

УДК 519.2(063)
DOI: 10.25559/SITITO.18.202203.516-527

Оригинальная статья

Вероятностные сетевые модели исследования типовых технологических схем обработки информации в аналитических центрах

А. С. Леонтьев, С. А. Головин, К. В. Гусев*

ФГБОУ ВО «МИРЭА – Российский технологический университет», г. Москва, Российская Федерация

Адрес: 119454, Российская Федерация, г. Москва, пр. Вернадского, д. 78

* k_gusev@mirea.ru

Аннотация

Целью работы является автоматизация исследования процессов подготовки информационно-аналитических материалов (ИАМ) на основе разработки функциональных и сетевых вероятностных моделей анализа типовых технологических схем выпуска ИАМ в вычислительных центрах, построенных на базе локальных вычислительных сетей. Основными методами исследования являются методы теории вероятностей, теории случайных процессов и теории массового обслуживания. На основе теории случайных процессов разработан математический аппарат для аналитического исследования вероятностных сетевых моделей анализа временных характеристик процессов подготовки ИАМ. Результаты: получены функциональные уравнения и расчетные соотношения, позволяющие провести многовариантный анализ различных схем подготовки документов и выявить узкие места основных типовых технологий подготовки ИАМ.

Ключевые слова: информационно-аналитические материалы, вероятностные модели, типовые схемы, функция распределения, преобразование Лапласа-Стильтьеса, функциональные соотношения

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования: Леонтьев А. С., Головин С. А., Гусев К. В. Вероятностные сетевые модели исследования типовых технологических схем обработки информации в аналитических центрах // Современные информационные технологии и ИТ-образование. 2022. Т. 18, № 3. С. 516-527. doi: <https://doi.org/10.25559/SITITO.18.202203.516-527>

© Леонтьев А. С., Головин С. А., Гусев К. В., 2022



Контент доступен под лицензией Creative Commons Attribution 4.0 License.
The content is available under Creative Commons Attribution 4.0 License.



Probabilistic Network Models for the Study of Typical Technological Schemes of Information Processing in Analytical Centers

A. S. Leontiev, S.A. Golovin, K. V. Gusev*

MIREA – Russian Technological University, Moscow, Russian Federation

Address: 78 Vernadsky Ave., Moscow 119454, Russian Federation

* k_gusev@mirea.ru

Abstract

The aim of the work is to automate the study of the information and analytical materials (IAM) preparation based on the development of functional and network probabilistic models for the analysis of typical technological schemes to produce IAM in computing centers based on local computer networks. The main research methods are probability theory methods, theory of random processes and theory of queuing. Based on the theory of random processes, a mathematical apparatus has been developed for the analytical study of probabilistic network models for analyzing the time characteristics of IAM preparation processes. Results: Functional equations and calculation ratios have been obtained that make it possible to carry out a multivariate analysis of various schemes for preparing documents and to identify bottlenecks in the main typical technologies for preparing IAM.

Keywords: information and analytical materials, probabilistic models, typical schemes, distribution function, Laplace-Stiltjes transformation, functional relations

Conflict of interests: The authors declare no conflict of interest.

For citation: Leontiev A.S., Golovin S.A., Gusev K.V. Probabilistic Network Models for the Study of Typical Technological Schemes of Information Processing in Analytical Centers. *Modern Information Technologies and IT-Education*. 2022;18(3):516-527. doi: <https://doi.org/10.25559/SITITO.18.202203.516-527>



Введение

Необходимым условием сокращения сроков разработки и повышения качества функционирования, распределенных информационно-вычислительных систем, технической базой которых являются ЛВС, является разработка методов анализа эффективности реализуемых информационных технологий, в первую очередь типовых технологий подготовки аналитиками информационно-аналитических документов¹ [1-5]. Разработка математических моделей, описывающих основные этапы и схемы подготовки ИАМ, позволяет на основе многовариантного анализа различных вариантов технологий подготовки ИАМ автоматизировать выбор технических, программных и информационных компонент ЛВС, с помощью которых осуществляются различные режимы работы аналитиков при подготовке ИАМ. Основными методами исследования являются методы теории вероятностей², теории случайных процессов³, теории надежности и массового обслуживания⁴.

В соответствии с этим в данной работе рассмотрены общие методологические вопросы построения функциональных и сетевых вероятностных моделей исследования типовых технологических схем выпуска информационно-аналитических материалов (ИАМ) в вычислительных центрах, построенных на базе локальных вычислительных сетей. Разработан математический аппарат для аналитического исследования вероятностных сетевых моделей анализа временных характеристик процессов подготовки ИАМ. Получены функциональные уравнения и расчетные соотношения, позволяющие провести многовариантный анализ различных схем подготовки аналитиками документов и выявить узкие места основных типовых технологий подготовки ИАМ.

Типовые вероятностные технологические схемы подготовки ИАМ

Основными функциональными задачами ежедневно многократно решаемыми аналитиками в интересах органов государственной власти в информационно-аналитических центрах (ИАЦ) при подготовке информационно-аналитических материалов (ИАМ) являются поиск информации по фактографии, поиск информации по содержанию (контекстный), частотный

анализ по атрибутам документов, сортировка документов, кластеризация отобранных документов, семантический анализ [6-9].

Подготовка ИАМ начинается после получения задания.

В зависимости от информационных потребностей аналитик определяет тип запроса на информацию - контекстный или фактографический (операция Π). Пусть время t_{Π} , затраченное аналитиком на операцию в рассматриваемых ниже примерах Π , - 10 сек. Поисковое предписание для выполнения фактографического запроса формируется по атрибутам БД. Контекстный запрос к БД осуществляется по поисковому предписанию, сформированному с применением правил «Булевой алгебры» в пределах анализируемой предметной области. Как правило, контекстный запрос содержит элементы фактографического (например, интервал времени). Вероятность выбора аналитиком контекстного запроса в рассматриваемых ниже примерах - 0,8, фактографического - 0,2. Далее аналитик формирует поисковые предписания на фактографический (операция Π_1) или контекстный (операция Π_2) запросы. Время t_{Π_1} , затраченное на операцию Π_1 - 10 сек., время t_{Π_2} - 300 сек.

Далее на поисковом сервере выполняются технологические процессы T_1 (фактографический запрос) или T_2 (контекстный запрос). Время выполнения T_1 в рассматриваемых ниже примерах - 5 сек, T_2 - 15 сек. В результате выполнения запросов на рабочее место аналитика поступает коллекция документов, где производится ее предварительный анализ (операции $\alpha\Pi_1$ и $\alpha\Pi_2$) на релевантность поисковому предписанию и информационной полноте. Время $t_{\alpha\Pi_1}$, затраченное аналитиком в рассматриваемых примерах на операцию $\alpha\Pi_1$, - 180 сек., время $t_{\alpha\Pi_2}$ (операция $\alpha\Pi_2$) - от 180 до 1800 сек. Если коллекция документов не удовлетворяет потребностям аналитика, запрос может быть повторен. Причем вероятность повторения для фактографического запроса - 0,8, для контекстного - 0,9.

Если полученная коллекция документов удовлетворяет аналитика, то он принимает решение о способах дальнейшего анализа текстов. Для этого производится предварительный экспертный анализ (операция α_1), при котором, например, изучаются аннотации к текстам. Время t_{α_1} , затраченное аналитиком на операцию α_1 - от 60 до 600 сек.

¹ Хомякова Т. С. Формы и методы подготовки аналитической информации : методические указания / под ред. А. В. Карпушкиной. Челябинск : Изд. центр ЮУрГУ, 2017. 78 с. URL: <https://hsem.susu.ru/es/wp-content/uploads/sites/14/2017/02/НомыakovaTS-Formyi-i-metodyi-podgotovki-analiticheskoy-informatsii.pdf> (дата обращения: 03.07.2022); Демидов А. А., Захаров Ю. Н. Информационно-аналитические системы поддержки принятия решений в органах государственной власти и местного самоуправления. Основы проектирования и внедрения : учеб. пособие. СПб. : Университет ИТМО, 2012. 100 с. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=30661759> (дата обращения: 03.07.2022); Дудихин В. В., Дудихина О. В. Конкурентная разведка в Internet. Советы аналитика. М. : ДМК Пресс, 2007. 192 с. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=20242372> (дата обращения: 03.07.2022); Карминский А. М. Информационно-аналитическая составляющая бизнеса: методология и практика : монография. М. : Финансы и статистика, 2007. 272 с. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=22323062> (дата обращения: 03.07.2022); Ростовцева Д. В. Особенности документирования информационно-аналитической деятельности в органах регионального управления: информационные продукты // Делопроизводство. 2011. № 1. URL: <https://www.top-personal.ru/officeworkkissue.html?138> (дата обращения: 03.07.2022).

² Феллер В. Введение в теорию вероятностей и ее приложения : в 2-х т. Т. 1. М. : ЛИБРОКОМ, 2010. 528 с.; Вентцель Е. С. Теория вероятностей : учеб. для вузов. 6-е изд. стер. М. : Высш. шк., 1999. 576 с.

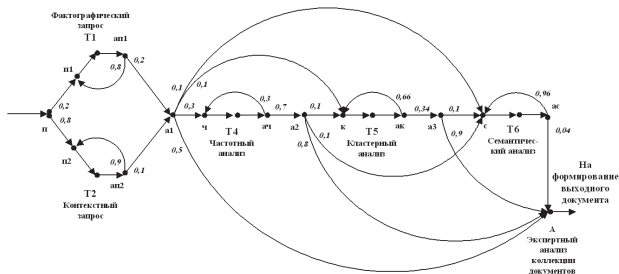
³ Вентцель Е. С. Теория случайных процессов и ее инженерные приложения. М. : Наука, 1991. 368 с.; Булинский А. В., Ширяев А. Н. Теория случайных процессов. М. : Физматлит, 2004. 403 с.

⁴ Андреев А. В., Яковлев В. В., Короткая Т. Ю. Теоретические основы надежности технических систем : учеб. пособие. СПб. : Изд-во Политехн. ун-та, 2018. 164 с. URL: <https://elibrary.spbstu.ru/dl/2/s18-248.pdf/download/s18-248.pdf> (дата обращения: 03.07.2022); Саати Т. Л. Элементы теории массового обслуживания и ее приложения. 3-е изд. М. : ЛИБРОКОМ, 2010. 520 с. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=19460791> (дата обращения: 03.07.2022); Клейнрок Л. Теория массового обслуживания. М. : Машиностроение, 1979. 432 с.; Гнеденко Б. В., Коваленко И. Н. Введение в теорию массового обслуживания. 2-е изд. перераб. и доп. М. : Наука, 1987. 336 с.



Описанные работы, определяющие операции по поиску информации в БД в рассматриваемых примерах едины для всех типов ИАМ.

На рис. 1 представлена схема технологического процесса подготовки ИАМ1.



Р и с. 1. Схема технологического процесса подготовки ИАМ1
F i g. 1. Scheme of the technological process of preparing IAM1
(IAM - Information and Analytical Materials)

При подготовке ИАМ1 аналитик в процессе выполнения операции a1 с вероятностью 0,5 принимает решение о том, что всю коллекцию следует направить на экспертный анализ. Вероятность использования в дальнейшем частотного анализа (Т4) - 0,3, кластерного анализа (Т5) - 0,1, семантического анализа (Т6) - 0,1.

Если выбирается необходимость построения частотных распределений, то прежде всего производится выбор соответствующих параметров частотного анализа (операция ч). Время t ч выполнения этой операции - 10 сек. Время t Т4 выполнения на свободном сервере (без учета фоновой нагрузки) операции Т4 составляет 7 сек.

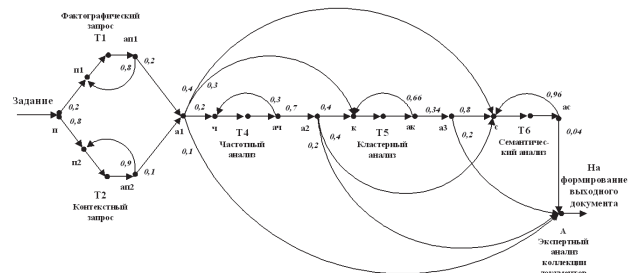
После проведения частотного анализа (Т4) аналитик принимает решение (операция ач, время t ач проведения которой - 5 сек.) о повторе Т4 с другими параметрами (атрибутами). Вероятность повтора - 0,3. С вероятностью 0,7 операция Т4 повторяться не будет. Далее аналитик принимает решение (операция а2, время выполнения t а2 - 30 сек.) о переходе к экспертному анализу (вероятность такого решения - 0,5), или о переходе к кластерному анализу (вероятность 0,1), или о переходе к семантическому анализу (вероятность 0,1). Перед проведением кластерного анализа аналитик производит настройку кластеров - операция к, время выполнения которой (t к) составляет 30 сек. Кластеризация - Т5 занимает (на свободном сервере) время t Т4, равное 10 сек.

После проведения кластерного анализа (Т5) с вероятностью 0,66 аналитик может принять решение о получении его следующего варианта, либо с вероятностью 0,34 перейти на выполнение других технологических процессов. Принятие решения (операция а3) о переходе к другим видам анализа занимает у аналитика 30 сек. (t а3). С вероятностью 0,9 результат кластерного анализа может быть передан для проведения экспертного анализа (операция А), либо с вероятностью 0,1 будет принято решение о проведении семантического анализа подборки документов (операция Т6).

Перед проведением семантического анализа аналитиком производится определение направления семантического анализа и настройка соответствующих параметров (опера-

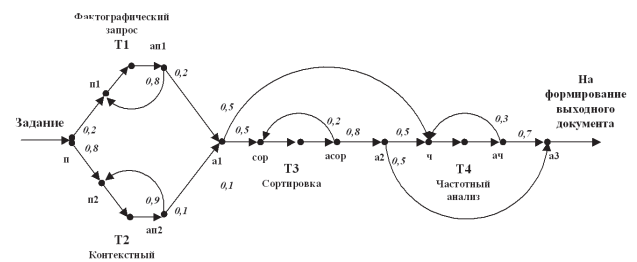
ция с) в течении 60 сек (t с). Время t Т6, в течение которого строится семантическая карта, варьируется от 30 до 300 сек. В зависимости от объема исходной информации. После изучения семантической карты (операция ас) аналитик с вероятностью 0,96 принимает решение об ее детализации (т.е. о построении следующего варианта семантической карты), с вероятностью 0,04 - о построении нового варианта семантической карты, и с вероятностью 0,04 - о переходе к экспертному анализу. Время t ас, необходимое аналитику для изучения варианта семантической карты, равно 15 сек.

Работы, выполняемые при подготовке ИАМ2, те же, что и для ИАМ1, однако вероятность выбора тех или иных операций (в частности Т4, Т5 и Т6 различны) (рис.2).



Р и с. 2. Схема технологического процесса подготовки ИАМ2
F i g. 2. Scheme of the technological process of preparing IAM2

Поиск информации для ИАМ3 состоит из тех же операций, что и для ИАМ1 (рис. 3).



Р и с. 3. Схема технологического процесса подготовки ИАМ3
F i g. 3. Scheme of the technological process of preparing IAM3

При подготовке ИАМ3 используются сортировка документов (Т3) и частотный анализ (Т4). Перед проведением этих операций аналитиком производится экспертный анализ (операция а1), в результате чего принимается решение о необходимости сортировки или частотного анализа. Время t а1, затраченное аналитиком на операцию а1, - 60 сек. Вероятность выбора аналитика технологического процесса Т3 (сортировки документов) или Т4 (частотного анализа) одинакова и равна 0,5.

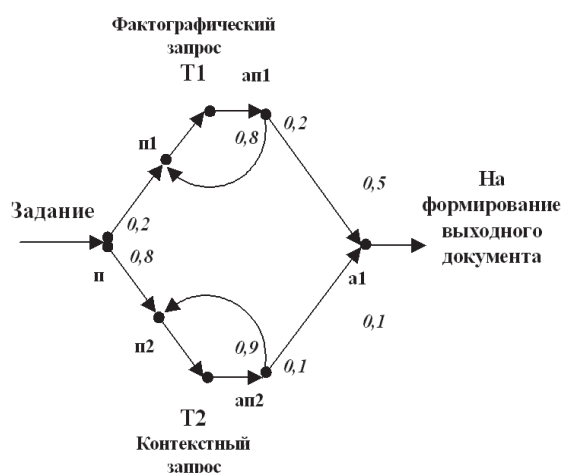
Аналитик выбирает параметры сортировки (операция сор, время t сор выполнения которой - 10 сек). После выполнения сортировки коллекции документов (Т3) аналитик с вероятностью 0,66 принимает решение о необходимости получения нового варианта сортировки, и с вероятностью 0,34 - о переходе к новым операциям. При этом он производит анализ (операция а2, t а2 - 5 сек.), в результате которого с веро-



яностью 0,5 происходит переход к частотному анализу (Т4, t_{T4} [на свободном сервере] равно 7 сек.), и вероятностью 0,5 - выход на формирование выходного документа (содержание и время выполнения этой работы здесь не рассматриваются).

Если выбирается необходимость построения частотных распределений, производится выбор соответствующих параметров частотного анализа (операция ч, $t_{ч}$ равно 10 сек). Время t выполнения на сервере (без нагрузки) операции Т4 - 7 сек. После построения частотного распределения документов аналитик определяет (операция ач, $t_{ач}$ равно 5 сек.) необходимость повтора Т4 с другими параметрами (атрибутами). Вероятность повтора - 0,3. С вероятностью 0,7 операция Т4 повторяться не будет. Далее в точке а3 происходит переход к формированию ИАМ.

Подготовка ИАМ4 (рис.4) сводится к выполнению технологических процессов Т1 и Т2.



Р и с. 4. Схема технологического процесса подготовки ИАМ4

Fig. 4. Scheme of the technological process of preparing IAM4

При этом с вероятностью 0,66 для Т1 и 0,8 для Т2 аналитик принимает решение об уточнении запроса, и с вероятностью 0,34 (0,2) передает результаты поиска на анализ выходной коллекции документов (А4).

Основные технологические процессы подготовки ИАМ формализованы в виде 4 классов сетевых вероятностных моделей, описывающих - технологические операции, выполняемые аналитиками, функциональные задачи, решаемые в клиент-серверном режиме аппаратно-программными средствами ИАЦ, а также последовательность выполнения технологических операций и решения функциональных задач. При этом узлы сети соответствуют технологическим операциям и функциональным задачам, а дуги соответствуют вероятности перехода от одного узла сети к другому. Время выполнения операции в узле сети является случайной величиной и описывается функцией распределения (ФР) этой случайной

величины. Параметры ФР времени выполнения технологических операций аналитиками (1-ый и 2-ой моменты ФР) определяются методами математической статистики на основании измерений [10-13].

Параметры ФР времени решения функциональных задач на серверах ИАЦ (моменты ФР) рассчитываются с помощью вложенной модели оценки временных характеристик обработки информации на аппаратно-программном уровне [14-16].

Функциональные уравнения для оценки вероятностно-временных характеристик основных операций типовых технологических схем подготовки ИАМ

Функциональные уравнения сетевых вероятностных моделей исследования процессов подготовки ИАМ базируются на использовании свойств аппарата преобразований Лапласа-Стилтьеса⁵ [14-16], заключающихся в том, что:

- преобразование Лапласа-Стилтьеса функции распределения некоторой случайной величины является производящей функцией для моментов ФР этой случайной величины;
- преобразование Лапласа-Стилтьеса ФР случайной величины, являющейся суммой независимых случайных величин, является произведением преобразований Лапласа-Стилтьеса ФР этих случайных величин.

В частности, эффективность применения математического аппарата, базирующегося на свойствах преобразований Лапласа-Стилтьеса ФР случайных величин, была продемонстрирована при разработке аналитических моделей исследования процессов обработки информации в локальных вычислительных сетях [17-21].

Рассмотрим простейший технологический процесс подготовки ИАМ. При поступлении запроса на подготовку ИАМ выполняются следующие действия:

- с вероятностью P_1 готовится предписание на фактографический поиск (ФР $P_1(t)$), выполняется поиск (ФР $T_1(t)$), анализируются отобранные документы (ФР $a_1(t)$), с вероятностью P_{11} уточняется предписание P_1 и повторяется операция поиска T_1 , а с вероятностью P_{12} ($P_{12}=1-P_{11}$) результаты передаются на конечную операцию - анализ выходной коллекции документов A_4 (ФР $A_4(t)$);

- с вероятностью P_2 готовится предписание на контекстный поиск (ФР $P_2(t)$), выполняется поиск (ФР $T_2(t)$), анализируются отобранные документы (ФР $a_2(t)$), с вероятностью P_{21} уточняется предписание P_2 и повторяется операция контекстного поиска T_2 , а с вероятностью P_{22} ($P_{22}=1-P_{21}$) результаты передаются на конечную операцию - анализ выходной коллекции документов A_4 (ФР $A_4(t)$).

Функциональное уравнение, описывающее преобразования Лапласа-Стилтьеса функции распределения времени подготовки ИАМ

$X^*(s) \{X^*(s) = \int_0^{\infty} e^{-st} dX(t)\}$ имеет вид:

⁵ Клейнрок Л. Теория массового обслуживания. М.: Машиностроение, 1979. 432 с.; Гнеденко Б. В., Коваленко И. Н. Введение в теорию массового обслуживания. 2-е изд. перераб. и доп. М.: Наука, 1987. 336 с.



$$X^*(s) = P_1\{(1-P_{11})\Pi_1^*(s)T_1^*(s)a_1^*(s)A_4^*(s)/[1-P_{11}\Pi_1^*(s)T_1^*(s)a_1^*(s)]\} + P_2\{(1-P_{21})\Pi_2^*(s)T_2^*(s)a_2^*(s)A_4^*(s)/[1-P_{21}\Pi_2^*(s)T_2^*(s)a_2^*(s)]\} \quad (1)$$

$$\text{где } \Pi_1^*(s) = \int_0^\infty e^{-st} d\Pi_1(t), \quad T_1^*(s) = \int_0^\infty e^{-st} dT_1(t),$$

$$a_1^*(s) = \int_0^\infty e^{-st} da_1(t),$$

$$\Pi_2^*(s) = \int_0^\infty e^{-st} d\Pi_2(t), \quad T_2^*(s) = \int_0^\infty e^{-st} dT_2(t),$$

$$a_2^*(s) = \int_0^\infty e^{-st} da_2(t).$$

Действительно функциональное соотношение, описывающее фактографический поиск имеет вид:

$$F_{\phi n}^*(s) = \sum_{k=1}^{\infty} P_{11}^{k-1} (1 - P_{11}) [\Pi_1^*(s) T_1^*(s) a_1^*(s)]^k = \frac{1 - P_{11}}{P_{11}} \sum_{k=1}^{\infty} P_{11}^k [\Pi_1^*(s) T_1^*(s) a_1^*(s)]^k = \frac{(1 - P_{11}) P_{11} \Pi_1^*(s) T_1^*(s) a_1^*(s)}{P_{11} [1 - P_{11} \Pi_1^*(s) T_1^*(s) a_1^*(s)]} = (1 - P_{11}) \frac{\Pi_1^*(s) T_1^*(s) a_1^*(s)}{[1 - P_{11} \Pi_1^*(s) T_1^*(s) a_1^*(s)]}, \quad (2)$$

$$\text{где } F_{\phi n}^*(s) = \int_0^\infty e^{-st} dF_{\phi n}(t) \text{ - преобразование Лапласа-}$$

Стилтьеса функции распределения времени выполнения операции фактографического поиска документов ($F_{\phi n}(t)$).

Дифференцируя соотношение (2) по s и полагая $s=0$, можно легко получить следующую формулу для оценки среднего времени операций фактографического поиска:

$$F_{\phi n}^{(1)} = -(F_{\phi n}^*(s))' |_{s=0} = \frac{1}{1 - P_{11}} [\Pi_1^{(1)} + T_1^{(1)} + a_1^{(1)}], \quad (3)$$

где $\Pi_1^{(1)}$ - среднее время подготовки оператором предписания на фактографический поиск на рабочей станции, $T_1^{(1)}$ - среднее время выполнения фактографического поиска на сервере ЛВС по заданному предписанию, $a_1^{(1)}$ - среднее время анализа на рабочей станции аналитиком документов, отобранных при фактографическом поиске по заданному предписанию, и принятие решения о корректировке операции поиска. Оценка параметров $\Pi_1^{(1)}$, $a_1^{(1)}$, а также вероятности P_{11} осуществляется статистическими методами на основе непосредственных измерений операций, выполняемых аналитиками на рабочих местах ЛВС.

Функциональные соотношения, описывающие операции контекстного поиска, имеют вид:

$$F_{kn}^*(s) = \sum_{i=1}^{\infty} P_{21}^{i-1} (1 - P_{21}) [\Pi_2^*(s) T_2^*(s) a_2^*(s)]^i = (1 - P_{21}) \frac{\Pi_2^*(s) T_2^*(s) a_2^*(s)}{[1 - P_{21} \Pi_2^*(s) T_2^*(s) a_2^*(s)]}, \quad (4)$$

$$\text{где } F_{kn}^*(s) = \int_0^\infty e^{-st} dF_{kn}(t) \text{ - преобразование Лапласа-}$$

Стилтьеса функции распределения ($F_{kn}(t)$) времени выполнения операций контекстного поиска документов в ЛВС, включая операции на рабочей станции и сервере поиска. Из выражения (4) легко получить следующую формулу для оценки среднего времени операций контекстного поиска в ЛВС:

$$F_{kn}^{(1)} = -(F_{kn}^*(s))' |_{s=0} = \frac{1}{1 - P_{21}} [\Pi_2^{(1)} + T_2^{(1)} + a_2^{(1)}], \quad (5)$$

где $\Pi_2^{(1)}$ - среднее время подготовки оператором предписания на контекстный поиск на рабочей станции, $T_2^{(1)}$ - среднее время выполнения фактографического поиска на сервере ЛВС по заданному предписанию, $a_2^{(1)}$ - среднее время анализа на рабочей станции аналитиком документов, отобранных при контекстном поиске по заданному предписанию, и принятия решения о корректировке предписания на поиск.

Определив с помощью вложенной модели аппаратно-программного уровня параметры ФР $T_1(t)$ и $T_2(t)$ и дифференцируя функциональное уравнение (1) по s , легко получить расчетные соотношения для оценки среднего значения ($X^{(1)}$), дисперсии ($X^{(2)} - (X^{(1)})^2$) ФР времени подготовки ИАМ ($X(t)$) для заданного технологического процесса. В частности, $X^{(1)}$ определяется следующей формулой:

$$X^{(1)} = (P_1 F_{\phi n}^{(1)} + P_2 F_{kn}^{(1)}) + A_4^{(1)} = \{P_1 \frac{1}{1 - P_{11}} [\Pi_1^{(1)} + T_1^{(1)} + a_1^{(1)}] + P_2 \frac{1}{1 - P_{21}} [\Pi_2^{(1)} + T_2^{(1)} + a_2^{(1)}]\} + A_4^{(1)}, \quad (6)$$

где P_1 - вероятность того, что при выполнении операций поиска документов будет реализовываться фактографический поиск, а P_2 ($P_2 = 1 - P_1$) - вероятность того, что будет реализовываться контекстный поиск, $A_4^{(1)}$ - среднее время анализа аналитиком выходной коллекции документов.

Не представляет затруднений вывод функциональных уравнений и для других технологических процессов описываемых сетевыми вероятностными моделями. Зная моменты ФР времени подготовки ИАМ ($X^{(1)}$, $X^{(2)}$), можно



легко вычислить, используя соответствующую аппроксимацию в классе двухпараметрических функций, и вероятность подготовки ИАМ к заданному сроку.

Наряду с такими базовыми задачами как фактографический и контекстный поиск, выполняемыми в ЛВС информационно-аналитических центров, аналитики часто решают в клиент-серверном режиме такие базовые задачи, как частотный анализ, кластерный анализ и семантический анализ. Приведем функциональные и расчетные соотношения, описывающие случайные процессы частотного, кластерного и семантического анализа. Функциональные соотношения, описывающие базовые операции частотного анализа, имеют вид:

$$T_{ча}^*(s) = (1 - P_ч) \frac{U_ч^*(s)T_ч^*(s)a_ч^*(s)}{[1 - P_чU_ч^*(s)T_ч^*(s)a_ч^*(s)]}, \quad (7)$$

где $T_{ча}^*(s) = \int_0^{\infty} e^{-st} dT_{ча}(t)$ - преобразование Лапласа-

Стильтьеса функции распределения ($T_{ча}(t)$) времени выполнения операций частотного анализа документов в ЛВС, включая операции на рабочей станции и сервере поиска;

$$U_ч^*(s) = \int_0^{\infty} e^{-st} dU_ч(t), \quad U_ч(t) - \text{ФР времени выбора на}$$

рабочей станции оператором параметров для решения задачи частотного анализа;

$$T_ч^*(s) = \int_0^{\infty} e^{-st} dT_ч(t), \quad T_ч(t) - \text{ФР времени выполнения}$$

операции частотного анализа на сервере ЛВС;

$$a_ч^*(s) = \int_0^{\infty} e^{-st} da_ч(t), \quad a_ч(t) - \text{ФР времени принятия}$$

решения аналитиком о повторе операции частотного анализа;

$P_ч$ - вероятность повторного выполнения операции частотного анализа.

Из соотношения (7) легко получить расчетные соотношения для среднего времени операций частотного анализа документов ($T_{ча}^{(1)}$):

$$T_{ча}^{(1)} = -(T_{ча}^*(s))' |_{s=0} = \frac{1}{1 - P_ч} [U_ч^{(1)} + T_ч^{(1)} + a_ч^{(1)}], \quad (8)$$

Не представляет затруднений вывод функциональных соотношений в терминах преобразований Лапласа-Стильтьеса, описывающих базовые операции кластерного и семантического анализа при подготовке информационно-аналитических документов:

$$T_{кла}^*(s) = (1 - P_{кл}) \frac{K_{кл}^*(s)T_{к}^*(s)a_{кл}^*(s)}{[1 - P_{кл}K_{кл}^*(s)T_{к}^*(s)a_{кл}^*(s)]}, \quad (9)$$

где $T_{кла}^*(s) = \int_0^{\infty} e^{-st} dT_{кла}(t)$ - преобразование Лапласа-

Стильтьеса функции распределения времени выполнения операций кластерного анализа документов в ЛВС, включая операции на рабочей станции и сервере поиска, $K_{кл}^*(s)$,

$T_{к}^*(s), a_{кл}^*(s)$ - преобразования Лапласа-Стильтьеса

функций распределения, соответственно, времени выбора на рабочей станции оператором параметров для решения задачи кластерного анализа, времени выполнения операции кластерного анализа на сервере ЛВС, времени принятия решения аналитиком о повторе операции кластерного анализа, $P_{кл}$ - вероятность повторного выполнения операции кластерного анализа.

$$T_{сем}^*(s) = (1 - P_c) \frac{C_{са}^*(s)T_c^*(s)a_c^*(s)}{[1 - P_cC_{са}^*(s)T_c^*(s)a_c^*(s)]}, \quad (10)$$

где $T_{сем}^*(s) = \int_0^{\infty} e^{-st} dT_{сем}(t)$ - преобразование Лапласа-

Стильтьеса функции распределения времени выполнения операций семантического анализа документов в ЛВС, включая операции на рабочей станции и сервере поиска,

$C_{са}^*(s), T_c^*(s), a_c^*(s)$ - преобразования Лапласа-

Стильтьеса функций распределения, соответственно, времени выбора на рабочей станции оператором параметров для решения задачи семантического анализа, времени выполнения операции семантического анализа на сервере ЛВС, времени принятия решения аналитиком о повторе

операции семантического анализа, P_c - вероятность повторного выполнения операции семантического анализа.

Из функциональных выражений (9) и (10) можно легко получить моменты ФР $T_{кла}(t)$ и $T_{сем}(t)$. В частности,

математические ожидания $T_{кла}^{(1)}$ и $T_{сем}^{(1)}$ определяются формулами:

$$T_{кла}^{(1)} = -(T_{кла}^*(s))' |_{s=0} = \frac{1}{1 - P_{кл}} [K_{кл}^{(1)} + T_{к}^{(1)} + a_{кл}^{(1)}], \quad (11)$$

$$T_{сем}^{(1)} = -(T_{сем}^*(s))' |_{s=0} = \frac{1}{1 - P_c} [C_{са}^{(1)} + T_c^{(1)} + a_c^{(1)}], \quad (12)$$

При этом средние времена выполнения операций кластерного $T_{к}^{(1)}$ и семантического $T_c^{(1)}$ анализа на сервере

ЛВС определяются с помощью вложенной аналитической модели аппаратно-программного уровня, а параметры $P_{кл}$,

$P_c, K_{кл}^{(1)}, C_{са}^{(1)}, a_{кл}^{(1)}, a_c^{(1)}$ оцениваются статистическими методами на основании серии непосредственных измерений количества повторений и времени выполнения операций в



ЛВС на рабочих местах аналитиков при решении ими базисных задач.

Рассмотрим типовой технологический тракт подготовки информационно-аналитических документов на основе рассмотренных выше базовых операций. Пусть технологический тракт включает базовые операции фактографического и контекстного поиска документов, частотного, кластерного и семантического анализа коллекции документов, а также заключительную операцию анализа выходной коллекции документов.

Операции фактографического и контекстного поиска, выполняемые аналитиками при подготовке информационно-аналитических материалов, рассмотрены при выводе функционального соотношения (1). Из этого соотношения легко получить преобразование Лапласа-Стильтьеса для функции распределения времени выполнения обобщенной операции «Поиск» - $ПОИСК(t)$:

$$ПОИСК^*(s) = P_1\{(1-P_{11})\Pi_1^*(s)T_1^*(s)a_1^*(s)/[1-P_{11}\Pi_1^*(s)T_1^*(s)a_1^*(s)]\} + P_2\{(1-P_{21})\Pi_2^*(s)T_2^*(s)a_2^*(s)/[1-P_{21}\Pi_2^*(s)T_2^*(s)a_2^*(s)]\}, \quad (13)$$

$$\text{где } ПОИСК^*(s) = \int_0^{\infty} e^{-st} d(ПОИСК(t)).$$

Дифференцируя функциональное соотношение (13) по s можно легко получить расчетные формулы для моментов ФР $ПОИСК(t)$. В частности, среднее значение операции «Поиск» ($ПОИСК^{(1)}$) рассчитывается по следующей формуле:

$$ПОИСК^{(1)} = \{P_1 \frac{1}{1-P_{11}} [\Pi_1^{(1)} + T_1^{(1)} + a_1^{(1)}] + P_2 \frac{1}{1-P_{21}} [\Pi_2^{(1)} + T_2^{(1)} + a_2^{(1)}]\}. \quad (14)$$

После завершения обобщенной операции «Поиск» аналитиком принимается решение о дальнейшей обработке коллекции документов, найденной в соответствии с заданными им предписаниями на фактографический и контекстный поиск информации, (операция анализ A_1 , ФР длительности этой операции $A_1(t)$). После завершения операции A_1 с вероятностью $P_{1ч}$ коллекция документов передается на операцию частотного анализа $ЧА$ (ФР $T_{ча}(t)$), с вероятностью $P_{1кл}$ - на операцию кластерного анализа $КЛА$ (ФР $T_{кла}(t)$), с вероятностью $P_{1с}$ - на операцию семантического анализа $СА$ (ФР $T_{сем}(t)$) и с вероятностью $P_{1к}$ - на операцию экспертного анализа выходной коллекции документов $АКД$ (ФР $AK(t)$). При этом выполняется условие нормировки $P_{1ч}+P_{1кл}+P_{1с}+P_{1к}=1$.

После выполнения операции частотного анализа аналитиком принимается решение о дальнейшей обработке документов (операция анализ A_2 , ФР длительности этой операции $A_2(t)$). После завершения операции A_2 с вероятностью $P_{2кл}$ коллекция документов передается на операцию $КЛА$, с вероятностью $P_{2с}$ - на операцию семантического анализа $СА$ и с вероятностью $P_{2к}$ - на операцию $АКД$ ($P_{2кл}+P_{2с}+P_{2к}=1$).

После выполнения операции кластерного анализа аналитиком снова принимается решение о дальнейшей

обработке документов (операция анализ A_3 , ФР длительности этой операции $A_3(t)$). После завершения операции A_3 с вероятностью $P_{3с}$ коллекция документов передается на операцию семантического анализа $СА$ и с вероятностью $P_{3к}$ - на операцию $АКД$ ($P_{3с}+P_{3к}=1$). И, наконец, после завершения операции $СА$ всегда выполняется операция $АКД$ - экспертный анализ выходной коллекции документов.

Функциональное уравнение, определяющее преобразование Лапласа-Стильтьеса ФР времени подготовки информационно-аналитических материалов $ИАМ_1(t)$ в соответствии с рассмотренной выше вероятностной сетевой моделью типового технологического тракта, можно получить, воспользовавшись функциональными

соотношениями (7), (9), (10), (13), определяющими $T_{ча}^*(s)$,

$$T_{кла}^*(s), T_{сем}^*(s), ПОИСК^*(s):$$

$$\begin{aligned} ИАМ_1^*(s) = & ПОИСК^*(s) A_1^*(s) \{P_{1к} AK^*(s) + P_{1с} T_{сем}^*(s) AK^*(s) + P_{1ч} T_{ча}^*(s) A_2^*(s) [P_{2с} T_{сем}^*(s) AK^*(s) + P_{2к} AK^*(s)] + \\ & P_{2кл} T_{кла}^*(s) A_3^*(s) [P_{3с} T_{сем}^*(s) AK^*(s) + P_{3к} AK^*(s)]\} = \\ & ПОИСК^*(s) A_1^*(s) \{P_{1к}+P_{1с} T_{сем}^*(s) + \\ & P_{1ч} T_{ча}^*(s) A_2^*(s) (P_{2к}+P_{2с} T_{сем}^*(s)) + (P_{1кл} + P_{1ч} P_{2кл}) \\ & T_{кла}^*(s) A_2^*(s) [T_{кла}^*(s) A_3^*(s) (P_{3с} T_{сем}^*(s) + P_{3к})] + \\ & + P_{1ч} T_{ча}^*(s) A_2^*(s) (P_{2к}+P_{2с} T_{сем}^*(s))\} AK^*(s). \quad (15) \end{aligned}$$

Дифференцируя (15) по s , получим следующее соотношение для расчета среднего времени подготовки $ИАМ_1$ ($ИАМ_1^{(1)}$):

$$\begin{aligned} ИАМ_1^{(1)} = & ПОИСК^{(1)} + A_1^{(1)} + P_{1ч} (T_{ча}^{(1)} + A_2^{(1)}) + \\ & + (P_{1кл} + P_{1ч} P_{2кл}) [T_{кла}^{(1)} + A_3^{(1)}] + \\ & + (P_{1с} + P_{1ч} P_{2с} + P_{1ч} P_{2к} P_{3с}) T_{сем}^{(1)} + AK^{(1)}. \quad (16) \end{aligned}$$

При этом значения $ПОИСК^{(1)}$, $T_{ча}^{(1)}$, $T_{кла}^{(1)}$, $T_{сем}^{(1)}$ оцениваются на основании параметров ФР типовых базовых операций с помощью соотношений (14), (8), (11), (12).

Не представляет затруднений оценка на основе функциональных соотношений (7), (9), (10), (13), (15) не только среднего значения ФР $ИАМ_1(t)$, но и второго момента и дисперсии этой ФР.

Обычно для подготовки итогового информационно-аналитического документа $ИАМ_{1\Sigma}$ требуется подготовить несколько $ИАМ_1$ в соответствии с рассмотренным (или похожим) типовым технологическим трактом. При этом обычно известно (определяется на основе статистических данных) распределение дискретной целочисленной функции количества $ИАМ_1$, подготавливаемых при разработке $ИАМ_{1\Sigma}$. Тогда распределение Лапласа-Стильтьеса ФР времени разработки $ИАМ_{1\Sigma}$ определяется следующим соотношением:



$$ИАМ_{1\Sigma}^*(s) = P_{1\Sigma}(ИАМ_1^*(s))^{K1} + P_{2\Sigma}(ИАМ_1^*(s))^{K2} + \dots + P_{n\Sigma}(ИАМ_1^*(s))^{Kn}, \quad (17)$$

где $P_{i\Sigma}$ - вероятность того, что при разработке итогового $ИАМ_{1\Sigma}$ необходимо подготовить K_i $ИАМ_i$ по рассмотренной выше первой технологической схеме ($i=1, n$). $\sum_{i=1}^n P_{i\Sigma} = 1$.

Моменты ФР времени разработки итогового документа $ИАМ_{1\Sigma}$ можно определить, дифференцируя выражение (17) по s . В частности, среднее время разработки итогового документа $ИАМ_{1\Sigma}^{(1)}$ равно:

$$ИАМ_{1\Sigma}^{(1)} = P_{1\Sigma} * K1 * ИАМ_1^{(1)} + P_{2\Sigma} * K2 * ИАМ_1^{(1)} + \dots + P_{n\Sigma} * Kn * ИАМ_1^{(1)}. \quad (18)$$

При этом оценка $ИАМ_1^{(1)}$ производится с помощью соотношения (16), а вероятности $P_{i\Sigma}$ ($i=1, n$) оцениваются на основании статистических данных по разработке итоговых информационно-аналитических материалов за длительный промежуток времени (порядка нескольких лет). Не представляет затруднений вывод функциональных уравнений и для других технологических трактов подготовки информационно-аналитических материалов, описываемых сетевыми вероятностными моделями. Рассчитав первый и второй моменты ФР времени подготовки ИАМ в соответствии с определенной сетевой вероятностной моделью технологического тракта (например $ИАМ_1^{(1)}$, $ИАМ_1^{(2)}$) и определив первый и второй моменты ФР длительности разработки итогового документа (например $ИАМ_{1\Sigma}^{(1)}$, $ИАМ_{1\Sigma}^{(2)}$), можно легко вычислить и

вероятность подготовки ИАМ или разработки итогового документа к заданному сроку, используя соответствующую аппроксимацию в классе двухпараметрических функций [22-25].

Заключение

В данной работе получены следующие основные результаты:

- Описаны общие схемы процесса подготовки информационно-аналитических материалов, позволяющие продемонстрировать взаимосвязи основных технологических операций, что дает возможность руководителю выявить «узкие» места и тем самым обеспечить стабильность качества выходных аналитических материалов.
- Разработаны сетевые вероятностные модели исследования типовых технологических схем выпуска информационно-аналитических материалов (ИАМ) в вычислительных центрах, построенных на базе локальных вычислительных сетей.
- Разработан математический аппарат для аналитического исследования вероятностных сетевых моделей анализа временных характеристик процессов подготовки ИАМ. Получены функциональные уравнения и расчетные соотношения, позволяющие провести многовариантный анализ различных схем подготовки документов и выявить узкие места основных типовых технологий подготовки ИАМ.
- На базе теории случайных процессов получены достаточно универсальные расчетные соотношения для анализа вероятностно-временных характеристик типовых процессов подготовки ИАМ, которые могут представлять интерес для широкого круга специалистов.
- Предложенные вероятностные сетевые модели и реализованный на их основе пакет прикладных программ были использованы при исследовании и оптимизации типовых технологических схем обработки информации в аналитических центрах, предназначенных для информационно-аналитического обеспечения пользователей органов государственной власти.

Список использованных источников

- [1] Зацаринный А. А., Королев В. И. Особенности подготовки информационно-аналитического продукта средствами сегментированного ситуационного центра // Системы и средства информатики. 2017. Т. 27, № 4. С. 122-131. doi: <https://doi.org/10.14357/08696527170409>
- [2] Коростелев А. А., Полторецкий Д. А. Автоматизированные информационно-аналитические системы в аналитической деятельности управления // Азимут научных исследований: педагогика и психология. 2012. № 1. С. 38-41. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=20841427> (дата обращения: 03.07.2022).
- [3] Голубинский Е. Ю. Методика аналитического мониторинга качества информационно-аналитических материалов, подготавливаемых в интересах органов власти // Информационные системы и технологии. 2013. № 4(78). С. 69-76. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=20468025> (дата обращения: 03.07.2022).
- [4] Овсянников А. А., Голубинский Е. Ю. Формирование системы характеристик качества информационно-аналитических материалов // Информационные системы и технологии. 2012. № 5(73). С. 73-81. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=17862625> (дата обращения: 03.07.2022).
- [5] Сливцкий А. Б., Дьячкова Т. А. Современные информационно-аналитические технологии поддержки принятия решений // Россия: Тенденции и перспективы развития : Ежегодник. Материалы XIII междунар. науч. практ. конф. ; отв. ред. В. И. Герасимов. Вып. 17. Часть 3. М. : ИНИОН РАН, 2022. С. 560-569. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=49700565> (дата обращения: 03.07.2022).
- [6] Сливцкий Б.А., Сливцкий А.Б. Теоретико-методологические основания анализа социально-экономических систем // Материалы Афанасьевских чтений. 2022. № 1(38). С. 67-76. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=48044225> (дата обращения: 03.07.2022).



- [7] Дадабаева Р. А. Место и роль информационно-аналитических систем в цифровой экономике [Электронный ресурс] // Современные проблемы права, экономики и управления. 2019. № 2(9). С. 64-70. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=41562961> (дата обращения: 03.07.2022).
- [8] Ковалева Т. Ю. Информационно-аналитические системы управления кластерным пространственным развитием регионов: анализ и приоритеты совершенствования // Вестник Пермского университета. Сер. «Экономика». 2020. Т. 15, № 1. С. 84-109. doi: <https://doi.org/10.17072/1994-9960-2020-1-84-109>
- [9] Дубровская Ю. В., Козоногова Е. В., Молодчик А. В. К вопросу алгоритмизации и автоматизации процесса регионального стратегирования // Управленец. 2019. Т. 10, № 4. С. 65-74. doi: <https://doi.org/10.29141/2218-5003-2019-10-4-6>
- [10] Хорошевский В. Г., Павский В. А., Павский К. В. Расчет показателей живучести распределенных вычислительных систем // Вестник Томского государственного университета. Управление, вычислительная техника и информатика. 2011. № 2(15). С. 81-88. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=16452670> (дата обращения: 03.07.2022).
- [11] Бубнов В. П., Сафонов В. И., Шардаков К. С. Обзор существующих моделей нестационарных систем обслуживания и методов их расчета // Системы управления, связи и безопасности. 2020. № 3. С. 65-121. doi: <https://doi.org/10.24411/2410-9916-2020-10303>
- [12] Сиголов Г. Г., Люперсольский А. М. Метод приближенного расчета переходных процессов в сетевых моделях массового обслуживания // Автоматика и вычислительная техника. 1990. № 3. С. 40-43.
- [13] Тырва А. В., Хомоненко А. Д. Метод планирования тестирования сложных программных комплексов на этапах проектирования и разработки // Научно-технические ведомости Санкт-Петербургского государственного политехнического университета. Информатика. Телекоммуникации. Управление. 2009. № 4(82). С. 125-131. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=12977014> (дата обращения: 03.07.2022).
- [14] Бирюкова А. А., Гусев К. В., Леонтьев А. С. Метод поддержки принятия управленческих решений в кризисных ситуациях на базе автоматизированных систем управления // Информатизация и связь. 2022. № 6. С. 65-74. doi: <https://doi.org/10.34219/2078-8320-2022-13-6-65-74>
- [15] Стариков П. П., Дроздов А. В., Щетинин Г. А. Разработка типовой системы управления телекоммуникационной системой связи // Информатизация и связь. 2021. № 6. С. 144-149. doi: <https://doi.org/10.34219/2078-8320-2021-12-6-144-149>
- [16] Обзор современных моделей и методов анализа временных рядов динамики процессов в социальных, экономических и социотехнических системах / Е. Г. Андрианова, С. А. Головин, С. В. Зыков [и др.] // Российский технологический журнал. 2020. Т. 8, № 4(36). С. 7-45. doi: <https://doi.org/10.32362/2500-316X-2020-8-4-7-45>
- [17] Влияние четвертой промышленной революции на жизнь современного общества / А. С. Стороженко [и др.] // Мягкие измерения и вычисления. 2019. № 9(22). С. 72-76. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=41688933> (дата обращения: 03.07.2022).
- [18] El Emam K., Melo W., Machado J. C. The prediction of faulty classes using object-oriented design metrics // Journal of Systems and Software. 2001. Vol. 56, issue 1. P. 63-75. doi: [https://doi.org/10.1016/S0164-1212\(00\)00086-8](https://doi.org/10.1016/S0164-1212(00)00086-8)
- [19] Huang C.-Y., Huang W.-C. Software Reliability Analysis and Measurement Using Finite and Infinite Server Queueing Models // IEEE Transactions on Reliability. 2008. Vol. 57, issue 1. P. 192-203. doi: <https://doi.org/10.1109/TR.2007.909777>
- [20] Воробович Н. П. Аналитические методы расчета временных параметров сетевой модели // Вестник КрасГАУ. 2010. № 4(43). С. 6-10. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=15199354> (дата обращения: 03.07.2022).
- [21] Потехина Е. В., Хрипунова П. В. Эволюция основных методов сетевого планирования и управления // Социальная политика и социология. 2022. Т. 21, № 1(142). С. 38-45. doi: <https://doi.org/10.17922/2071-3665-2022-21-1-38-45>
- [22] Strategizing for Production Innovation / D. Romero [и др.] // Advances in Production Management Systems. The Path to Intelligent, Collaborative and Sustainable Manufacturing. APMS 2017. IFIP Advances in Information and Communication Technology ; ed. by H. Lödding, R. Riedel, K. D. Thoben, G. von Cieminski, D. Kiritsis. Vol. 513. Cham : Springer, 2017. P. 3-12. doi: https://doi.org/10.1007/978-3-319-66923-6_1
- [23] Wunder T. Mindsets for Linking Strategy and Sustainability: Planetary Boundaries, Social Foundations, and Sustainable Strategizing // Rethinking Strategic Management. CSR, Sustainability, Ethics & Governance ; Wunder T. (ed.). Cham: Springer; 2019. p. 1-40. doi: https://doi.org/10.1007/978-3-030-06014-5_1
- [24] Pundhir S., Kumari V., Ghose U. Performance Interpretation of Supervised Artificial Neural Network Highlighting Role of Weight and Bias for Link Prediction // International Conference on Artificial Intelligence and Sustainable Engineering. Lecture Notes in Electrical Engineering ; ed. by G. Sanyal [и др.]. Vol. 836. Singapore: Springer, 2022. P. 109-119. doi: https://doi.org/10.1007/978-981-16-8542-2_9
- [25] Plish V. E., Suslov V. Y., Truten' A. E. Information-Analytical Systems as Intelligent Partners of Decision-Makers // Cybernetics and Systems Analysis. 2004. Vol. 40, issue 3. P. 438-450. doi: <https://doi.org/10.1023/B:CASA.0000042002.83378.b5>

Поступила 03.07.2022; одобрена после рецензирования 15.09.2022; принята к публикации 30.09.2022.



Об авторах:

Леонтьев Александр Савельевич, старший научный сотрудник, доцент кафедры математического обеспечения и стандартизации информационных технологий Института информационных технологий, ФГБОУ ВО «МИРЭА – Российский технологический университет» (119454, Российская Федерация, г. Москва, пр. Вернадского, д. 78), кандидат технических наук, **ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3673-2468>**, leontev@mirea.ru

Головин Сергей Анатольевич, заведующий кафедрой математического обеспечения и стандартизации информационных технологий Института информационных технологий, ФГБОУ ВО «МИРЭА – Российский технологический университет» (119454, Российская Федерация, г. Москва, пр. Вернадского, д. 78), доктор технических наук, профессор, **ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6898-6211>**, s_golovin@mirea.ru

Гусев Кирилл Вячеславович, старший преподаватель кафедры математического обеспечения и стандартизации информационных технологий Института информационных технологий, ФГБОУ ВО «МИРЭА – Российский технологический университет» (119454, Российская Федерация, г. Москва, пр. Вернадского, д. 78), **ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0047-8373>**, k_gusev@mirea.ru

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

References

- [1] Zatsarinny A.A., Korolev V.I. technological service preparation of information and analytical products by means of a segmented situational center. *Systems and Means of Informatics*. 2017;27(4):122-131. (In Russ., abstract in Eng.) doi: <https://doi.org/10.14357/08696527170409>
- [2] Korostelev A.A., Poltoretsky D.A. Automated analytical systems in analytical management activities. *Azimuth of Scientific Research: Pedagogy and Psychology*. 2012;(1):38-41. Available at: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=20841427> (accessed 03.07.2022). (In Russ., abstract in Eng.)
- [3] Golubinskij E.Yu. Methods of analytical monitoring of information-analytical material quality prepared for government authorities' interest. *Information Systems and Technologies*. 2013;(4):69-76. Available at: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=20468025> (accessed 03.07.2022). (In Russ., abstract in Eng.)
- [4] Ovsyannikov A.A., Golubinskiy E.Y. Forming of the quality characteristics system of informational-analytical materials. *Information Systems and Technologies*. 2012;(5):73-81. Available at: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=17862625> (accessed 03.07.2022). (In Russ., abstract in Eng.)
- [5] Slivitsky A.B., Dyachkova T.A. [Modern information and analytical technologies for decision support]. Russia: trends and prospects of development. 2022. Vol. 17. Part 3. Moscow: INION RAN; 2022. p. 560-569. Available at: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=49700565> (accessed 03.07.2022). (In Russ.)
- [6] Slivitsky B.A., Slivitsky A.B. [Theoretical and methodological foundations for the analysis of socio-economic systems]. *Materials Athanasian Readings*. 2022;(1):67-76. Available at: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=48044225> (accessed 03.07.2022). (In Russ.)
- [7] Dadabayeva R.A. The role of information-analytical systems in digital economy. *Modern Problems of Law, Economics and Management*. 2019;(2):64-70. Available at: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=41562961> (accessed 03.07.2022). (In Russ., abstract in Eng.)
- [8] Kovaleva T.Yu. Information analytical management systems of cluster spatial development in regions: Analysis and priorities for improvement. *Perm University Herald. Economy*. 2020;15(1):84-109. (In Russ., abstract in Eng.) doi: <https://doi.org/10.17072/1994-9960-2020-1-84-109>
- [9] Dubrovskaya Yu.V., Kozonogova E.V., Molodchik A.V. On algorithmization and automation of regional strategizing. *Upravlenets – The Manager*. 2019;10(4):65-74. (In Russ., abstract in Eng.) doi: <https://doi.org/10.29141/2218-5003-2019-10-4-6>
- [10] Khoroshevsky V.G., Pavsky V.A., Pavsky K.V. Calculating robustness indices of distributed computer systems. *Bulletin of Tomsk State University. Management, computer engineering and Informatics*. 2011;(2):81-88. Available at: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=16452670> (accessed 03.07.2022). (In Russ., abstract in Eng.)
- [11] Bubnov V.P., Safonov V.I., Shardakov K.S. Overview of existing models of non-stationary queuing systems and methods for their calculation. *Systems of Control, Communication and Security*. 2020;(3):65-121. (In Russ., abstract in Eng.) doi: <https://doi.org/10.24411/2410-9916-2020-10303>
- [12] Sigolov G.G., Liupersol'skii A.M. [Method for calculating transients in network queuing models]. *Avtomatika i vychislitel'naiia tekhnika*. 1990;(3):40-43. (In Russ.)
- [13] Tyrva A.V., Khomonenko A.D. The method for software complexes testing scheduling on design and development phases. *St. Petersburg Polytechnical University Journal. Computer Science. Telecommunication and Control Systems*. 2009;(4):125-131. Available at: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=12977014> (accessed 03.07.2022). (In Russ., abstract in Eng.)
- [14] Biryukova A.A., Gusev K.V., Leontiev A.S. A method of supporting managerial decision-making in crisis situations based on automated management systems. *Informatization and communication*. 2022;(6):65-74. (In Russ., abstract in Eng.) doi: <https://doi.org/10.34219/2078-8320-2022-13-6-65-74>



- [15] Starikov P.P., Drozdov A.V., Shchetinin G.A. Development of a standard telecommunication control system. *Informatization and communication*. 2021;(6):144-149. (In Russ., abstract in Eng.) doi: <https://doi.org/10.34219/2078-8320-2021-12-6-144-149>
- [16] Andrianova E.G., Golovin S.A., Zykov S.V., Lesko S.A., Chukalina E.R. Review of modern models and methods of analysis of time series of dynamics of processes in social, economic and socio-technical systems. *Rossiiskii tekhnologicheskii zhurnal = Russian Technological Journal*. 2020;8(4):7-45. (In Russ., abstract in Eng.) doi: <https://doi.org/10.32362/2500-316X-2020-8-4-7-45>
- [17] Storozhenko A.S., Valyaeva A.V., Horn A.P., Tatarinov V.V. Influence of the Fourth Industrial Revolution on the Life of a Modern Society. *Soft Measurement and Computing*. 2019; (9):72-76. Available at: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=41688933> (accessed 03.07.2022). (In Russ., abstract in Eng.)
- [18] El Emam K., Melo W., Machado J.C. The prediction of faulty classes using object-oriented design metrics. *Journal of Systems and Software*. 2001;56(1):63-75. doi: [https://doi.org/10.1016/S0164-1212\(00\)00086-8](https://doi.org/10.1016/S0164-1212(00)00086-8)
- [19] Huang C.-Y., Huang W.-C. Software Reliability Analysis and Measurement Using Finite and Infinite Server Queueing Models. *IEEE Transactions on Reliability*. 2008;57(1):192-203. doi: <https://doi.org/10.1109/TR.2007.909777>
- [20] Vorobovich N.P. Analytical techniques for calculation of the network model time parameters. *Bulletin of KSAU*. 2010;(4):6-10. Available at: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=15199354> (accessed 03.07.2022). (In Russ., abstract in Eng.)
- [21] Potekhina E.V., Khripunova P.V. Evolution of the main methods of network planning and management. *Social policy and sociology*. 2022;21(1):38-45. (In Russ., abstract in Eng.) doi: <https://doi.org/10.17922/2071-3665-2022-21-1-38-45>
- [22] Romero D., Larsson L., Rönnbäck A.Ö., Stahre J. Strategizing for Production Innovation. In: Lödding H., Riedel R., Thoben K.D., von Cieminski G., Kiritsis D. (eds.). *Advances in Production Management Systems. The Path to Intelligent, Collaborative and Sustainable Manufacturing*. APMS 2017. IFIP Advances in Information and Communication Technology. Vol. 513. Cham: Springer; 2017. p. 3-12. doi: https://doi.org/10.1007/978-3-319-66923-6_1
- [23] Wunder T. Mindsets for Linking Strategy and Sustainability: Planetary Boundaries, Social Foundations, and Sustainable Strategizing. In: Wunder T. (ed.) *Rethinking Strategic Management. CSR, Sustainability, Ethics & Governance*. Cham: Springer; 2019. p. 1-40. doi: https://doi.org/10.1007/978-3-030-06014-5_1
- [24] Pundhir S., Kumari V., Ghose U. Performance Interpretation of Supervised Artificial Neural Network Highlighting Role of Weight and Bias for Link Prediction. In: Sanyal G., Travieso-González C.M., Awasthi S., Pinto C.M.A., Purushothama B.R. (eds.) *International Conference on Artificial Intelligence and Sustainable Engineering. Lecture Notes in Electrical Engineering*. Vol. 836. Singapore: Springer; 2022. p. 109-119. doi: https://doi.org/10.1007/978-981-16-8542-2_9
- [25] Plish V.E., Suslov V.Y., Truten' A.E. Information-Analytical Systems as Intelligent Partners of Decision-Makers. *Cybernetics and Systems Analysis*. 2004;40(3):438-450. doi: <https://doi.org/10.1023/B:CASA.0000042002.83378.b5>

Submitted 03.07.2022; approved after reviewing 15.09.2022; accepted for publication 30.09.2022.

About the authors:

Alexander S. Leontiev, Senior Researcher, Associate Professor of the Chair of Mathematical Support and Standardization of Information Technologies, Institute of Information Technologies, MIREA – Russian Technological University (78 Vernadsky Ave., Moscow 119454, Russian Federation), Cand.Sci. (Eng.), ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3673-2468>, leontev@mirea.ru

Sergey A. Golovin, Head of the Chair of Mathematical Support and Standardization of Information Technologies, Institute of Information Technologies, MIREA – Russian Technological University (78 Vernadsky Ave., Moscow 119454, Russian Federation), Dr.Sci. (Eng.), Professor, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6898-6211>, s_golovin@mirea.ru

Kirill V. Gusev, Senior Lecturer of the Chair of Mathematical Support and Standardization of Information Technologies, Institute of Information Technologies, MIREA – Russian Technological University (78 Vernadsky Ave., Moscow 119454, Russian Federation), ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0047-8373>, k_gusev@mirea.ru

All authors have read and approved the final manuscript.

