой модели предоставления вычислительных (компьютерных) ресурсов по требованию – облачных вычислений. Технологической основой облачных технологий инфраструктура как услуга¹ является платформенная виртуализация, заключающаяся в том, чтобы на одном физическом сервере запускать множество виртуальных машин. Изначально использовавшаяся для решения проблемы запуска приложений, разработанных для операционной системы (ОС), отличной от основной ОС или т.н. ОС *хоста*, а также для предотвращения влияния различных приложений друг на друга, с ростом вычислительных мощностей современных серверов платформенная виртуализация стала эффективным инструментом *консолидации серверов* для повышения степени использования ресурсов вычислительной системы.

Инфраструктура виртуальных рабочих мест (столов)² – это новое поколение облачных сервисов, рабочий стол как сервис³, в рамках которого ОС пользователей выполняются в облачном центре обработки данных (ЦОД) или на серверах организации, а для доставки визуального образа на клиентское устройство используются специальные сетевые протоколы. Масштабное изменение принципов функционирования клиентских рабочих мест является серьезным шагом по модификации привычного способа работы, предоставляя значительные преимущества централизации и контролируемости ИТ-инфраструктуры, что обеспечивает хорошую базу для развития информационной среды и помогает двигаться в сторону цифровой трансформации.

В то время как использование виртуализации серверов стало стандартом де-факто в ЦОДах и в организациях, поддерживающих собственную серверную инфраструктуру, виртуализация клиентских рабочих мест все еще новая технология, повсеместное распространение которой тормозится высокой стоимостью и сложностью процесса ее внедрения. Это связано с тем, что преобразование ИТ-инфраструктуры задействует конечных пользователей и предполагает масштабные изменения по переносу вычислительной мощности с клиентского устройства на сервер, то есть может рассматриваться как масштабный ИТ-проект, требующий разработки и обоснования этапов внедрения и создания эффективных математических моделей для применения на каждом из этапов. Применение данной технологии значительно уменьшает требования к клиентскому устройству, но требует формирования серверной инфраструктуры для выполнения виртуальных машин конечных пользователей. Одной из значительных статей расходов в проекте внедрения виртуализированных рабочих мест является закупка серверного оборудования,

¹ Infrastructure as a Service (англ.)

² Virtual Desktop Infrastructure (англ.)

³ Desktop as a Service (англ.)

поэтому разработка модели оптимизации серверной инфраструктуры для снижения стоимости закупаемого серверного оборудования представляется актуальной задачей. Серверная инфраструктура для виртуальных рабочих мест может рассматриваться как техническая система, состоящая из некоторого множества элементов, связанных друг с другом и влияющих друг на друга и функционирование системы в целом и представляет собой задачу синтеза аппаратной конфигурации результирующей технической системы.

В результате внедрения облачных технологий в организации возникает множество эффектов: технологических, социальных и, в итоге, экономических (через несколько лет совокупные затраты на проект становятся значительно меньше, чем затраты в его отсутствие), которые благотворно отражаются на ее деятельности. Проект по формированию инфраструктуры виртуальных рабочих мест нуждается в разработке и обосновании методов поддержки принятия решений на каждом из этапов для повышения эффективности и степени независимости от субъективных суждений.

Отдельной проблемой является формирование стратегии, учитывающей степень внедрения технологии для замены существующих клиентских рабочих мест. С одной стороны, увеличение количества виртуализируемых рабочих мест снижает стоимость замены каждого, а с другой, увеличивает сложности, связанные с различными техническими требованиями к клиентским рабочим местам: разный набор программного обеспечения (ПО), использование графических приложений и т. д. Необходимо также учитывать степень удовлетворенности пользователей и сотрудников результатами пилотного проекта. Выбор между различными вариантами внедрения является сложной задачей, для которой также необходимо разрабатывать модели и алгоритмы решения.

Степень разработанности темы диссертации. Вопросами построения моделей оптимизации аппаратных ресурсов в области применения виртуализации и облачных технологий занимались зарубежные ученые М. Бихлер, Б. Спейткамп, А. Волке, Т. Сетзер, С. Мastroяни, Р.Б. Белоглазов, а также российские ученые Г.И. Линец, В.М. Мочалов, П.А. Рахман. Особенность решаемых ими задач состоит в размещении разных виртуальных машин (ВМ), т.н. «сервисов», на наборе одинаковых аппаратных платформ, в то время как задача подбора оборудования для гарантированного выполнения заданного количества виртуальных рабочих столов до сих пор не решалась. Различные аспекты виртуализации и облачных технологий рассматриваются в работах зарубежных ученых М. Клемента, М. Эрскина, российских ученых Д.Т. Каледы, А.М. Шабалина, И.П. Болодуриной, Д.И. Парфенова. В научной литературе представлены примеры внедрения технологии виртуализации в различных организациях, например, в работах П.С. Костенецкого, А.Н. Данилевского, и анализ различных аспектов технологии виртуализации рабочих мест в работах В.Н. Шурыгина, В.М. Стасышина, Л. Дебусере. Модели поддержки принятия решений при внедрении облачных технологий рассматриваются в работах А.А. Захаровой, С.В. Разумникова. Однако задачи принятия решений на разных этапах формирования инфраструктуры виртуальных рабочих мест не были

рассмотрены. Широкое распространение инновационных стратегий развития ИТ-инфраструктуры сдерживается в значительной мере отсутствием разработанных этапов, оценки необходимых ресурсов и программного обеспечения интеллектуализации процесса внедрения.

Цель и задачи исследования. Целью работы является разработка моделей и алгоритмов поддержки принятия решений в процессе формирования инфраструктуры виртуальных рабочих мест, предоставляющей техническую основу для внедрения облачных технологий в деятельность организации.

Для достижения цели решаются следующие **задачи**:

1. Разработка и обоснование этапов процесса внедрения инфраструктуры виртуальных клиентских рабочих мест в деятельность организации;
2. Разработка модели и алгоритма оптимизации для решения задачи подбора аппаратных ресурсов, необходимых для виртуализации рабочих мест;
3. Формализация выбора объекта ИТ-инфраструктуры для пилотного проекта, а также выбора стратегии развертывания инфраструктуры виртуальных рабочих мест по его результатам;
4. Разработка программного обеспечения решения оптимизационной задачи подбора аппаратных серверных ресурсов для реализации проекта внедрения виртуализации рабочих мест в ИТ-инфраструктуру.

Объектом исследования является инфраструктура виртуальных рабочих мест.

Предмет исследования – процесс формирования инфраструктуры виртуальных рабочих мест в организации.

Методы исследования. При выполнении диссертационной работы использовались методы системного анализа и синтеза, метод анализа иерархий, математическое программирование, целочисленное линейное программирование, генетический алгоритм, методы математического моделирования и вычислительного эксперимента.

Научная новизна. В диссертации получены следующие результаты, характеризующиеся научной новизной:

1. Обоснование этапов процесса формирования инфраструктуры виртуальных рабочих мест, отличающихся использованием моделей и алгоритмов интеллектуализации каждого из этапов.
2. Модель оптимизации аппаратных ресурсов организации по критерию минимума стоимости оборудования при внедрении технологии виртуализации рабочих мест, отличающаяся рассмотрением множества серверов с различными аппаратными ресурсами, что позволяет сократить затраты на первом этапе внедрения VDI.
3. Модифицированный генетический алгоритм (ГА), предназначенный для решения задачи оптимизации аппаратных ресурсов при внедрении технологии виртуализации рабочих мест. ГА отличается способом кодирования, использованием ранговой селекции совместно с элитарной стратегией и генетического банка для решения проблемы попадания в локальные экстремумы в процессе поиска решения.

4. Способ приведения задачи целочисленного нелинейного программирования, которой является задача оптимизации аппаратных ресурсов организации при формировании инфраструктуры виртуальных клиентских рабочих станций, отличающаяся декомпозицией исходной задачи и ее сведением к двум задачам целочисленного линейного программирования.

5. Формализация выбора объекта для реализации пилотного проекта развертывания технологии виртуализации рабочих мест, отличающаяся применением модификации метода анализа иерархий, вычленение основных факторов, влияющих на выбор.

6. Модификация методов и алгоритмов взаимодействия SWOT-анализа и метода анализа иерархий для решения задачи принятия решения о целесообразности внедрения технологии VDI в ИТ-инфраструктуру, отличающаяся факторами внутренней и внешней среды, что позволило устранить недостатки, связанные с отсутствием количественных оценок при использовании SWOT анализа.

Теоретическая значимость исследования заключается в развитии и конкретизации подходов интеллектуализации процесса реализации крупных инфраструктурных ИТ-проектов, связанных с формированием инфраструктуры виртуальных клиентских рабочих мест.

Практическая ценность работы заключается в следующем:

- разработаны и обоснованы этапы процесса внедрения виртуализации рабочих мест, определены методы и алгоритмы, которые могут быть применены в процессе принятия управленческих решений в технической системе, которой является инфраструктура виртуальных рабочих мест;
- разработаны программные модули для решения оптимизационной задачи подбора аппаратных серверных ресурсов с помощью генетического алгоритма и методов линейного программирования.

Реализация и внедрение результатов работы. В рамках диссертационной работы разработаны и зарегистрированы программы для ЭВМ: «Подбор оптимальной конфигурации серверных платформ и моделей памяти для внедрения VDI» (свидетельство № 2018660335 о регистрации программы для ЭВМ от 22.08.2018 г.), «Программа расчета серверных ресурсов для внедрения VDI с помощью генетического алгоритма» (свидетельство №2019663956 о регистрации программы для ЭВМ от 20.11.2019 г.).

Результаты диссертационного исследования внедрены в деятельность управления информационных технологий ВГТУ.

Материалы диссертации нашли применение в учебном процессе при преподавании дисциплин «Операционные системы», «Администрирование в информационных системах», «Облачные технологии хранения и обработки данных».

Апробация работы. Основные результаты работы докладывались и обсуждались на научных конференциях различного уровня: Международной научно-технической конференции «Актуальные проблемы прикладной математики, информатики и механики» (Воронеж, 2015 – 2018), Международной конференции и молодежной школе "ИТНТ" (Самара, 2017-2018), XII

Международной научно-практической конференции «Современные информационные технологии и ИТ-образование» (Москва, 2017), Всероссийской конференции с международным участием «Интеллектуальные информационные системы» (Воронеж, 2017,-2018), Международной научно-технической конференции «Информационные технологии в науке, образовании и производстве» (Белгород, 2018), Международной научно-технической конференции "Автоматизация" (Сочи, 2019), V Международной научно-практической конференции «Актуальные вопросы современной науки: теория, методология, практика, инноватика» (Уфа, 2021), научно-практических конференциях профессорско-преподавательского состава Воронежского государственного технического университета (2019, 2021).

Публикации. По теме диссертационного исследования опубликовано 28 работ, среди которых 5 статей в журналах из перечня ВАК РФ, 5 научных публикаций представлены в изданиях, индексируемых Scopus и Web of Science, 16 публикаций в материалах международных и всероссийских научно-технических конференций и рецензируемых журналах, получено 2 свидетельства о регистрации программ в ФИПС.

В работах, выполненных в соавторстве, лично соискателю принадлежат следующие результаты: [1, 9, 24, 27] – предварительный анализ затрат на формирование инфраструктуры виртуальных клиентских рабочих мест, [3, 6, 12] – модель оптимизации аппаратных ресурсов при внедрении виртуализации клиентских рабочих мест, а также метод приведения задачи целочисленного нелинейного программирования методом декомпозиции к двум задачам целочисленного линейного программирования, [5, 7, 22] – модифицированный ГА и программная реализация задачи оптимизации аппаратных ресурсов для инфраструктуры виртуальных рабочих мест, [2, 14-15, 18, 21, 26] – формализация выбора объекта ИТ-инфраструктуры для пилотного проекта, [10-11, 16, 17, 20] – анализ результатов реализации пилотного проекта в ВГТУ, [4, 8, 23, 25] – модель и алгоритм выбора стратегии внедрения виртуальных клиентских рабочих мест.

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения и списка литературы из 135 наименований, 3 приложений, содержит 22 рисунка и 17 таблиц. Основной текст работы составляет 141 страницу, общий объем – 148 страниц.

Основные положения, выносимые на защиту:

1. Формализация и постановка задачи интеллектуализации процесса формирования инфраструктуры виртуальных клиентских рабочих мест.

2. Модель оптимизации аппаратных ресурсов организации при формировании инфраструктуры виртуальных клиентских рабочих мест.

3. Модифицированный генетический алгоритм, предназначенный для решения задачи оптимизации аппаратных ресурсов организации при внедрении технологии виртуализации рабочих мест, а также программное обеспечение, реализующее этот алгоритм.

4. Способ приведения задачи целочисленного нелинейного программирования, которой является задача оптимизации для выбора серверных

ресурсов при формировании инфраструктуры виртуальных клиентских рабочих мест, к двум задачам ЦЛП, а также соответствующее программное обеспечение.

5. Модифицированный алгоритм выбора элемента инфраструктуры для внедрения «пилотного проекта» инфраструктуры виртуальных мест.

6. Формализация выбора стратегии внедрения инфраструктуры виртуальных рабочих мест по результатам пилотного проекта с использованием алгоритма взаимодействия SWOT-анализа и метода анализа иерархий с использованием разработанных факторов внутренней и внешней среды.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении дается обоснование актуальности темы, формулируются цели и задачи, раскрывается научная новизна и практическая значимость полученных результатов.

В первой главе проведен анализ концепции виртуализации и предложена классификация видов виртуализации операционных систем по следующим основаниям: по типу технической реализации, по степени реализации, по объекту виртуализации.

Проведен анализ подходов к построению математических моделей, используемых для решения проблемы размещения ВМ на аппаратных серверах, и показано, что хорошие результаты дает использование биоинспирированных алгоритмов и целочисленного математического программирования, определены ограничения используемых подходов.

Интеллектуализация процесса виртуализации рабочих мест подразумевает использование математических методов поддержки принятия решений, среди которых как наиболее подходящие для дальнейшего использования выявлены следующие: метод анализа иерархий (МАИ), SWOT – анализ и различные их комбинации и модификации.

Во второй главе выделены три этапа формирования инфраструктуры виртуальных клиентских рабочих мест в соответствии с рекомендациями вендоров и методологическим подходом к управлению ИТ-проектами. На каждом из этапов используются созданные автором математические модели оптимизации и поддержки принятия решений для обеспечения интеллектуализации процесса внедрения (рис. 1).

На первом этапе **«Оценка затрат. Подбор оборудования для закупки»** проводится первоначальная оценка количества рабочих мест, на которых представляется целесообразным заменить локальную операционную систему с комплектом установленных приложений на виртуализированное клиентское рабочее место, после чего возникает задача закупки дополнительного серверного оборудования в ЦОД. Разработанная математическая модель позволяет осуществить выбор моделей серверных платформ и комбинаций дополнительных модулей оперативной памяти (ОЗУ) на них таким образом, чтобы минимизировать стоимость оборудования при условии обеспечения работы заданного количества ВМ с заранее определенным объемом ОЗУ.

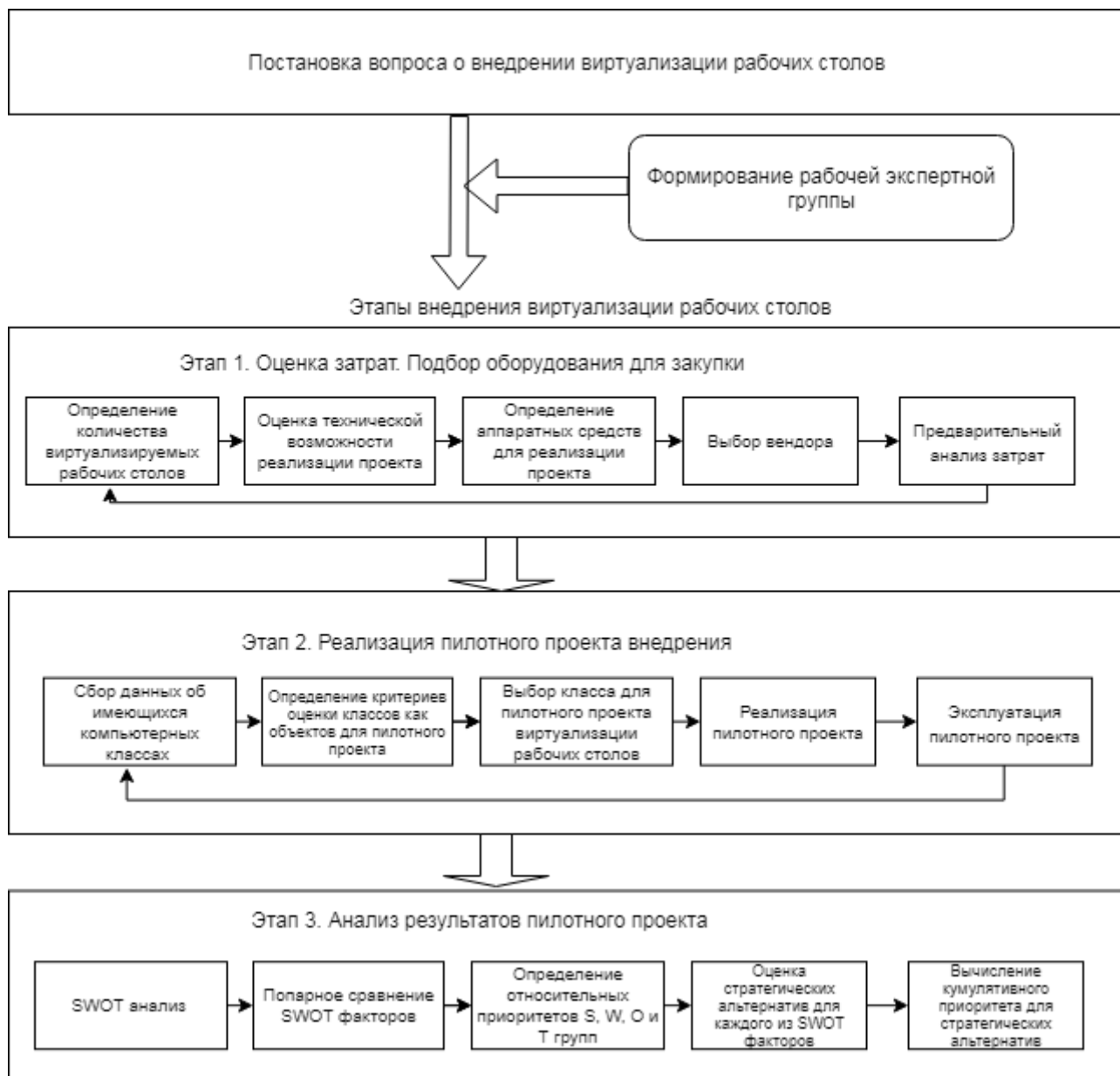


Рис. 1. Структурная схема процесса формирования инфраструктуры виртуальных клиентских рабочих мест

Введем следующие обозначения для описания модели:

S – множество серверных платформ $s_i \in S, i=1..m$, на базе которых путем добавления модулей ОЗУ комплектуются аппаратные серверы;

C – множество стоимостей серверных платформ, где $c_i \in C, i=1..m$ – стоимость платформы s_i ;

N – число серверов на базе серверной платформы s_i , которое будет использоваться в конечном наборе $n_i \in N, i = 1..m$;

M – максимальный объем ОЗУ, который может быть добавлен к серверной платформе $s_i, m_i \in M, i = 1..m$;

R – объем памяти j -го модуля, $r_j \in R, j=1..k$, где k – это количество типов модулей ОЗУ;

Cv – стоимость j -го модуля ОЗУ, $c_{v_j} \in Cv, j=1..k$;

P – число слотов ОЗУ серверной платформы $s_i, p_i \in P, i = 1..m$.

В качестве целевой функции (F) берется стоимость всех аппаратных серверов из конечного набора. Стоимость каждого сервера складывается из стоимости базовой серверной платформы (c_i) и стоимости дополнительных модулей ОЗУ ($\sum_{j=1}^k c_{vj} a_{ji}$), где a_{ji} - число модулей памяти типа j на сервере i . Каждая из платформ может встречаться в конечном наборе многократно, так что в результирующем наборе могут быть одинаковые платформы с различными вариантами заполнения модулями памяти, таким образом,

$$F = \sum_{l=1}^q \sum_{i=1}^m (c_i + \sum_{j=1}^k c_{vj} a_{ji}) n_{il}, \quad (1)$$

где q – общее число вариантов заполнения слотов модулями памяти всех серверных платформ – является суммой числа вариантов q_i для каждой серверной платформы s_i : $q = \sum_{i=1}^m q_i$, а $q_i = \tilde{C}_{k+1}^{p_i} = \frac{(k+p_i)!}{p_i! k!}$ представляет собой количество сочетаний с повторениями из числа вариантов ($k+1$) устанавливаемых модулей ОЗУ (включая вариант, когда слот остается пустым) по числу слотов памяти p_i на серверной платформе s_i .

Сформулируем ограничения задачи оптимизации:

1. Общий объем модулей ОЗУ, добавляемых к серверной платформе, не должен превышать максимальный поддерживаемый объем:

$$\sum_{j=1}^k r_j a_{ji} \leq m_i, \quad i=1..n, \quad (2)$$

2. Общее число добавляемых модулей памяти не может превышать количество слотов, размещенных на серверной платформе:

$$\sum_{j=1}^k a_{ji} \leq p_i, \quad i=1..n. \quad (3)$$

3. Общий объем памяти на всех серверах должен обеспечивать достаточный объем ОЗУ для работы заданного числа виртуальных машин:

$$\sum_{i=1}^m ((\sum_{j=1}^k r_j a_{ji}) / V) \geq N_V, \quad (4)$$

где N_V – это количество заданных ВМ, каждая из которых использует объем памяти V .

4. Требование целочисленности количества серверов и модулей памяти:

$$n_{il}, a_{ji} \geq 0, \quad n_{il}, a_{ji} \text{ – целые.} \quad (5)$$

Задача минимизации целевой функции (1) с учетом ограничений (2–5) представляет собой оптимизационную задачу, которую относят к классу NP-трудных задач, решение которой было выполнено с использованием двух разных эвристических подходов: генетического алгоритма и сведения к двум задачам целочисленного линейного программирования, решаемым методом ветвей и границ.

В отличие от классического ГА, для кодировки хромосом используется одномерный массив или список всех возможных вариантов комплектаций серверов, элементами которого являются структуры данных (рис. 2). Количество генов в хромосоме равно q . Внутри i -й хромосомы номер k локуса гена x_k^i соответствует порядковому номеру в списке вариантов комплектаций, а значение гена – количеству серверов данного варианта комплектации. Все возможные комбинации комплектаций серверных платформ, удовлетворяющие ограничениям (2–5), составляют популяцию размером Pop в терминологии ГА. В

качестве фитнес-функции используется выражение (1), определяющее стоимость решения.



Рис. 2. Кодирование хромосомы

Начальная популяция формируется случайным образом так, чтобы каждая хромосома соответствовала ограничению (4), в специальную структуру данных заносится номер поколения хромосомы (G). Для генерации потомков определены операторы кроссинговера, случайной и направленной мутации. Оператор одноточечного кроссинговера применяется к ста хромосомам популяции с наилучшим значением фитнес-функции. Оператор случайной мутации добавляет единицу в случайно выбранный ген. Направленная мутация заключается в поиске среди непустых локусов гена с минимальным соотношением цена/объем памяти и добавлением к его значению единицы и локуса с максимальным соотношением цена/объем памяти и вычитанием из его значения единицы. Элитарная стратегия реализуется через генетический банк лучших решений каждого поколения, что снижает вероятность попадания в локальные оптимумы. Лучшая особь из генетического банка выбирается в качестве решения задачи. Экспериментально установлено, что в большинстве случаев не имеет смысла использовать более пятидесяти поколений.

В качестве альтернативного подхода к решению задачи минимизации целевой функции (1) предложено использовать декомпозицию задачи нелинейного целочисленного программирования на две задачи линейного целочисленного программирования. Для этого из общей задачи нахождения конфигурации оборудования с минимальной стоимостью выделяется задача поиска вариантов комплектования серверных платформ модулями ОЗУ для достижения определенной, заранее заданной степени заполнения общего объема поддерживаемой памяти.

В работе рассмотрен шаг 25%, в результате чего получаются варианты с заполнением максимально поддерживаемого объема ОЗУ на 25%, 50%, 75% и 100%. Для каждого варианта решается задача комплектования модулями ОЗУ

при условии минимизации стоимости, что можно сформулировать следующим образом:

$$C_{v_i}^d = \min \sum_{j=1}^k c_{vj} a_{ji} \quad (6)$$

$$\text{с учетом следующих ограничений: } \begin{cases} \sum_{j=1}^k r_j a_{ji} = m_i d \\ \sum_{i=1}^k a_{ji} \leq p_i \end{cases}, i=1..m \quad (7)$$

где d – (*degree*) степень заполнения, которая может быть 0,25, 0,5, 0,75 и 1, шаг заполнения обозначим s , в нашем случае это будет 0,25. Совокупность полученных решений составит новое множество аппаратных платформ C' с неизменными характеристиками ОЗУ, мощность которого в $1/s$ раз больше мощности первоначального множества. Соответствующую задачу можно сформулировать следующим образом: $F_1 = \min \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^{1/s} (c_i + c_{v_i}^{q_j}) n_i$, где $c_{v_i}^{q_j}$ – это результат (6) с учетом ограничений (7). Для полученных задач целочисленного линейного программирования подходит метод ветвей и границ.

На втором этапе «**Реализация пилотного проекта внедрения**» производят выбор объекта ИТ-инфраструктуры для реализации пилотного проекта и тестовую эксплуатацию. Выделены технические параметры для характеристики объекта с точки зрения его оптимальности: объем ОЗУ, процессор, диск, скорость подключения к сети, количество транзитных коммутаторов до сервера, число сетевых устройств на порту магистрального коммутатора в ядре сети, физическая удаленность объекта от места нахождения персонала, условная легкость доступа в помещение. Выделенные параметры используются как критерии, а помещения, являющиеся кандидатами на развертывание пилотного проекта VDI, как альтернативы. Общий алгоритм приведен на рис. 3.

На первом этапе эксперт должен оценить попарно все критерии и заполнить обратно-симметричную матрицу парных сравнений критериев, по которой рассчитываются нормированные веса критериев:

$$W_i = \sqrt[N_c]{\prod_{j=1}^{N_c} C_{ij}}, \quad (8)$$

$$N_{w_i} = \frac{\sqrt[N_c]{W_i}}{\sum_{i=1}^{N_c} W_i}, \quad (9)$$

где W_i , – вектор приоритета критериев, C_{ij} – элементы матрицы парных сравнений критериев N_{w_i} – вектор нормированных весов критериев.

На втором этапе формируется матрица оценок альтернатив по критериям с элементами a_{ij} , на основании которой с использованием нормированных весов критериев (8) рассчитывается рейтинг альтернатив $Rate_i$:

$$Rate_i = \frac{\prod_{j=1}^{N_c} a_{ij}^{N_{w_j}}}{\sum_{i=1}^{N_a} R_i}. \quad (10)$$

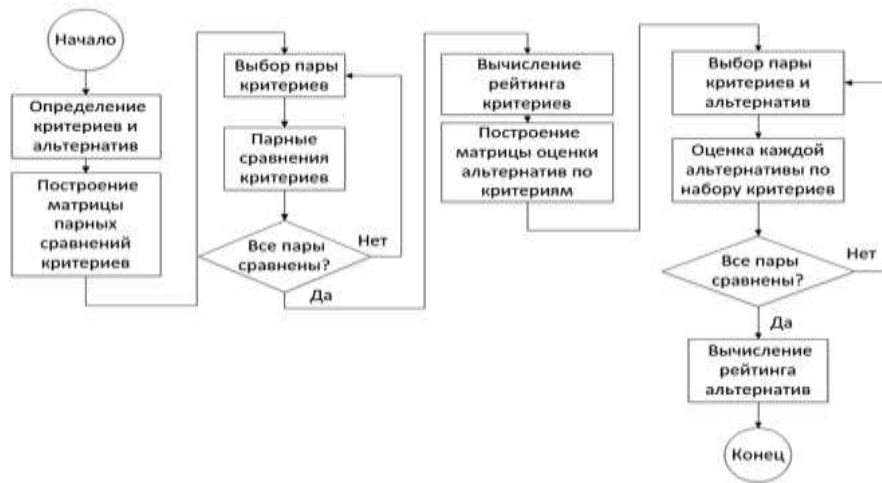


Рис. 3. Алгоритм метода гибридных оценок (МГО)

Оценка согласованности матрицы парных сравнений критериев выполняется с помощью т.н. индекса согласованности, который был рассчитан для матриц большей размерности, в то время как в литературе приведены его значения для размерности матрицы до 6×6 .

На третьем этапе «Анализ результатов пилотного проекта» автором предложено использовать комбинацию SWOT-анализа и МАИ для формирования стратегических альтернатив развития проекта по результатам оценки экспертами итогов пилотного проекта и вычисления кумулятивного приоритета для каждой из стратегических альтернатив.

Для данного этапа были разработаны четыре группы SWOT факторов (s_i – факторы сильных сторон проекта, w_i – факторы слабых сторон проекта, o_i – факторы возможностей проекта, t_i – факторы угроз проекта).

По результатам опроса экспертов, в качестве которых выступают участвующие в пилотном проекте пользователи, ИТ-специалисты и руководители, получают экспертные оценки значимости групп факторов, факторов внутри группы и влияния факторов на альтернативы, которые обрабатываются согласно МАИ.

В третьей главе описана программная реализация решения задачи подбора аппаратных серверных ресурсов. Предложено два варианта, основанных на разных методах: ГА и методе ветвей и границ, которым решаются две задачи, полученные декомпозицией задачи нелинейного целочисленного программирования.

Программа, реализующая ГА, написана на кроссплатформенном объектно-ориентированном языке программирования Java 8. Алгоритм программы схематично представлен на рис. 4. Основные параметры ГА были следующие: размер популяции – 3000, 50 поколений, процент случайных и направленных мутаций – 15, расчеты показывают хорошую повторяемость результатов.

Для решения задачи методом ветвей и границ была разработана программа в системе компьютерной математики Matlab, использующая функцию `linprog`, реализующую метод ветвей и границ. Решение задачи состоит из двух этапов.

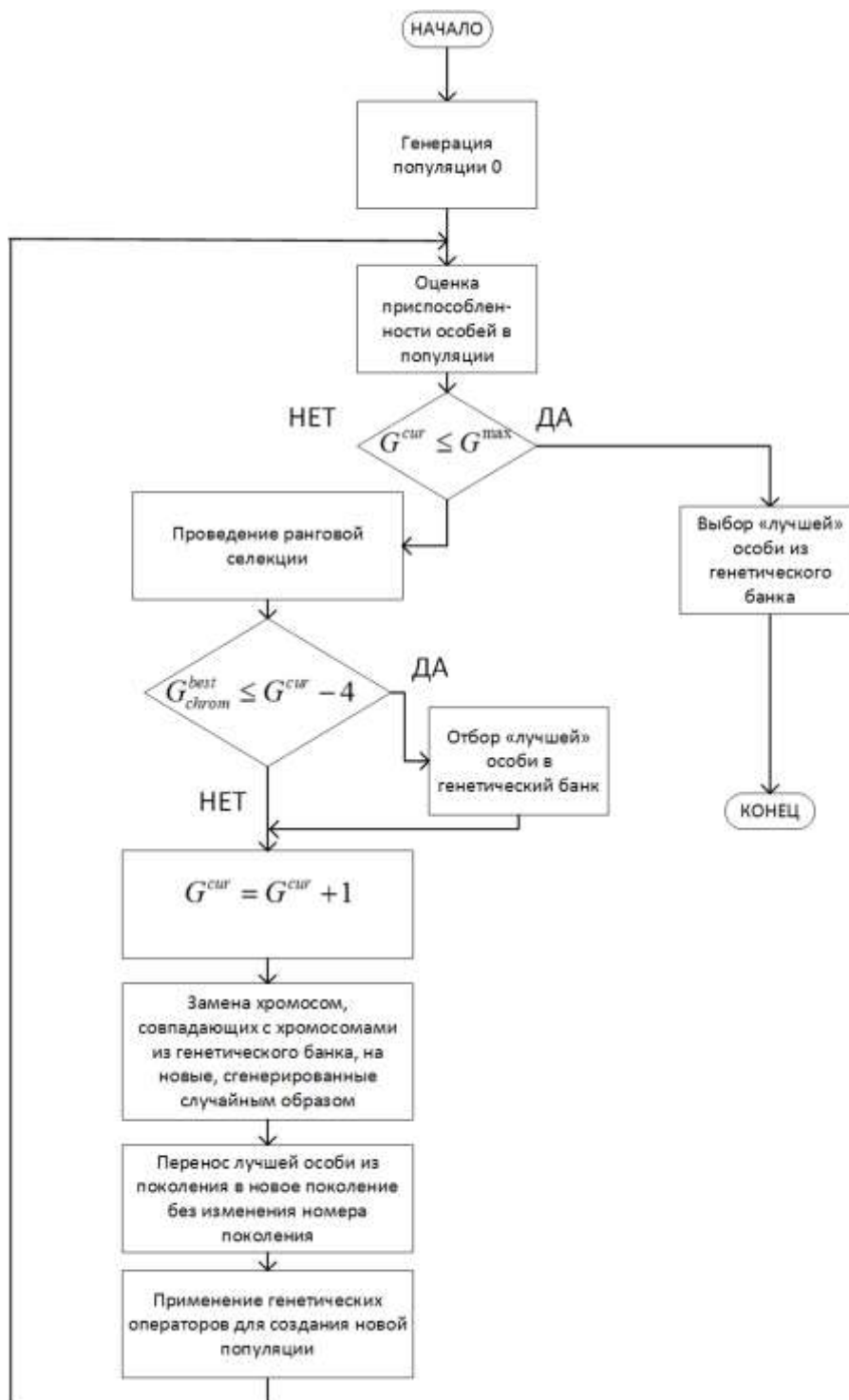


Рис. 4. Схема работы модифицированного ГА

На первом этапе решается задача подбора модулей памяти для каждой серверной платформы, чтобы обеспечить 4 варианта заполнения, на заданную степень от максимально поддерживаемого объема ОЗУ с учетом минимизации стоимости. На втором этапе происходит подбор аппаратных платформ из полученного на первом шаге списка конфигураций так, чтобы при минимальной итоговой стоимости (2.4) обеспечить работу требуемого числа ВМ с известными потребностями в ОЗУ. Решение представляет собой вектор $S = \{s_1, s_2 \dots s_n\}$, где s_i – количество аппаратных платформ типа $i = 1..n$ из множества полученных решений на первом этапе.

Оба разработанных приложения обеспечивают решение задачи синтеза аппаратной конфигурации серверной инфраструктуры, обеспечивающей одновременную работу заданного количества виртуализированных рабочих мест при условии минимизации стоимости.

В четвертой главе представлены результаты применения методики внедрения VDI в ИТ-инфраструктуру на примере ВГТУ: решения оптимизационной задачи подбора аппаратных серверных ресурсов двумя алгоритмами; результаты выбора объекта для реализации пилотного проекта VDI; технико-экономическое обоснование внедрения VDI; оценка результатов пилотного проекта с помощью алгоритма комплексного взаимодействия SWOT-анализа и МАИ.

В табл. 1-2 приводятся результаты решения оптимизационной задачи размещения 1000 VM, требующих по 4 Гб ОЗУ каждая, при условии выбора первых 15 серверов из списка серверов. Основные параметры расчета с помощью генетического алгоритма были следующие: размер популяции – 4000, 300 поколений, процент случайных мутаций – 10% и направленных мутаций – 15%.

Таблица 1

Для 1000 VM 15 серверов, линейное программирование

№	Наименование	Заполнение	Процессор	Кол-во	Кол-во планок 2 Гб	Кол-во планок 4 Гб	Кол-во планок 8 Гб	Кол-во планок 16 Гб	Кол-во планок 32 Гб	Стоимость
2	ML150 Gen9 Hot Plug	50%	E5-2609v3 - 1.90	1	0	0	1	13	1	6850
13	ML350 Gen9	75%	E5-2609v3 - 1.90	1	4	0	0	17	0	7969
13	ML350 Gen9	100%	E5-2609v3 - 1.90	9	0	0	1	21	1	10180
Общая стоимость			106439 USD							
Общий объем ОЗУ			3870 Гб							

Таблица 2

Для 1000 VM 15 серверов, генетический алгоритм

№	Наименование	Процессор	Кол-во	Кол-во планок 2 Гб	Кол-во планок 4 Гб	Кол-во планок 8 Гб	Кол-во планок 16 Гб	Кол-во планок 32 Гб	Стоимость	
1	ML150 Gen9 NHP	E5-2603v3 - 1.60	1	0	0	0	6	6	8510	
1	ML150 Gen9 NHP	E5-2603v3 - 1.60	5	0	0	0	6	8	10190	
1	ML150 Gen9 NHP	E5-2603v3 - 1.60	7	0	0	0	10	2	6410	
13	ML350 Gen9	E5-2609v3 - 1.90	1	0	1	3	17	1	9486	
Общая стоимость		113816 USD								
Общий объем ОЗУ		4008 Гб								

Расчеты, проведенные для различных количеств ВМ на варьируемом наборе серверных платформ, показывают хорошее совпадение результатов, полученных генетическим алгоритмом и методом ветвей и границ, что подтверждает достоверность полученных результатов.

Расходы, понесенные организацией и используемые для расчета полной стоимости проекта виртуализации, могут быть структурированы следующим образом: капитальные затраты и текущие затраты. Расчёт этих типов затрат показал, что экономия при реализации проекта виртуализации значительна для образовательной организации. За три года реализации проекта экономия составит 2948,4 тыс. рублей, причем ее значительная часть приходится на первоначальные затраты – 1170 тыс. рублей.

Стратегические альтернативы внедрения VDI, предложенные автором на основе SWOT- факторов, возможностей виртуализации и приоритетов развития организации, показаны в табл. 3.

Таблица 3

Стратегические альтернативы внедрения VDI по результатам пилотного проекта

SO	Внедрять виртуальные рабочие места на всем подмножестве типовых клиентских рабочих мест организации.
WO	Внедрять виртуальные рабочие места только на старых компьютерах, подлежащих списанию. Снова задействовать их в качестве клиентских рабочих мест.
ST	Внедрять виртуальные рабочие места на компьютерах, где не используются графические приложения, требующие больших вычислительных ресурсов.
WT	Не внедрять виртуальные рабочие места больше, чем внедрено в рамках пилотного проекта, то есть оставить в качестве тестовой лаборатории для учебных целей.

Проведена оценка результативности пилотного проекта методом взаимодействия МАИ и SWOT – анализа (рис. 5).

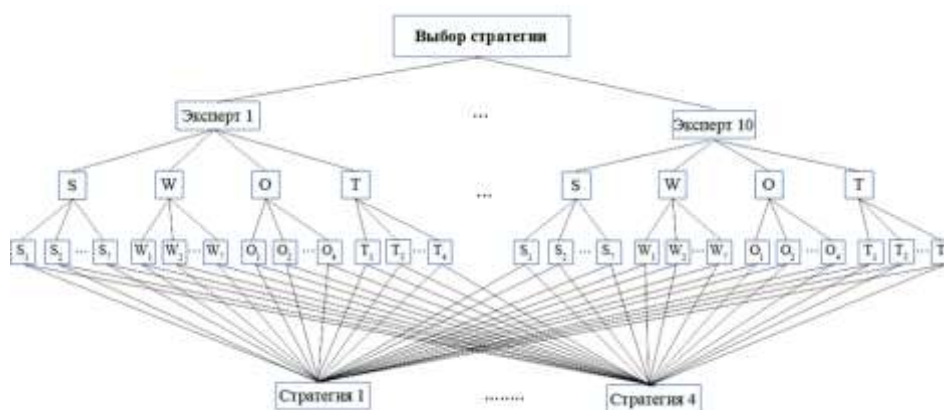


Рис. 5. Комбинация МАИ и SWOT – анализа

Получено, что наиболее оптимальной стратегией внедрения VDI является стратегия виртуализации рабочих столов на компьютерах, где не требуется использование графических приложений. Реализация данной стратегии позволит снизить ряд затрат на информационное обеспечение, увеличить гибкость информационной инфраструктуры, повысить уровень отказоустойчивости.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В диссертации получены следующие результаты.

1. Разработана структурная схема интеллектуализации процесса внедрения инфраструктуры виртуальных рабочих мест, основанная на предложенных этапах внедрения VDI, которые включают в себя анализ затрат, где предварительно рассчитывается планируемая эффективность проекта, внедрение пилотного проекта виртуализации рабочих мест, мониторинг производительности и степени удовлетворённости пользователей и сотрудников, осуществляющих поддержку данного решения, окончательное внедрение там, где необходима модернизация.

2. Предложена модель оптимизации аппаратных ресурсов организации при внедрении технологии виртуализации рабочих мест. Предложенная модель позволяет определить технические характеристики и количество серверов из заранее определенного множества с изменяемой конфигурацией оперативной памяти, при этом минимизировать затраты на этапе закупки оборудования.

3. Разработан модифицированный генетический алгоритм и разработано программное обеспечение для решения задачи оптимизации аппаратных ресурсов организации при внедрении технологии виртуализации рабочих мест.

4. Предложен способ приведения задачи целочисленного нелинейного программирования, которой является задача оптимизации аппаратных ресурсов организации при формировании инфраструктуры виртуальных рабочих мест методом декомпозиции к двум задачам целочисленного линейного программирования, которые решаются методом ветвей и границ, а также разработано соответствующее программное обеспечение.

5. Формализован выбор объекта для реализации пилотного проекта формирования инфраструктуры виртуальных рабочих мест, вычленены основные факторы, влияющие на выбор, и алгоритм решения задачи с помощью модификации метода анализа иерархий.

6. Предложено использовать алгоритмы взаимодействия SWOT-анализа и метода анализа иерархий для получения количественных оценок в процессе принятия решения о выборе стратегии внедрения технологии VDI в ИТ-инфраструктуру, сформулированы критерии, являющиеся факторами внутренней и внешней среды.

Рекомендации по использованию. Предложенные автором модели и алгоритмы интеллектуализации процесса формирования инфраструктуры виртуальных рабочих мест рекомендуется использовать при необходимости оценки целесообразности использования, анализе затрат и принятии стратегических решений о внедрении технологии VDI в ИТ-инфраструктуру различных организаций, например, организаций сферы образования.

Перспективы дальнейшего развития связаны с исследованием возможности дифференцирования требований сервисов к ресурсам виртуальных клиентских рабочих мест и использования прогнозирования загрузки серверной инфраструктуры. Кроме того, интерес представляет детализация этапов формирования виртуализированной инфраструктуры, а также разработка

комплексного программного обеспечения поддержки принятия решений в процессе внедрения технологии VDI.

Основные результаты диссертации опубликованы в следующих работах:

Публикации в изданиях, рекомендованных ВАК РФ

1. Маковий К. А. Экономическое обоснование внедрения технологии виртуализации рабочих столов (Virtual Desktop Infrastructure) в ИТ-инфраструктуру высшего учебного заведения / К. А. Маковий, Ю. В. Хицкова // Современная экономика: проблемы и решения. – 2015. – № 2 (62). – С. 75 – 81.

2. Маковий К. А. Использование технологии АНР в процессе внедрения VDI / К. А. Маковий, С. А. Ермаков, Ю. В. Хицкова // Теория и техника радиосвязи. – 2016. – № 1. – С. 107-111.

3. Проскурин Д. К. Задача выбора серверных ресурсов для внедрения инфраструктуры виртуальных рабочих столов / Д. К. Проскурин, К. А. Маковий // Вестник Воронежского государственного технического университета. – 2017. – Т. 13. – № 4. – С. 26-32.

4. Маковий К. А. Использование метода анализа иерархий при выборе стратегических альтернатив внедрения инфраструктуры виртуальных рабочих столов в ВУЗе / К. А. Маковий, Ю. В. Хицкова, Д. К. Проскурин // Современные информационные технологии и ИТ-образование. – 2017. – Т. 14. – № 3. – С. 296-303.

5. Проскурин Д. К. Модифицированный генетический алгоритм решения задачи выбора серверных ресурсов при формировании инфраструктуры виртуальных рабочих мест / Д. К. Проскурин, К. А. Маковий // Вестник Воронежского государственного технического университета. – 2021. – Т. 18. – № 3. – С. 46-51.

Публикации в изданиях, индексируемых в SCOPUS и Web of Science

6. Server hardware resources optimization for virtual desktop infrastructure implementation / K. A. Makoviy, D. K. Proskurin, Y. V. Khitskova, Y. V. Metelkin // CEUR Workshop Proceedings. – 2017. – № 1904. – С. 178-183.

7. A comparison of linear programming and the genetic algorithm approaches to the problem of optimizing the server hardware resources for hosting virtual desktops / K. A. Makoviy, D. K. Proskurin, Y. V. Khitskova, Y. V. Metelkin // Journal of Physics: Conference Series. – 2018. – С. 012171.

8. Makoviy K. Complex interaction of AHP technique and SWOT-analysis for virtual desktop infrastructure (VDI) / K. Makoviy, Yu. Khitskova // Journal of Physics Conference Series. – 2019. – Т. 1202. – № 1. – С. 012029.

9. Makoviy K. Estimating the Cost of Implementing Virtual Desktops as a Stage of Project Management in the Field of Cloud Technologies / K. Makoviy, Y. Khitskova // Lecture Notes in Electrical Engineering. – 2020. – Vol. 641 LNEE. – С. 1034-1043.

10. Information resources usability and split-testing features / I. F. Astachova, N. A. Burakova, K. A. Makoviy, Y. V. Khitskova // Journal of Physics: Conference

Series: Applied Mathematics, Computational Science and Mechanics: Current Problems, 2020. – Т. 1479. – С. 012010.

11. Astachova I. F. Possibilities for predicting the state of usability web resources / I. F. Astachova, K. A. Makoviy, Yu. V. Khitskova // Journal of Physics: Conference Series: Applied Mathematics, Computational Science and Mechanics: Current Problems, 2021. – Т. 1902. – С. 012029.

Свидетельства о государственной регистрации программ для ЭВМ

12. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ. Подбор оптимальной конфигурации серверных платформ и модулей памяти для внедрения VDI / Я. В. Метелкин, К. А. Маковий; заявитель и правообладатель Я. В. Метелкин, К. А. Маковий. (RU). – № 2018660335; заявл. 2018617893; опубл. 22.08.2018.

13. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ. Программа расчета серверных ресурсов для внедрения VDI с помощью генетического алгоритма / К. А. Маковий; заявитель и правообладатель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Воронежский государственный технический университет» (RU). – № 2019665210; заявл. 2019663956; опубл. 20.11.2019.

Статьи и материалы конференций

14. Маковий К. А. Программный модуль поддержки принятия решения о выборе объекта виртуализации / К. А. Маковий, Ю. В. Хицкова, С. В. Герус // Научный вестник Воронежского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Информационные технологии в строительных, социальных и экономических системах. – 2016. – № 2(8). – С. 80-85.

15. Маковий К. А. Использование метода гибридных оценок в задаче выбора объекта пилотного проекта / К. А. Маковий, Ю. В. Хицкова, С. В. Герус // Актуальные проблемы прикладной математики, информатики и механики. – Воронеж, 2016. – С. 96-99.

16. Маковий К. А. Анализ потребностей виртуальной машины в ресурсах сервера VDI / К. А. Маковий, Н. В. Шипилов // Актуальные проблемы прикладной математики, информатики и механики. – Воронеж, 2016. – С. 100-103.

17. Маковий К. А. Пилотный проект виртуализации рабочих мест в компьютерном классе Воронежского ГАСУ / К. А. Маковий, Н. В. Шипилов // Научный вестник Воронежского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Студент и наука. – 2016. – № 10. – С. 113-117.

18. Маковий К. А. Оценка согласованности в методе гибридных оценок / К. А. Маковий, С. В. Герус, А. А. Дашин // Научный вестник Воронежского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Информационные технологии в строительных, социальных и экономических системах. – 2017. – № 1(9). – С. 171-174.

19. Маковий К. А. Проектирование информационной системы интеллектуализации процесса внедрения инфраструктуры виртуальных рабочих столов / К. А. Маковий // Научный вестник Воронежского государственного

архитектурно-строительного университета. Серия: Информационные технологии в строительных, социальных и экономических системах. – 2017. – № 2(10). – С. 81-85.

20. Оценка аппаратных требований виртуальных машин учебных компьютерных классов в рамках инфраструктуры виртуальных рабочих столов / К. А. Маковий, Я. В. Метелкин, А. А. Комаров, Д. К. Проскурин // Актуальные проблемы прикладной математики, информатики и механики. – Воронеж: Издательство "Научно-исследовательские публикации", 2017. – С. 251-256.

21. Маковий К. А. Разработка программного модуля системы поддержки принятия решения о выборе объекта виртуализации / К. А. Маковий, А. В. Смольянинов, С. В. Герус // Современные информационные технологии и ИТ-образование. – Москва, 2017. – С. 271-282.

22. Маковий К. А. Использование генетического алгоритма для выбора серверных ресурсов при внедрении инфраструктуры виртуальных рабочих столов в вузе / К. А. Маковий, Ю. В. Хицкова, А. И. Шашкин // Актуальные проблемы прикладной математики, информатики и механики. – Воронеж, 2017. – С. 257-263.

23. Маковий К. А. Комплексное взаимодействие метода анализа иерархий и SWOT-анализа при оценке целесообразности внедрения виртуальных рабочих столов в образовательном учреждении / К. А. Маковий, Ю. В. Хицкова // Актуальные проблемы прикладной математики, информатики и механики. – Воронеж, 2017. – С. 1660-1669.

24. Касымова А. А. Анализ структуры затрат при внедрении облачных технологий / А. А. Касымова, К. А. Маковий, Ю. В. Хицкова // Информационные технологии в строительных, социальных и экономических системах. – 2018. – № 1-2(11-12). – С. 40-44.

25. Маковий К. А. Особенности разработки приложения оценки целесообразности внедрения облачных технологий в деятельность организации / К. А. Маковий, Ю. В. Хицкова // Информационные технологии в науке, образовании и производстве (ИТНОП-2018). – Белгород, 2018. – С. 279-284.

26. Маковий К. А. Использование математических методов в процессе принятия решения о выборе объекта пилотного проекта в области информационных технологий / К. А. Маковий // Актуальные проблемы прикладной математики, информатики и механики: сб. тр. Междунар. науч. конф. – Воронеж, 2019. – С. 257-262.

27. Маковий К. А. Управление затратами на проекты в сфере информационных технологий / К. А. Маковий, Ю. В. Хицкова, А. А. Соколова // Информационные технологии в строительных, социальных и экономических системах. – 2019. – № 2(16). – С. 83-86.

28. Маковий К. А. Структурная схема формирования инфраструктуры виртуальных рабочих столов / К. А. Маковий // Актуальные вопросы современной науки: теория, методология, практика, инноватика. – Уфа, 2021. – С. 25-30.

Подписано в печать 30.06.2021
Формат 60x84/16. Бумага для множительных аппаратов.
Усл. печ. л. 1,0. Тираж 80 экз. Заказ № 147.

ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет»
394026 Воронеж, Московский просп., 14