

УДК 007.52, 519.673, 519.687.1, 519.687.2, 519.852
<https://doi.org/10.32362/2500-316X-2024-12-4-7-22>
EDN BUECFJ



НАУЧНАЯ СТАТЬЯ

Об управлении численностью одновременно функционирующих программных роботов различных видов

А.С. Зуев[@],
Д.А. Леонов

МИРЭА – Российский технологический университет, Москва, 119454 Россия
[@] Автор для переписки, e-mail: zuev_a@mirea.ru

Резюме

Цели. Изложение постановки, обоснование актуальности и предложение методов решения задачи управления численностью одновременно функционирующих программных роботов различных видов в условиях ограниченности вычислительных ресурсов и изменений состава совокупностей задач, поступающих на выполнение.

Методы. Задачу предложено решать, применяя модели и методы сценарного управления, линейного программирования, управления запасами, массового обслуживания и машинного обучения, соответствующие различным составам и предпосылкам формирования исходных данных, а также обеспечивающие различные горизонты актуальности получаемых решений.

Результаты. В целях формирования исходных данных задачи авторами предложен подход к определению состава и параметров вычислительных ресурсов, требующихся для функционирования одного программного робота, основанный на анализе состава используемого им программного обеспечения и информационных сервисов. Для случаев применения методов сценарного управления и линейного программирования составлены постановки и математические модели соответствующих задач, а на основе последовательностей их решения предложены метод оперативного управления численностью программных роботов и метод последовательной локальной оптимизации их численности. Предложен основанный на обработке результатов применения метода последовательной локальной оптимизации способ формирования статистических данных, позволяющих идентифицировать дефицитные и недефицитные вычислительные ресурсы. Изложены некоторые результаты применения программных роботов, разрабатываемых на платформе «Атом.РИТА», в интересах многофункционального центра РТУ МИРЭА.

Выводы. Сформулирована и формализована для случаев применения методов сценарного управления и математического аппарата линейного программирования новая и актуальная в сфере автоматизации бизнес-процессов организаций задача управления численностью одновременно функционирующих программных роботов различных видов. Решение данной задачи с применением различных математических методов открывает перспективы расширения функциональных возможностей платформ программной роботизации, а также повышения экономической эффективности их применения и формирования дополнительных конкурентных преимуществ посредством оптимизации использования компонентов ИТ-инфраструктуры.

Ключевые слова: программный робот, цифровой сотрудник, robotic process automation, автоматизация бизнес-процессов, программная роботизация

• Поступила: 23.04.2024 • Доработана: 27.05.2024 • Принята к опубликованию: 29.05.2024

Для цитирования: Зуев А.С., Леонов Д.А. Об управлении численностью одновременно функционирующих программных роботов различных видов. *Russ. Technol. J.* 2024;12(4):7–22. <https://doi.org/10.32362/2500-316X-2024-12-4-7-22>

Прозрачность финансовой деятельности: Авторы не имеют финансовой заинтересованности в представленных материалах или методах.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

RESEARCH ARTICLE

About managing the number of simultaneously functioning software robots of different types

Andrey S. Zuev[@],
Dmitrii A. Leonov

MIREA – Russian Technological University, Moscow, 119454 Russia

[@] Corresponding author, e-mail: zuev_a@mirea.ru

Abstract

Objectives. The study sets out to justify the relevance and investigate approaches for solving the problem of managing the number of simultaneously functioning software robots of various types under conditions of limited computational resources and changes in sets of executable tasks.

Methods. A proposed solution is based on models and methods of scenario management, linear programming, inventory management, queuing theory, and machine learning. The described methods are valid for different compositions and preconditions for generating initial data, as well as ensuring the relevance horizons of the obtained solutions.

Results. The initial data is obtained via the presented approach for determining the computational resource parameters for operating a single software robot. The resources are determined by analyzing the composition of the software and information services used by an actual software robot. Problem statements and mathematical models are developed for cases involving scenario management and linear programming methods. Methods for real-time management of the number of software robots and their sequential local optimization are proposed based on the abovementioned solution sequences. The developed method for generating statistical data based the results of applying the sequential local optimization method is used to identify deficient and non-deficient computational resources. Some results of working in the multi-functional center of RTU MIREA software robots developed on the Atom.RITA platform are outlined.

Conclusions. The emerging problem of managing the number of simultaneously operating software robots of various types for cases involving scenario control methods and linear programming is formalized. This problem is relevant in the field of automation of business processes of organizations. The use of mathematical methods for solving this problem opens up opportunities for expanding the functional capabilities of robotic process automation platforms, as well as increasing their economic efficiency to create competitive advantages by optimizing the use of IT infrastructure components.

Keywords: software robot, digital employee, robotic process automation, business process automation, software robotization

• Submitted: 23.04.2024 • Revised: 27.05.2024 • Accepted: 29.05.2024

For citation: Zuev A.S., Leonov D.A. About managing the number of simultaneously functioning software robots of different types. *Russ. Technol. J.* 2024;12(4):7–22. <https://doi.org/10.32362/2500-316X-2024-12-4-7-22>

Financial disclosure: The authors have no a financial or property interest in any material or method mentioned.

The authors declare no conflicts of interest.

ВВЕДЕНИЕ

Автоматизация бизнес-процессов в контексте делегирования типовых, повторяющихся, рутинных и не требующих аналитики задач и действий от сотрудников специализированным сервисам за последние 10 лет является одним из основных источников повышения эффективности функционирования юридических лиц, государственных и коммерческих структур [1–3] (далее – организаций). В качестве инструментов автоматизации бизнес-процессов могут выступать различные предметно-ориентированные информационные системы [4, 5], например, системы электронного документооборота, управления персоналом, складской логистики, бухгалтерского учета, взаимодействия с целевой аудиторией и клиентами, управления проектами, аналитические и интеллектуальные системы и т.п. Вместе с тем применение в бизнес-процессах организаций прикладного программного обеспечения (ПО), относящегося к любым классам и видам¹, предполагает наличие соответствующего персонала, использующего данное ПО для выполнения бизнес-задач, входящих в состав назначенных ему бизнес-функций, в соответствии с заданными бизнес-ролями (должностями) [6]. В настоящей статье под бизнес-задачей понимается типовая последовательность действий сотрудника с совокупностью программных средств, приводящая к получению заданного результата на основании изменяющегося состава исходных данных, – типовой сценарий использования совокупности программных средств, допускающий полную алгоритмизацию.

Логичным и инновационным направлением развития автоматизации бизнес-процессов выступили

системы их программной роботизации (robotic process automation, RPA) [7, 8] – ПО, реализующее технологии разработки и применения программных роботов (ПР), специальных приложений, сценарии функционирования которых воспроизводят типовые последовательности действий сотрудников с сочетаниями программных средств². С 4 декабря 2023 г. системы роботизации процессов юридически закреплены приказом Минцифры России³.

Важной особенностью RPA является то, что ПР, в соответствии с заложенными сценариями (алгоритмами) функционирования, могут работать с совокупностями информационных систем и сервисов, не имеющих предусмотренных средств интеграции и интероперабельности [9]. В настоящее время на международном⁴ и отечественном⁵ рынках ПО

² Об утверждении классификатора программ для электронных вычислительных машин и баз данных. Приказ Министерства цифрового развития, связи и массовых коммуникаций Российской Федерации от 22 сентября 2020 г. № 486. <https://digital.gov.ru/ru/documents/7362/>. Дата обращения 26.03.2024. [On Approval of the Classifier of Programs for Electronic Computing Machines and Databases. Order of the Ministry of Digital Development, Communications and Mass Media of the Russian Federation No. 486 dated September 22, 2020. <https://digital.gov.ru/ru/documents/7362/> (in Russ.). Accessed March 26, 2024.]

³ О внесении изменений в классификатор программ для электронных вычислительных машин и баз данных, утвержденный приказом Министерства цифрового развития, связи и массовых коммуникаций Российской Федерации от 22 сентября 2020 г. № 486. Приказ Министерства цифрового развития, связи и массовых коммуникаций Российской Федерации от 04 декабря 2023 г. № 1041. <http://publication.pravo.gov.ru/document/0001202403110026>. Дата обращения 26.03.2024. [On Amending the Classifier of Programs for Electronic Computing Machines and Databases Approved by Order of the Ministry of Digital Development, Communications and Mass Media of the Russian Federation No. 486 dated September 22, 2020. Order of the Ministry of Digital Development, Communications and Mass Media of the Russian Federation No. 1041 dated December 04, 2023. <http://publication.pravo.gov.ru/document/0001202403110026> (in Russ.). Accessed March 26, 2024.]

⁴ Top-31 best robotic process automation software on the market. <https://www.zaptest.com/rpa-tools-top-31-best-robotic-process-automation-software-on-the-market>. Дата обращения 22.03.2024. / Accessed March 22, 2024.

⁵ Российский рынок RPA-систем. Tadviser 08.11.2022. https://www.tadviser.ru/index.php/Статья:Российский_рынок_RPA-систем. Дата обращения 22.03.2024. [Russian market of RPA-systems. Tadviser: November 8, 2022. https://www.tadviser.ru/index.php/Статья:Российский_рынок_RPA-систем (in Russ.). Accessed March 22, 2024.]

представлено несколько RPA-платформ, предоставляющих инструментарий разработки и управления функционированием ПР.

Программные роботы частично или полностью замещают сотрудников организации в ее бизнес-процессах в части выполнения типовых бизнес-задач, т.е. выступают в роли «цифровых сотрудников», функционирующих в соответствии с конкретной бизнес-ролью, которая классически предусматривается в штатном расписании персонала [10], или являются «цифровыми ассистентами» реальных сотрудников [11]. Преимущества «цифрового» сотрудника для организации очевидны [12, 13] – график работы «24/7/365», отсутствие требований к условиям труда и расходов на его оплату, исключение процедур рекрутинга, обучения, контроля работы, «текучки» кадров и т.д.

Бизнес-задачи, подлежащие программной роботизации, будем называть программно-роботизируемыми задачами (ПРЗ, robotic automation task, RAT). Будем считать, что между ПРЗ и выполняющими их ПР (исполняемыми сценариями действий) установлено взаимно-однозначное соответствие – каждый ПР соответствует отдельной ПРЗ. На основании результатов выполнения сценария реализации ПР конкретной бизнес-задачи каждый ее экземпляр либо считается успешно завершенным (что должно соответствовать подавляющему большинству случаев), либо добавляется в список инцидентов, требующих дополнительного рассмотрения сотрудником, в т.ч. при некорректном завершении сценария функционирования ПР. Одним из преимуществ использования ПР является простота масштабирования их применения при изменении интенсивности бизнес-задач, под которой далее будет пониматься количество их повторов, экземпляров, требующих выполнения за некоторый заданный период времени. Необходимые показатели эффективности выполнения бизнес-процессов могут быть обеспечены в результате увеличения или уменьшения количества одновременно функционирующих ПР, соответствующих данным бизнес-процессам. В результате в условиях одновременного применения совокупности видов ПР, каждый из которых может быть тиражирован в различном количестве, приобретают актуальность задачи управления численностью одновременно функционирующих ПР различных видов в условиях ограниченности выделенных для их применения вычислительных ресурсов и соблюдения требующихся показателей эффективности выполнения соответствующих бизнес-процессов организации.

1. ОПИСАНИЕ ЗАДАЧИ УПРАВЛЕНИЯ ЧИСЛЕННОСТЬЮ ПР

Являясь прикладным ПО и выполняясь в виде процессов в операционной системе, ПР потребляют

вычислительные ресурсы, объемы которых целесообразно считать не только ограниченными, но и подлежащими оптимизации. Соответствующие задачи актуальны как для отдельных организаций, применяющих ПР, в контексте минимизации затрат на их функционирование, так и для поставщиков облачных «фабрик» ПР [14, 15], – в контексте оптимизации затрат на содержание обеспечивающей их функционирование ИТ-инфраструктуры.

Решение обозначенных задач требует выработки, обоснования и реализации как архитектурных, так и инфраструктурных решений в ИТ-инфраструктуре организаций, применяющих ПР и/или поставляющих сервисы обеспечения их функционирования. Архитектурные решения могут рассматриваться, например, в контексте обеспечения информационной безопасности, в т.ч. при функционировании ПР на физических и виртуальных машинах в открытом и защищенном контурах [16, 17]. Инфраструктурные решения предполагают выделение физических и/или виртуальных машин с определенными параметрами и характеристиками, обеспечивающими вычислительные ресурсы, достаточные для функционирования некоторой совокупности ПР нескольких видов с соблюдением требующихся показателей эффективности выполнения соответствующих бизнес-процессов организации. Под вычислительными ресурсами могут пониматься:

- количество потоков центрального процессора (central processing unit, CPU);
- объем оперативной памяти (random-access memory, RAM);
- объем внутреннего накопителя данных (hard disk drive, HDD и/или solid-state drive, SSD);
- объем видеопамати и количество ядер графического процессора (graphics processing unit, GPU);
- количество одновременных терминальных сессий;
- пропускная способность канала проводной или беспроводной сети передачи данных и т.п.

Информационно-технологическая инфраструктура функционирования ПР является одним из ключевых параметров, предопределяющих эффективность их применения. При ее формировании необходимо учитывать, в т.ч. следующие аспекты:

- состав ПО и информационных сервисов, с которым взаимодействует ПР, определяется содержательной частью соответствующей ему бизнес-задачи и предопределяет требования к операционной среде его функционирования – к требующимся вычислительным ресурсам;
- одновременно может функционировать несколько ПР из некоторой совокупности их видов, при этом допустимые сочетания их численностей ограничены выделенными вычислительными ресурсами;

- при большом разнообразии видов ПР, а также в условиях реализации их «фабрик», множество применяемых ПР может быть декомпозировано на подмножества, соответствующие, например, отдельным бизнес-процессам и/или структурным подразделениям организации с выделением отдельных (независимых) объемов вычислительных ресурсов;
- изменения интенсивностей бизнес-задач, выполняемых ПР (количества их повторов, экземпляров, требующих выполнения за некоторый заданный период времени), обуславливают целесообразность варьирования численностей ПР соответствующих видов, при этом вычислительные ресурсы, выделенные для реализации всей их совокупности (множества видов и экземпляров каждого вида) являются ограниченными;
- требования к параметрам и характеристикам выполнения бизнес-процессов, включающих решаемые ПР бизнес-задачи, могут изменяться, что влияет соответственно на численности ПР и интенсивности задач.

Перечисленные выше аспекты реализации функционирования совокупностей ПР позволяют утверждать, что задача управления численностью одновременно функционирующих ПР различных видов в условиях ограниченности вычислительных ресурсов, изменения интенсивностей ПРЗ, а также варьирования требований к параметрам выполнения соответствующих бизнес-процессов, является актуальной и имеющей практическую значимость, относится к классу оптимизационных и допускает различные постановки, соответствующие различным предпосылкам формализации исходных данных, а, следовательно, может быть решена как в различных постановках, так и с применением различных математических аппаратов [18].

В составе различных RPA-платформ присутствует компонент управления функционированием ПР («мастер» или «оркестратор»), выполняющий функции их запуска и остановки (в т.ч. в соответствии с заданным расписанием), управления лицензиями, интеграцией, версионированием, логами, аналитикой, доступами и т.д. Динамическая оптимизация численности одновременно функционирующих ПР различных видов с учетом некоторого состава формализованных ограничений и требований может рассматриваться в качестве дополнительного функционала данного компонента управления, обеспечивающего расширение конкурентных преимуществ RPA-платформы за счет оптимизации использования компонентов ИТ-инфраструктуры для обеспечения функционирования ПР.

Сформулированная авторами задача может быть решена с применением различных подходов и методов, сравнение некоторых из которых приведено в табл. 1:

- сценарное управление – доступные варианты численностей ПР различных видов рассматриваются в качестве сценариев управления, из множества которых выбирается наиболее рациональный в условиях текущей интенсивности формирования множества бизнес-задач;
- математический аппарат линейного программирования – оптимальные численности ПР различных видов определяются на основании сформировавшихся за некоторый период времени совокупностей соответствующих бизнес-задач, подлежащих выполнению;
- модели управления запасами – основаны на формализации динамик поступления бизнес-задач на обработку и их выполнения ПР;

Таблица 1. Сравнение некоторых методов решения рассматриваемой задачи

Применяемый математический аппарат	Особенности применяемого математического аппарата	Период актуальности решения	Результат применения
Сценарный подход к управлению (изложено в настоящей статье)	Выполняется ситуационное реагирование на изменение интенсивностей бизнес-задач	Оперативный (сиюминутный)	Рационализация в соответствии с изменениями исходных данных
Модели машинного обучения	Предполагается итеративное дообучение нейронной сети	Оперативный (сиюминутный)	
Линейное программирование (изложено в настоящей статье)	В отдельных периодах времени выполняется ранее накопившаяся и формируется для выполнения новая совокупность бизнес-задач	Краткосрочный	Оптимизация в соответствии с результатом обработки накопленных исходных данных
Модели управления запасами	Предполагаются известными закономерности генерации бизнес-задач с ходом времени	Среднесрочный	
Модели массового обслуживания		Долгосрочный	

- модели массового обслуживания – закономерности изменения интенсивностей бизнес-задач с ходом времени предполагаются известными (заданными или формализованными в результате предварительно выполненного анализа), экземпляры ПР соответствующих видов рассматриваются как каналы системы массового обслуживания, допускающие варьирование их численностей с целью управления характеристиками рассматриваемой системы;
- модели машинного обучения – предполагают построение и/или обучение нейронных сетей с целью автоматизации принятия решений относительно численностей одновременно функционирующих ПР различных видов в соответствии с динамикой и/или прогнозами изменения значений некоторого состава формализованных ограничений и требований.

Различные методы решения рассматриваемой задачи предполагают наличие соответствующих им предпосылок относительно доступной структуры и результатов предварительной формализации

ее исходных данных, а также позволяют обеспечить различный горизонт автономности реализации получаемого решения без его корректировки.

Далее изложены постановки рассматриваемой задачи для случаев применения сценарного управления и математического аппарата линейного программирования. Описание ее постановок и формализаций с применением других, в т.ч. не перечисленных в табл. 1 математических аппаратов, будет являться одним из дальнейших направлений выполняемых авторами исследований.

2. ПОДХОД К ОПРЕДЕЛЕНИЮ СОСТАВА И ПАРАМЕТРОВ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ РЕСУРСОВ, ТРЕБУЮЩИХСЯ ПР

Первым этапом формирования исходных данных рассматриваемой задачи является определение состава и объема вычислительных ресурсов, требующихся для функционирования одного ПР каждого вида. Для этого может быть использована таблица, подобная табл. 2, позволяющая сформировать

Таблица 2. Определение требующихся ПР вычислительных ресурсов на основе состава используемого ими ПО

Вычислительный ресурс	Задействованное ПО	Требующийся ПО объем ресурса	Требующееся ПР количество экземпляров ПО			
			Робот № 1	Робот № 2	...	Робот № n
Объем RAM, Мб (ресурс № 1)	ПО № 1 (браузер)	O_{11}	3	0	...	1
	ПО № 2 (текстовый процессор)	O_{12}	1	2	...	0

	ПО № k (почта)	O_{1k}	1	1	...	1
Потребности ПР в ресурсе № 1		Значение	$3O_{11} + O_{12} + \dots + O_{1k}$	$2O_{12} + \dots + O_{1k}$...	$O_{11} + \dots + O_{1k}$
		Обозначение	a_{11}	a_{12}	...	a_{1n}
Количество потоков CPU (ресурс № 2)	ПО № 1 (браузер)	P_{21}	3	0	...	1
	ПО № 2 (текстовый процессор)	P_{22}	1	2	...	0

	ПО № k (почта)	P_{2k}	1	1	...	1
Потребности ПР в ресурсе № 2		Значение	$3P_{21} + P_{22} + \dots + P_{2k}$	$2P_{22} + \dots + P_{2k}$...	$P_{21} + \dots + P_{2k}$
		Обозначение	a_{21}	a_{22}	...	a_{2n}
...
Объем накопителя данных, Мб (ресурс № m)	ПО № 1 (браузер)	H_{m1}	3	0	...	1
	ПО № 2 (текстовый процессор)	H_{m2}	1	2	...	0

	ПО № k (почта)	H_{mk}	1	1	...	1
Потребности ПР в ресурсе № m		Значение	$3H_{m1} + H_{m2} + \dots + H_{mk}$	$2H_{m2} + \dots + H_{mk}$...	$H_{m1} + \dots + H_{mk}$
		Обозначение	a_{m1}	a_{m2}	...	a_{mn}

требующиеся данные в результате систематизации состава ПО и информационных сервисов, задействованных для выполнения соответствующих бизнес-задач. Такие вычислительные ресурсы аппаратного обеспечения как количество потоков CPU, объем RAM, количество ядер GPU, объем внутреннего накопителя данных, максимально доступное количество терминальных сессий, пропускную способность канала связи и т.п., можно считать ограниченными в составе выделенной для целей программной роботизации ИТ-инфраструктуры организации и аддитивными по всей совокупности одновременно функционирующих ПР.

3. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ ДЛЯ СЛУЧАЯ ПРИМЕНЕНИЯ СЦЕНАРНОГО УПРАВЛЕНИЯ

Применение сценарного управления целесообразно в случаях оперативного (моментального) варьирования численностей одновременно функционирующих ПР различных видов. В соответствии с одномоментным (текущим) изменением интенсивностей бизнес-задач (количества их экземпляров, поступивших на обработку в момент времени) может требоваться моментальное принятие решения о переходе к наиболее полно соответствующему данным условиям сочетанию численности одновременно функционирующих ПР различных видов. Возможны различные подходы к реализации сценарного управления численностями одновременно функционирующих ПР из некоторой совокупности их видов. В настоящей статье далее изложены два предлагаемых авторами подхода.

Предполагая, что один ПР вида j при выполнении соответствующей ему бизнес-задачи того же вида j потребляет a_{ij} вычислительного ресурса вида i , введем обозначения:

- b_i – доступные (ограниченные) объемы вычислительных ресурсов видов $i = \overline{1, m}$, где m – их количество;
- x_j – количество одновременно функционирующих ПР видов $j = \overline{1, n}$, где n – их число;
- c_j – производительность одного ПР вида j , равная количеству экземпляров бизнес-задачи данного вида j , выполняемых им за единичный период времени;
- $e_j \geq 1$ – коэффициенты относительной приоритетности бизнес-задач соответствующих видов $j = \overline{1, n}$.

Будем называть сценариями $P_k = (x_{k1}, x_{k2}, \dots, x_{kn})$, где $k = \overline{1, p}$, варианты одновременного использования конкретных количеств x_{kj} , $j = \overline{1, n}$ ПР каждого из видов и рассматривать только допустимые к реализации на основании суммарных объемов требующихся вычислительных ресурсов сценарии.

Для определения состава допустимых сценариев, каждый из которых связан с максимальным использованием одного или нескольких выделенных

вычислительных ресурсов, можно воспользоваться вспомогательной таблицей, подобной табл. 3, структурирующей перебор сочетаний количеств одновременно функционирующих роботов каждого вида – при переходе к каждой последующей строке таблицы вычислительные ресурсы перераспределяются в пользу ПР с большим порядковым номером.

Таблица 3. Определение состава сценариев одновременного функционирования ПР с максимальным использованием одного или нескольких выделенных вычислительных ресурсов

Сценарии	Количество функционирующих роботов видов j							
	1	2	3	4	5	...	$n-1$	n
P_1	Q	0	0	0	0	...	0	0
P_2	$Q-1$	1	0	0	0	...	0	0
P_3	$Q-1$	0	2	0	0	...	0	0
P_4	$Q-1$	0	1	2	0	...	0	0
P_5	$Q-1$	0	1	1	1	...	0	0
P_6	$Q-1$	0	0	3	1	...	0	0
...
P_k	$Q-1$	0	0	0	0	...	0	r
P_{k+1}	$Q-2$	2	0	0	0	...	0	0
...
P_{p-1}	0	0	0	0	0	...	1	$R-1$
P_p	0	0	0	0	0	...	0	R

Предварительное формирование состава допустимых сценариев позволяет не выполнять их формирование при каждом решении рассматриваемой задачи, но определять рациональный (не излишний) состав функционирующих ПР посредством выбора сценария из содержащихся в сценарных таблицах, подобных табл. 3.

При составлении сценарных таблиц возможны 2 подхода:

1. Формирование полного состава сценариев, включающего сценарии с неполным использованием вычислительных ресурсов. Приводит к включению в сценарную таблицу результатов полного перебора возможных сочетаний ПР. Увеличивает вычислительную, но сокращает логическую сложность анализа содержания сценарной таблицы. Например, предлагаемые далее авторами формулы (4) и (7) могут применяться без проверки дополнительных соответствующих условий (5) и (8). Данный подход более целесообразен при небольших объемах выделенных вычислительных ресурсов и/или небольшом количестве видов ПР.
2. Формирование состава сценариев с максимальным использованием одного или нескольких

выделенных вычислительных ресурсов. Приводит к существенному сокращению количества записей в сценарной таблице, но обуславливает необходимость проверки возможностей сокращения количества одновременно функционирующих ПР. В связи с этим для предлагаемых далее авторами формул (4) и (7) будет необходима проверка дополнительных соответствующих условий (5) и (8). Данный подход более целесообразен при больших объемах выделенных вычислительных ресурсов и/или большом количестве видов ПР.

Эффективность рассмотренных выше подходов целесообразно исследовать для каждой конкретной задачи управления численностью одновременно функционирующих ПР. Предпочтительным будет являться подход, обеспечивающий наибольшую ожидаемую скорость решения соответствующей задачи, но каждый из подходов позволяет сформировать исходные данные для ее решения – для определения реализуемого сценария.

Реализуемый сценарий предопределяет количество бизнес-задач каждого вида, выполняемое соответствующей совокупностью ПР за единичный период времени. Смена реализуемого сценария приводит к изменению состава одновременно функционирующих ПР. Данные изменения могут быть один раз определены с помощью переходной таблицы, подобной табл. 4, для

Таблица 4. Пример переходной таблицы – изменения численностей функционирующих ПР при смене сценариев

Смена сценариев		Изменение численности функционирующих роботов видов j							
Исходный сценарий	Новый сценарий	1	2	3	4	5	...	$n-1$	n
P_1	P_1	0	0	0	0	0	...	0	0
P_1	P_2	-1	+1	0	0	0	...	0	0
P_1	P_3	-1	0	+2	0	0	...	0	0
P_1	P_4	-1	0	+1	+2	0	...	0	0
P_1	P_5	-1	0	+1	+1	+1	...	0	0
P_1	P_6	-1	0	0	+3	+1	...	0	0
...
P_1	P_k	-1	0	0	0	0	...	0	+ r
P_1	P_{k+1}	-2	+2	0	0	0	...	0	0
...
P_1	P_p	- Q	0	0	0	0	...	0	+ R
P_2	P_1	+1	-1	0	0	0	...	0	0
...
P_{p-1}	P_1	+ Q	0	0	0	0	...	-1	- $R+1$
P_p	P_1	+ Q	0	0	0	0	...	0	- R

всех возможных пар рассматриваемых допустимых сценариев из табл. 3 и в дальнейшем использоваться для автоматического выбора наиболее рационального сценария, к которому целесообразно перейти от текущего используемого в условиях наблюдаемого изменения интенсивности поступления бизнес-задач.

Обозначим наблюдающееся в результате смены сценария x на сценарий y изменение количества одновременно функционирующих ПР видов j через z_j^{xy} . Тогда T^{xy} (1) – вектор изменения численностей одновременно функционирующих ПР при переходе от сценария x на сценарий y :

$$T^{xy} = (z_1^{xy}, z_2^{xy}, \dots, z_n^{xy}). \quad (1)$$

Вектор соответствующих изменений в производительности выполнения бизнес-задач видов j может быть рассчитан по формуле:

$$U^{xy} = (c_1 z_1^{xy}, c_2 z_2^{xy}, \dots, c_n z_n^{xy}). \quad (2)$$

Первый предлагаемый подход к сценарию управления функционированием ПР – сопоставление в единицу времени сценариев и совокупностей задач, поступающих на выполнение.

Будем считать, что за единичный период времени сформировалась ожидающая выполнения совокупность бизнес-задач видов j (с учетом их количеств, не выполненных на предыдущих этапах), описываемая вектором неотрицательных целочисленных компонентов F :

$$F = (f_1, f_2, \dots, f_n), \quad (3)$$

тогда сценарий G , который можно считать наиболее рациональным для реализации в следующий период времени, может быть определен на основании табл. 3 по формуле:

$$G = \min_{k=\overline{1,p}} G_k,$$

$$\text{где } G_k = \sqrt{\sum_{j=1}^n e_j (f_j - c_j x_{kj})^2} \text{ или}$$

$$G_k = \sum_{j=1}^n e_j |f_j - c_j x_{kj}|, \quad k = \overline{1,p}, \quad (4)$$

при этом, если $f_j - c_j x_{kj} \leq 0$, то соответствующее слагаемое j считается равным нулю, а количество x_{kj}^* роботов вида j , которое не требуется запускать, может быть определено по формуле:

$$x_{kj}^* = \lfloor c_j x_{kj} - f_j \rfloor. \quad (5)$$

Таблица 5. Исходные данные для рис. 1 ($e_j = 1, j = \overline{1, n}$)

Период времени	Совокупность задач для выполнения				Совокупность выполненных ПР задач				Значение по формуле (4)
	f_1	f_2	f_3	Точка	c_1x_{k1}	c_2x_{k2}	c_3x_{k3}	Точка	
1	2	2	3	B(2; 2; 3)	2	1	2	D(2; 1; 2)	$\sqrt{2}$ или 2
2	3	2 + 1	1 + 1	C(5; 4; 4)	2	2	0	G(4; 3; 2)	$2\sqrt{2}$ или 4
3	1 + 1	3 + 1	2 + 2	A(6; 7; 6)	2	4	2	Z(6; 7; 4)	2 или 2

Второй предлагаемый подход к сценарному управлению функционированием ПР – сопоставление в единицу времени результатов смены сценариев и изменений в составах совокупностей подлежащих выполнению задач.

Будем считать, что за единичный период времени реализации некоторого сценария t изменения численностей подлежащих выполнению бизнес-задач видов j (с учетом их количеств, не выполненных на предыдущих этапах) описываются вектором неотрицательных целочисленных компонентов F^* :

$$F^* = (f_1, f_2, \dots, f_n), \quad (6)$$

тогда сценарий G , который можно считать наиболее рациональным для перехода к реализации, может быть определен на основании табл. 4 по формуле:

$$G = \min_{k=\overline{1, p}} G_k,$$

$$\text{где } G_k = \sqrt{\sum_{j=1}^n e_j (f_j - c_j z_j^{tk})^2} \text{ или}$$

$$G_k = \sum_{j=1}^n e_j |f_j - c_j z_j^{tk}|, \quad k = \overline{1, p}, \quad (7)$$

при этом, если $f_j - c_j z_j^{tk} \leq 0$, то соответствующее слагаемое j считается равным нулю, а количество x_{kj}^{**} роботов вида j , которое не требуется запускать, может быть определено по формуле:

$$x_{kj}^{**} = \lfloor c_j z_j^{tk} - f_j \rfloor. \quad (8)$$

Обобщение предложенных подходов. Формулы (4) и (7) в части расчета значений G_k составлены для метрик Евклида и Минковского и позволяют выбрать вектор G наименьшей длины среди всех векторов, являющихся результатом вычитания вектора производительности или изменения производительности выполнения бизнес-задач видов j из вектора ожидающих выполнения бизнес-задач или вектора изменений численности ожидающих выполнения бизнес-задач.

Вектор G позволяет определить сценарий k , который наиболее рационально применять или к которому наиболее рационально перейти от сценария

t в соответствии с текущей интенсивностью бизнес-задач в момент времени. То есть управление численностью одновременно функционирующих ПР видов j сводится к максимально возможному повторению динамики интенсивности или динамики изменения интенсивности бизнес-задач с задержкой на один единичный интервал времени. Условная иллюстрация представлена на рис. 1. Осям f_1, f_2 и f_3 соответствуют три вида бизнес-задач и соответствующих ПР, исходные данные приведены в табл. 5.

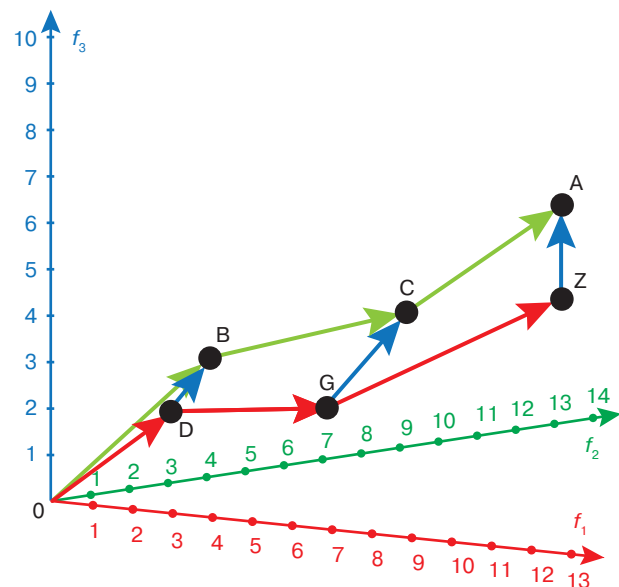


Рис. 1. Примеры векторов, иллюстрирующие применение формул (4) и (7)

Таким образом, авторами предложен не требующий решения оптимизационных задач метод оперативного управления численностью функционирующих ПР из некоторой совокупности их видов в условиях ограниченности выделенных вычислительных ресурсов и динамического изменения состава требующих выполнения бизнес-задач.

4. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ ДЛЯ СЛУЧАЯ ПРИМЕНЕНИЯ ЛИНЕЙНОГО ПРОГРАММИРОВАНИЯ

Применение математического аппарата целочисленного линейного программирования целесообразно в тех случаях, когда содержание

бизнес-процессов допускает в краткосрочных (единичных) периодах времени выполнение ранее накопившихся и параллельное формирование подлежащих выполнению совокупностей бизнес-задач. То есть на каждом малом интервале времени не только формируется совокупность подлежащих выполнению бизнес-задач, требующая оптимизации численности ПР соответствующих видов для следующего интервала времени, но и функционирует совокупность ПР, оптимизированная в соответствии с совокупностью задач, сформированной в предыдущем интервале времени.

Исходные данные:

n – количество видов ПР и соответствующее им количество видов выполняемых бизнес-задач;

m – количество видов ограниченных вычислительных ресурсов;

P_j – обозначения (названия) видов ПР, $j = \overline{1, n}$;

Z_j – обозначения (названия) видов бизнес-задач, $j = \overline{1, n}$;

c_j – производительность одного ПР вида P_j , равная количеству экземпляров бизнес-задачи соответствующего вида Z_j , выполняемых ими за единичный период времени;

d_j – количество экземпляров бизнес-задачи соответствующего вида Z_j , подлежащее выполнению на момент решения оптимизационной задачи;

e_j – фиксированные коэффициенты относительной приоритетности бизнес-задач соответствующих видов Z_j ;

f_j – варьируемые коэффициенты относительной приоритетности бизнес-задач соответствующих видов Z_j , определяемые перед решением оптимизационной задачи на основании значений d_j различными способами, например, по формуле:

$$f_j = \frac{d_j}{\sum_{j=1}^n d_j}, j = \overline{1, n}, \quad (9)$$

в настоящей статье эти способы подробно рассматриваться не будут;

x_j – количество одновременно функционирующих роботов вида P_j ;

S_i – наименования видов ограниченных вычислительных ресурсов, $i = \overline{1, m}$;

b_i – доступный (ограниченный) объем вычислительного ресурса вида S_i ;

a_{ij} – потребление вычислительного ресурса вида S_i при функционировании одного ПР вида P_j , где $i = \overline{1, m}$ и $j = \overline{1, n}$.

Постановка задачи: требуется определить такое сочетание значений $x_j, j = \overline{1, n}$ (план функционирования ПР видов P_j), при котором количество вы-

полненных экземпляров соответствующих бизнес-задач Z_j будет максимальным с учетом коэффициентов их приоритетности e_j и f_j , потребляемые объемы вычислительных ресурсов каждого из видов $S_i, i = \overline{1, m}$, не превысят соответствующие ограничения b_i , а численность выполненных экземпляров бизнес-задач всех видов P_j не превысит их количества d_j , подлежащие выполнению на момент решения оптимизационной задачи.

Примечание: в соответствии с различными условиями постановки и предпосылками решения данной задачи в составе целевой функции могут учитываться любые варианты комбинирования наличия коэффициентов e_j и $f_j, j = \overline{1, n}$ (10).

Математическая модель задачи содержит:

- целевую функцию, максимизирующую суммарное количество выполненных экземпляров бизнес-задач $Z_j, j = \overline{1, n}$, с учетом коэффициентов их приоритетности e_j и f_j , а также производительностей ПР видов P_j ;
- систему ограничений, учитывающую: ограниченность b_i вычислительных ресурсов видов $S_i, i = \overline{1, m}$, сформировавшуюся на момент решения оптимизационной задачи совокупность d_j подлежащих выполнению бизнес-задач видов $Z_j, j = \overline{1, n}$, требования неотрицательности и целочисленности значений переменных x_j , являющиеся следствием того, что они соответствуют количествам одновременно функционирующих ПР видов P_j ;

$$\begin{cases} \sum_{j=1}^n a_{ij} x_j \leq b_i, i = \overline{1, m}, \\ c_j x_j \leq d_j, j = \overline{1, n}, \\ x_j \geq 0, j = \overline{1, n}, \\ x_j - \text{целые}, j = \overline{1, n}, \end{cases} \quad (10)$$

$$F = \sum_{j=1}^n c_j e_j f_j x_j \rightarrow \max.$$

В систему ограничений рассматриваемой задачи могут включаться и дополнительные условия, описывающие, например, ограничение на суммарное количество одновременно функционирующих ПР (одновременное количество терминальных сессий):

$$\sum_{j=1}^n x_j \leq X.$$

В рамках изложенной выше постановки задачи (10) период функционирования совокупности ПР разделяется на единичные отрезки

времени, в пределах каждого из которых происходит накопление подлежащей выполнению совокупности бизнес-задач, получение решения оптимизационной задачи, которое будет реализовываться в течение следующего отрезка времени, и непосредственная реализация решения оптимизационной задачи, полученного на предыдущем отрезке времени. Численности бизнес-задач, не принятые к выполнению ПР по результатам решения оптимизационной задачи, могут быть определены по формуле:

$$g_j = d_j - c_j x_j, j = \overline{1, n}. \quad (11)$$

Значения $g_j, j = \overline{1, n}$ добавляются к совокупности бизнес-задач, подлежащих выполнению в следующем единичном периоде времени, а возрастание их значений при последовательном решении рассматриваемой оптимизационной задачи сигнализирует о недостаточности вычислительных ресурсов, выделенных для функционирования ПР. Продолжительность T рассматриваемого единичного периода времени может определяться динамически, например, в результате контроля максимально допустимой накопленной численности экземпляров W_j бизнес-задач $P_j, j = \overline{1, n}$. В таком случае значения c_j целесообразно корректировать, например, по следующей формуле, с учетом констант t_j – продолжительностей выполнения ПР P_j одной задачи вида Z_j :

$$c_j = \left\lfloor \frac{T}{t_j} \right\rfloor, j = \overline{1, n}. \quad (12)$$

Результаты многократного решения рассмотренной оптимизационной задачи позволяют сформировать исходные данные для анализа использования выделенных вычислительных ресурсов. Пусть решено и упорядочено в хронологическом порядке множество задач $V, |V| = k$, для оптимальных решений $\mathbf{x}(x_1^p, x_2^p, \dots, x_n^p), p = \overline{1, k}$ которых по следующей формуле могут быть сформированы временные ряды значений неполного использования вычислительных ресурсов видов S_i :

$$S_i^p = b_i - \sum_{j=1}^n a_{ij} x_j^p, i = \overline{1, m}, p = \overline{1, k}. \quad (13)$$

Каждый набор значений $S_i^p, p = \overline{1, k}$ может быть исследован с применением методов анализа временных рядов и характеристик случайных величин с целью идентификации дефицитных, требующих увеличения, и недефицитных, допускающих сокращение, вычислительных ресурсов. Данному направлению исследований будут посвящены следующие работы авторов.

Таким образом, авторами предложен основанный на решении задач целочисленного линейного программирования метод последовательной локальной оптимизации численности одновременно функционирующих ПР из некоторой совокупности их видов в условиях ограниченности выделенных вычислительных ресурсов и формирования совокупностей поступающих на выполнение бизнес-задач. Также предложен основанный на обработке результатов применения метода последовательной локальной оптимизации способ формирования статистических данных, позволяющих идентифицировать дефицитные и недефицитные вычислительные ресурсы посредством применения известных методов анализа временных рядов и характеристик случайных величин.

5. ОПЫТ ПРИМЕНЕНИЯ ПР В РТУ МИРЭА

Институт информационных технологий (ИИТ) МИРЭА – Российского технологического университета (РТУ МИРЭА) использует в учебном процессе, в соответствии с заключенными соглашениями о сотрудничестве и лицензионными договорами, платформы программной роботизации Атом.РИТА⁶ (АО «Гринатом»⁷) и ROBIN (ООО «Робин»⁸). В рамках развития взаимодействия с Госкорпорацией «Росатом»⁹ и проекта «Цифровой университет»¹⁰ ИИТ РТУ МИРЭА с ноября 2023 г. начал реализовывать проект «Роботизация многофункционального центра» по применению RPA-платформы Атом.РИТА для разработки, внедрения и администрирования ПР в бизнес-процессах многофункционального центра РТУ МИРЭА:

- объектом исследования выступает многофункциональный центр – структурное подразделение в составе Управления по воспитательной и социальной работе, оказывающее студентам услуги по вопросам стипендий, проживания в общежитии, получения всех видов справок и другим вопросам;
- предметом исследования являются выполняемые многофункциональным центром бизнес-процессы, допускающие возможность программной роботизации их выполнения;
- субъект исследования представлен проектной группой сотрудников многофункционального центра и ИИТ;

⁶ <https://greenatom.ru/atom-rita/> (in Russ.). Дата обращения 17.06.2024. / Accessed June 17, 2024.

⁷ <https://greenatom.ru/> (in Russ.). Дата обращения 17.06.2024. / Accessed June 17, 2024.

⁸ <https://rpa-robin.ru/> (in Russ.). Дата обращения 17.06.2024. / Accessed June 17, 2024.

⁹ <https://www.rosatom.ru/index.html> (in Russ.). Дата обращения 17.06.2024. / Accessed June 17, 2024.

¹⁰ https://minobrnauki.gov.ru/upload/iblock/e16/dv6edzm_r0og5dm57dm0wyllr6uwtujw.pdf (in Russ.). Дата обращения 17.06.2024. / Accessed June 17, 2024.

- целью исследования является сокращение трудоемкости выполнения бизнес-процессов многофункционального центра посредством выделения в их составе бизнес-задач, допускающих выполнение посредством ПР.

Состав исследуемых бизнес-процессов и соответствующих бизнес-задач представлен в табл. 6.

Таблица 6. Исследуемые бизнес-процессы и бизнес-задачи

Бизнес-процесс	Бизнес-задачи (ПР)
Обработка заявок, поступивших от обучающихся	<ol style="list-style-type: none"> 1. Исполнение заявок о каникулах после государственной итоговой аттестации. 2. Исполнение заявок на оформление справки о доходах. 3. Исполнение заявок на оформление справки с места учебы. 4. Исполнение заявок на оформление справки о проживании в общежитии. 5. Перевод заявок в архив и удаление справок сроком более 1 месяца.
Передача данных об обучающихся в ГУП «Московский социальный регистр»	<ol style="list-style-type: none"> 1. Сбор согласий на передачу данных в ГУП «Московский социальный регистр». 2. Передача данных в ГУП «Московский социальный регистр». 3. Прием и обработка заявления об изготовлении стипендиальной карты.
Информирование обучающихся	<ol style="list-style-type: none"> 1. Рассылка подписанных справок с места учебы. 2. Рассылка оповещений студентам о просроченных паспортах.

В табл. 7 представлены сценарии функционирования некоторых из ПР, перечисленных в табл. 6.

В табл. 8 представлен расчет вычислительных ресурсов, необходимых рассматриваемым ПР для выполнения соответствующих бизнес-задач с использованием ПО и информационных сервисов:

- робот 1 – исполнение заявок на оформление справки с места учебы;
- робот 2 – исполнение заявок на оформление справки о доходах;
- робот 3 – рассылка оповещений студентам о просроченных паспортах.

Отличия в формировании содержания табл. 8 от табл. 2 иллюстрируют тот факт, что потребляемый ПР объем вычислительного ресурса (например, RAM) может определяться не только фактом параллельного использования некоторого количества версий какого-либо программного продукта или информационного сервиса, но и объемом обрабатываемой в них информации – открытыми файлами, вкладками и т.п.

С 10 января 2024 г. в многофункциональном центре РТУ МИРЭА функционирует ПР, изготавливающий справки об обучении в образовательной

Таблица 7. Общие сценарии функционирования некоторых из рассматриваемых ПР

Программные роботы	Сценарий функционирования
Исполнение заявок на оформление справки о доходах	<ol style="list-style-type: none"> 1. Вход в личный кабинет сотрудника РТУ МИРЭА. 2. Переход в раздел «Заявления», выбор соответствующего типа заявления. 3. Обработка данных из заявки. 4. Классификация заявок на обрабатываемые и отказываемые. 5. Выгрузка заявок в виде файлов Excel. 6. Смена статуса для каждой выгруженной заявки в ее файле Excel. 7. Рассылка файлов Excel по отделам бухгалтерии.
Исполнение заявок на оформление справки с места учебы	<ol style="list-style-type: none"> 1. Вход в личный кабинет сотрудника РТУ МИРЭА. 2. Переход в раздел «Заявления», выбор соответствующего типа заявления. 3. Обработка данных из заявки. 4. Осуществление входа в информационную систему «Тандем.Университет». 5. Классификация заявок на обрабатываемые и отказываемые. 6. Выгрузка файла Word со справкой. 7. Осуществление входа в облако РТУ МИРЭА. 8. Выгрузка файла справки в облако РТУ МИРЭА.
Рассылка подписанных справок с места учебы	<ol style="list-style-type: none"> 1. Вход в личный кабинет сотрудника РТУ МИРЭА. 2. Переход в раздел «Заявления», выбор соответствующего типа заявления. 3. Осуществление входа в облако РТУ МИРЭА. 4. Формирование ссылки на файл с подписанной справкой. 5. Прикрепление ссылки на файл к соответствующей заявке и ее закрытие.
Рассылка оповещений студентам о просроченных паспортах	<ol style="list-style-type: none"> 1. Вход в «Тандем.Университет». 2. Заполнение формы отчета в «Тандем.Университет». 3. Выгрузка и обработка файла Excel с данными об обучающихся. 4. Вход в личный кабинет сотрудника РТУ МИРЭА. 5. Переход в раздел «Панель управления объявлениями». 6. Формирование публикации с оповещением о просроченных паспортах с отправкой по списку из сформированного ранее файла Excel. 7. Почтовая рассылка по адресатам из публикации с оповещением.

организации (справки с места учебы) на основании электронных заявок в личном кабинете студента. По состоянию на 10.07.2024 г. робот успешно обработал более 46800 заявок, выдав более 45700 справок. Время выполнения одной заявки

Таблица 8. Расчет вычислительных мощностей, требующихся некоторым ПР, используемым в многофункциональном центре РТУ МИРЭА

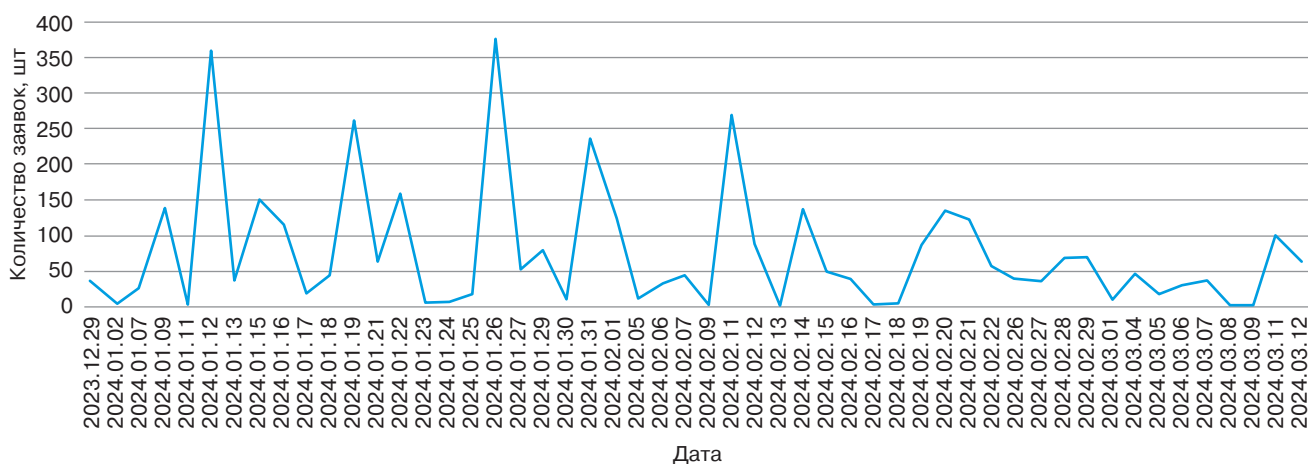
Вычислительный ресурс	Задействованное ПО	Требующийся ПО объем ресурс	Требующиеся ПР объемы ресурсов			Итоговая потребность
			Робот № 1	Робот № 2	Робот № 3	
Объем RAM, Мб (ресурс № 1)	Браузер	$O_{11} = 120$	120 + 60 + 60	120 + 60 + 60	120 + 60 + 60	720
	Текстовый процессор	$O_{12} = 85$	0	85 + 60	85 + 60	290
	Табличный процессор	$O_{13} = 65$	0	65 + 65	65 + 65	260
	Почта	$O_{14} = 65$	0	65 + 65	65 + 65	260
Потребности ПР в ресурсе № 1			240	645	645	1530
Количество потоков CPU (ресурс № 2)	Браузер	$P_{21} = 1$	1	1	1	3
	Текстовый процессор	$P_{22} = 1$	0	1	1	2
	Табличный процессор	$P_{23} = 1$	0	1	1	2
	Почта	$P_{24} = 1$	0	1	1	2
Потребности ПР в ресурсе № 2			1	4	4	9
Объем накопительных данных, Мб (ресурс № 3)	Браузер	$H_{31} = 2048$	2048	2048	2048	6144
	Текстовый процессор	$H_{32} = 1024$	0	1024	1024	2048
	Табличный процессор	$H_{33} = 1024$	0	1024	1024	2048
	Почта	$H_{34} = 512$	0	512	0	512
	Хранение файлов	нет	2048	100	100	2248
Потребности ПР в ресурсе № 3			4096	4708	4196	13000

сотрудником многофункционального центра составляет 155 секунд. Время выполнения ПР одной заявки составляет 100 секунд. Это говорит о том, что в данном случае две трети времени сотрудника расходуется на ожидание результатов работы используемого ПО и информационных сервисов. За 183 дня эксплуатации ПР экономия фонда рабочего времени сотрудников многофункционального

центра превысила 2015 человеко-часов или более 251 человеко-дня.

На рис. 2 представлена динамика поступления по дням заявок на изготовление ПР справки с места учебы, указанной в табл. 7.

Представленные на рис. 2 данные позволяют сделать вывод о том, что рассмотренная в настоящей статье задача управления численностью

**Рис. 2.** Динамика поступления заявок на изготовление справок с места учебы

одновременно функционирующих ПР из некоторой совокупности их видов в условиях ограниченности выделенных вычислительных ресурсов и изменения количества поступающих на выполнение задач соответствующих видов актуальна как в рамках описанного выше проекта «Роботизация многофункционального центра» (с учетом ввода в эксплуатацию ПР из табл. 7 в 2024 и 2025 гг.), так и в рамках дальнейшей программной роботизации бизнес-процессов подразделений РТУ МИРЭА.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Автоматическая оптимизация состава совокупностей одновременно функционирующих ПР в соответствии с количеством поступающих на выполнение бизнес-задач и объемами выделяемых для их эксплуатации вычислительных ресурсов является одним из направлений развития функциональных возможностей RPA-платформ, обеспечивающим их дополнительную конкурентоспособность за счет минимизации затрат на содержание (аренду) требующихся компонентов ИТ-инфраструктуры.

Материал настоящей статьи задает основу и открывает перспективы в новом направлении исследований. Это направление является не только

универсальным в сфере развития технологий программной роботизации, но и востребованным как в контексте обеспечения импортозамещения иностранных RPA-платформ, так и в условиях необходимости повышения эффективности функционирования организаций (хозяйствующих субъектов) в национальной экономике РФ.

Вклад авторов

Вклад авторов в настоящую статью соответствует принципам взаимодействия научного руководителя и аспиранта.

А.С. Зуев – постановка задачи исследования, консультации по вопросам проведения, обобщения и оценки результатов всех его этапов.

Д.А. Леонов – постановка и формализация рассмотренных задач, разработка изложенных подходов и методов.

Authors' contributions

The authors' contributions to this article are consistent with the principles of supervisor–postgraduate student interaction.

A.S. Zuev – task statement, advice on conducting, summarizing and evaluating the results of all stages of the study.

D.A. Leonov – formulation and formalization of the considered tasks, development of the outlined approaches and methods.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Елиферов В.Г., Репин В.В. *Бизнес-процессы. Регламентация и управление*. М.: ИНФРА-М; 2024. 319 с.
2. Долганова О.И. *Бизнес-процессы: анализ, моделирование, технологии совершенствования*. М.: КноРус; 2022. 324 с.
3. Денисенко В.Ю. Автоматизация производственных бизнес-процессов в условиях Индустрии 4.0 на промышленных предприятиях. *Вопросы инновационной экономики*. 2020;10(2):1007–1014. <https://doi.org/10.18334/vines.10.2.100878>
4. *Методологические основания технологических инноваций цифровой экономики*; под ред. М.О. Колбанева, И.Л. Коршунова. СПб.: Изд-во Санкт-Петербургского гос. экономического ун-та; 2023. 203 с.
5. Еремина И.И., Фролова О.Н., Нимазова Л.Н. *Платформа IC: Предприятие как инструмент совершенствования технико-экономического планирования предприятия*. Казань: Центр поддержки программ развития Казанского федерального университета; 2023. 112 с.
6. Серышев Р.В. *Инструменты управления бизнес-процессами организации*. М.: Русайнс; 2023. 276 с.
7. Ribeiro J., Lima R., Eckhardt T., Paiva S. Robotic Process Automation and Artificial Intelligence in Industry 4.0 – A Literature review. *Procedia Computer Science*. 2021;181(1):51–58. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2021.01.104>
8. Французов И.В. Стратегическая роль применения RPA-технологий в условиях современного технологического уклада. *Известия Юго-Западного государственного университета. Серия: Экономика. Социология. Менеджмент*. 2020;10(6):258–269.
9. Башлыкова А.А. *Интероперабельность и безопасность функционирования вычислительных и интеллектуальных систем*. М.: РТУ МИРЭА; 2022. 137 с. ISBN 978-5-7339-1645-3
10. Ermolaeva A.S., Selivanova M.A., Nemtsev V.N., Solomatin P.S. The Analysis of Implementation of Robotic Process Automation RPA: The Experience of Russian and Foreign Companies. In: Popkova E.G., Sergi B.S. (Eds.). *Modern Global Economic System: Evolutional Development vs. Revolutionary Leap. Lecture Notes in Networks and Systems*. 2021. V. 198. P. 1483–1492. https://doi.org/10.1007/978-3-030-69415-9_164
11. Séguin S., Benkalai I. Robotic Process Automation (RPA) Using an Integer Linear Programming Formulation. *Cybernetics and Systems*. 2020;51(4):357–369. <https://doi.org/10.1080/01969722.2020.1770503>
12. Соснило А.И., Соловьев Р.С. Оценка влияния технологии роботизации бизнес-процессов на современную экономическую систему. *Управленческое консультирование*. 2022;2(158):63–69. <https://doi.org/10.22394/1726-1139-2022-2-63-69>

13. Кутуков Н.Ю., Важдяев А.Н. Применение в образовании технологии автоматизации Robotic Process Automation. *Доклады Томского государственного университета систем управления и радиоэлектроники (Доклады ТУСУР)*. 2023;26(2):88–92. <https://doi.org/10.21293/1818-0442-2023-26-2-88-92>
14. Дегтярева В.В., Панченко К.П. Оценка эффективности RPA-технологий для обоснования их внедрения в транспортно-логистическую отрасль. *Первый экономический журнал*. 2023;1(331):50–57. https://doi.org/10.58551/20728115_2023_1_50
15. Никищенко С.А., Гаранин А.В. Использование программных роботов для автоматизации бизнес-процессов на железной дороге. *Транспортное дело России*. 2023;4:163–165.
16. Бадмаева А.Д., Перерва О.Л. Риски внедрения технологии RPA на наукоемкое предприятие. *Научный результат. Экономические исследования*. 2020;6(3):46–52. <https://doi.org/10.18413/2409-1634-2020-6-3-0-6>
17. Zarooni L., El Khatib M. Robotics process automation (RPA) and project risk management. *International Journal of Business Analytics and Security (IJBAS)*. 2023;3(1):74–90. <https://doi.org/10.54489/ijbas.v3i1.198>
18. Шиболденков В.А., Кхан Д.М. Внедрение роботизированной автоматизации процессов на основе многокритериальной математической модели. *Развитие и безопасность*. 2023;4(20):62–73. URL: <https://ds.nttu.ru/frontend/web/ngtu/files/nomera/2023/04/062.pdf>

REFERENCES

1. Eliferov V.G., Repin V.V. *Biznes-protsessy. reglamentatsiya i upravlenie (Business Processes. Regulation and Management)*. Moscow: INFRA-M; 2024. 319 p. (in Russ.).
2. Dolganova O.I. *Biznes-protsessy: analiz, modelirovanie, tekhnologii sovershenstvovaniya (Business Processes: Analysis, Modeling, Improvement Technologies)*. Moscow: KnoRus; 2022. 324 p. (in Russ.).
3. Denisenko V.Yu. Automation of Manufacturing Business Processes in the Context of Industry 4.0 in Industrial Enterprises. *Voprosy Innovatsionnoi Ekonomiki*. 2020;10(2):1007–1014 (in Russ.). <https://doi.org/10.18334/vinec.10.2.100878>
4. Kolbanev M.O., Korshunov I.L. (Eds.). *Metodologicheskie osnovaniya tekhnologicheskikh innovatsii tsifrovoy ekonomiki (Methodological Foundations of Technological Innovations of the Digital Economy)*. St. Petersburg: Saint Petersburg State University of Economics; 2023. 203 p. (in Russ.).
5. Eremina I.I., Frolova O.N., Nimazova L.N. *Platforma 1S: Predpriyatie kak instrument sovershenstvovaniya tekhniko-ekonomicheskogo planirovaniya predpriyatiya (1C Platform: Enterprise as a Tool for Improving Technical and Economic Planning of an Enterprise)*. Kazan: Center for Support of Development Programs of Kazan Federal University; 2023. 112 p. (in Russ.).
6. Seryshev R.V. *Instrumenty upravleniya biznes-protsessami organizatsii (Tools for Managing Business Processes of an Organization)*. Moscow: Rusains; 2023. 276 p. (in Russ.).
7. Ribeiro J., Lima R., Eckhardt T., Paiva S. Robotic Process Automation and Artificial Intelligence in Industry 4.0 – A Literature review. *Procedia Computer Science*. 2021;181(1):51–58. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2021.01.104>
8. Frantsuzov I.V. The Strategic Role of Applying RPA Technologies and the Emergence of a new Technological Mode. *Izvestiya Yugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Ekonomika. Sotsiologiya. Menedzhment = Proceedings of the Southwest State University. Series: Economy. Sociology. Management*. 2020;10(6):258–269 (in Russ.).
9. Bashlykova A.A. *Interoperabel'nost' i bezopasnost' funktsionirovaniya vychislitel'nykh i intellektual'nykh sistem (Interoperability and Security of Computing and Intelligent Systems Operation)*. Moscow: MIREA; 2022. 137 p. (in Russ.). ISBN 978-5-7339-1645-3
10. Ermolaeva A.S., Selivanova M.A., Nemtsev V.N., Solomatin P.S. The Analysis of Implementation of Robotic Process Automation RPA: The Experience of Russian and Foreign Companies. In: Popkova E.G., Sergi B.S. (Eds.). *Modern Global Economic System: Evolutional Development vs. Revolutionary Leap. Lecture Notes in Networks and Systems*. 2021. V. 198. P. 1483–1492. https://doi.org/10.1007/978-3-030-69415-9_164
11. Séguin S., Benkalai I. Robotic Process Automation (RPA) Using an Integer Linear Programming Formulation. *Cybernetics and Systems*. 2020;51(4):357–369. <https://doi.org/10.1080/01969722.2020.1770503>
12. Sosnilo A.I., Solovev R.S. Assessing the Impact of RPA on the Modern Economic System. *Upravlencheskoe konsul'tirovanie = Administrative Consulting*. 2022;2(158):63–69 (in Russ.). <https://doi.org/10.22394/1726-1139-2022-2-63-69>
13. Kutukov N.Y., Vazhdaev A.N. Application of Robotic Process Automation Technology in Education. *Doklady Tomskogo gosudarstvennogo universiteta sistem upravleniya i radioelektroniki (Doklady TUSUR) = Proceedings of TUSUR University*. 2023;26(2):88–92 (in Russ.). <https://doi.org/10.21293/1818-0442-2023-26-2-88-92>
14. Degtyareva V.V., Panchenko K.P. Evaluation of the Effectiveness of the Technology to Justifying its Implementation in the Transport and Logistics Industry. *Pervyi ekonomicheskii zhurnal = First Economic Journal*. 2023;1(331):50–57 (in Russ.). https://doi.org/10.58551/20728115_2023_1_50
15. Nikishchenkov S.A., Garanin A.V. Using Software Robots to Automate Business Processes on the Railroad. *Transportnoe delo Rossii = Transport Business in Russia*. 2023;4:163–165 (in Russ.).
16. Badmaeva A.D., Pererva O.L. Risks of Implementing RPA Technology at a Knowledge-based Enterprise. *Nauchnyi rezul'tat. Ekonomicheskie issledovaniya = Research Result. Economic Research*. 2020;6(3):46–52 (in Russ.). <https://doi.org/10.18413/2409-1634-2020-6-3-0-6>

17. Zarooni L., El Khatib M. Robotics process automation (RPA) and project risk management. *International Journal of Business Analytics and Security (IJBAS)*. 2023;3(1):74–90. <https://doi.org/10.54489/ijbas.v3i1.198>
18. Shiboldenkov V.A., Khan D.M. Implementation of Robotic Process Automation Based on a Multi-Criterial Mathematical Model. *Razvitie i bezopasnost' = Development and Security*. 2023;4(20):62–73. Available from URL: <https://ds.nntu.ru/frontend/web/ngtu/files/nomera/2023/04/062.pdf>

Об авторах

Зуев Андрей Сергеевич, к.т.н., доцент, директор Института информационных технологий, ФГБОУ ВО «МИРЭА – Российский технологический университет» (119454, Россия, Москва, пр-т Вернадского, д. 78). E-mail: zuev_a@mirea.ru. SPIN-код РИНЦ 6737-5778, <https://orcid.org/0000-0002-1797-7585>

Леонов Дмитрий Алексеевич, аспирант, старший преподаватель, кафедра практической и прикладной информатики, Институт информационных технологий, ФГБОУ ВО «МИРЭА – Российский технологический университет» (119454, Россия, Москва, пр-т Вернадского, д. 78). E-mail: leonov@mirea.ru. SPIN-код РИНЦ 1381-7071, <https://orcid.org/0009-0004-9775-6820>

About the authors

Andrey S. Zuev, Cand. Sci. (Eng.), Associate Professor, Director of the Institute of Information Technologies, MIREA – Russian Technological University (78, Vernadskogo pr., Moscow, 119454 Russia). E-mail: zuev_a@mirea.ru. RSCI SPIN-code 6737-5778, <https://orcid.org/0000-0002-1797-7585>

Dmitrii A. Leonov, Postgraduate Student, Senior Lecturer, Department of Practical and Applied Informatics, Institute of Information Technologies, MIREA – Russian Technological University (78, Vernadskogo pr., Moscow, 119454 Russia). E-mail: leonov@mirea.ru. RSCI SPIN-code 1381-7071, <https://orcid.org/0009-0004-9775-6820>