

УДК 004.413

DOI: [10.26102/2310-6018/2022.37.2.012](https://doi.org/10.26102/2310-6018/2022.37.2.012)

Реализация численных методов оценки вероятностно-временных характеристик множества работ в виде комплекса проблемно-ориентированных программ

С.А. Олейникова✉, И.А. Селищев, Т.Н. Недикова

*Воронежский государственный технический университет,
Воронеж, Российская Федерация
s.a.oleynikova@gmail.com✉*

Резюме. Объектом исследования в статье является проект, представляющий множество последовательно-параллельных работ со случайной длительностью. Особенностью исследуемого класса проектов является зависимость времени выполнения любой работы от закрепленного за ней исполнителя. Целью является оценка вероятностно-временных характеристик проекта, к которым относится, в первую очередь, длительность обслуживания. В связи со стохастическим характером длительностей работ данная характеристика будет носить случайный характер. Исходя из этого, в первую очередь, требуется оценить математическое ожидание исследуемой случайной величины. Кроме того, интерес представляют дисперсия случайной величины, ее закон распределения и возможность оценить вероятность завершения проекта в заданном временном промежутке (т. е. вероятность попадания исследуемой случайной величины в заданный временной интервал). Для реализации данной цели в статье представлен программный комплекс, состоящий из приложения для оценки параметров отдельных работ, системы имитационного моделирования для оценки длительности всего проекта и базы данных, хранящей сведения о необходимых сущностях. Все компоненты программного комплекса реализованы на языке Java, в качестве СУБД выбрана MySQL.

В результате получена возможность оценивать параметры отдельных работ, передавать их в среду имитационного моделирования для проведения эксперимента по оценке необходимых характеристики длительностей всего проекта и сохранять полученные значения в базе данных с целью их возможного дальнейшего использования.

Ключевые слова: вероятностно-временные характеристики, последовательно-параллельные работы, численный метод, комплекс программ, имитационное моделирование.

Для цитирования: Олейникова С.А., Селищев И.А., Недикова Т.Н. Реализация численных методов оценки вероятностно-временных характеристик множества работ в виде комплекса проблемно-ориентированных программ. *Моделирование, оптимизация и информационные технологии*. 2022;10(2). Доступно по: <https://moitvvt.ru/ru/journal/pdf?id=1130> DOI: 10.26102/2310-6018/2022.37.2.012

Implementation of numerical methods for assessing the probabilistic-temporal characteristics of a set of operations in the form of a problem-oriented software package

S.A. Oleinikova✉, I.A. Selishchev, T.N. Nedikova

*Voronezh Technical State University,
Voronezh, Russian Federation
s.a.oleynikova@gmail.com✉*

Abstract. The object of research in the article is a project represented by a set of sequential-parallel operations with a random duration. A feature of the project class under study is the dependence of the

execution time of any operation on the executive assigned to it. The goal is to assess the probabilistic and temporal characteristics of the project, which include, first of all, the duration of service. Due to the stochastic nature of operation duration, this characteristic will be random. Based on this, it is required to estimate the mathematical expectation of the investigated random variable in the first instance. In addition, the variance of the random variable, its distribution law, and the ability to estimate the probability of project completion in a given timeframe (i.e., the probability of the investigated random variable falling within a given timeframe) pose an interest. To achieve this goal, the article presents a software package consisting of an application for assessing the parameters of individual operations, a simulation system for assessing the duration of the entire project and a database that stores information about the required entities. All components of the software package are implemented using the Java language; MySql was chosen as the DBMS.

As a result, it became possible to evaluate the parameters of individual operations, transfer them to the simulation environment for conducting an experiment to assess the necessary characteristics of the duration of the entire project and save the obtained values in the database for their possible further use.

Keywords: probabilistic-temporal characteristics, sequential-parallel operations, numerical method, software package, simulation modeling.

For citation: Oleinikova S.A., Selishchev I.A., Nedikova T.N. Implementation of numerical methods for assessing the probabilistic-temporal characteristics of a set of operations in the form of a problem-oriented software package. *Modeling, Optimization and Information Technology*. 2022;10(2). Available from: <https://moitvvt.ru/ru/journal/pdf?id=1130> DOI: 10.26102/2310-6018/2022.37.2.012

Введение

В современных условиях к обслуживающим и производственным системам предъявляются повышенные требования к качеству оказываемых услуг или выполняемых проектов. Одним из важнейших показателей является длительность выполнения проекта в условиях вероятностных характеристик длительностей его взаимно-зависимых работ. Действительно, при отклонении фактических показателей от плановых возможно появление различных неблагоприятных факторов, таких как штрафные санкции, ухудшение репутации компании и т. д. В связи с этим разработка подходов для оценки характеристик проекта является важной и практически значимой задачей.

В настоящее время существует несколько подходов к решению данной задачи. Одним из них является метод PERT [1, 2]. В частности, он является главным методом для оценки длительностей отдельных работ. Однако, в случае наличия сложных зависимостей между последовательно-параллельными работами PERT не всегда позволяет получить оптимальные оценки временных параметров проекта. В частности, была проведена серия экспериментов, показывающая, что в ряде случаев оценки длительности проекта, полученные методом PERT, имеют существенные погрешности [3]. В связи с этим, возникает необходимость в поиске аппарата, позволяющего улучшить эти оценки. В [3] была проанализирована возможность аналитического подхода к нахождению длительности проекта. Однако, в предположении о бета-распределении длительностей отдельных работ и их сложной взаимной зависимости данная попытка не была успешна. В связи с этим необходимо разработать подход, базирующийся на использовании численных методов, позволяющих оценить необходимые показатели.

Постановка задачи

Рассматривается задача оценки вероятностно-временных характеристик проекта, представленного в виде программного комплекса. Ее можно сформулировать следующим образом. Пусть имеется некоторый проект, представляющий собой

множество последовательно-параллельных работ. Схематично данный проект можно представить в виде графа, ребрам которого соответствуют работы, а вершинам – события, заключающиеся в начале или окончании той или каждой работы.

Любая работа требует использования некоторого объема ресурсов и выполняется в течение времени, которое оценивается тремя параметрами: минимальной, максимальной и наиболее вероятной длительностью ее выполнения.

Необходимо оценить:

- ожидаемое время (математическое ожидание) случайной величины, описывающей завершение всех работ проекта;
- дисперсию данной случайной величины;
- плотность распределения случайной величины;
- вероятность попадания случайной величины в заданный временной интервал $[t_1, t_2]$.

Поясним необходимость в данных характеристиках. Наличие первой из них необходимо в силу использования расчетных формул, позволяющих оценить позднее время начала работ и их временной резерв. Дисперсия и вероятность попадания случайной величины в заданный временной интервал требуются для оценки рисков несвоевременного завершения проекта. Для поиска такой вероятности требуется знание закона распределения случайной величины. Кроме того, наличие графика оценки плотности исследуемой величины может помочь визуально оценить ее поведение, и, как следствие, при необходимости внести коррективы в возможное директивное время завершения проекта.

Определим особенности данной задачи. Кроме особенностей, связанных с решаемым классом задач (случайное время выполнения отдельных работ, их взаимная зависимость и т. д.), в данном случае предполагается, что время выполнения любой работы зависит также от исполнителя. Это означает невозможность применения классического аппарата для оценки вероятностно-временных характеристик, поскольку для этого необходимо заранее знать все длительности. В связи с этим необходимо разработать численные методы, которые бы решали задачу поиска искомых характеристик параллельно с назначением работам исполнителей.

Численный метод оценки временных характеристик отдельных работ

Для оценки вероятностно-временных характеристик комплекса работ необходимо определить характеристики каждой отдельной работы. В основу метода будет положен комплекс методов, позволяющих оценить параметры каждой работы. Как было отмечено ранее, длительность выполнения каждой работы j , $j=1, \dots, N$ будет зависеть от ее исполнителя. Для каждого исполнителя i , $i=1, \dots, M$ задается:

- минимальное время выполнения исполнителем i работы j – a_{ij} ;
- максимальное время выполнения исполнителем i работы j – b_{ij} ;
- наиболее вероятное время выполнения работы (мода) – m_{ij} .

На основе этих характеристик рассчитывается ориентировочное время выполнения каждой работы с помощью метода PERT [4]:

$$t_{ij} = (a_{ij} + 4m_{ij} + b_{ij})/6. \quad (1)$$

Время выполнения каждой из работ является основой для получения следующих характеристик модели:

- раннего и позднего времени начала работы j (при условии выполнения ее данным специалистом i);

- времени завершения проекта $T_{крит}$ (при условии закрепления за каждой работой j определенного специалиста i);
- временного резерва работы j (при условии назначения всем последующим работам заданных исполнителей).

Обобщенный алгоритм определения характеристик работ представлен на Рисунке 1.

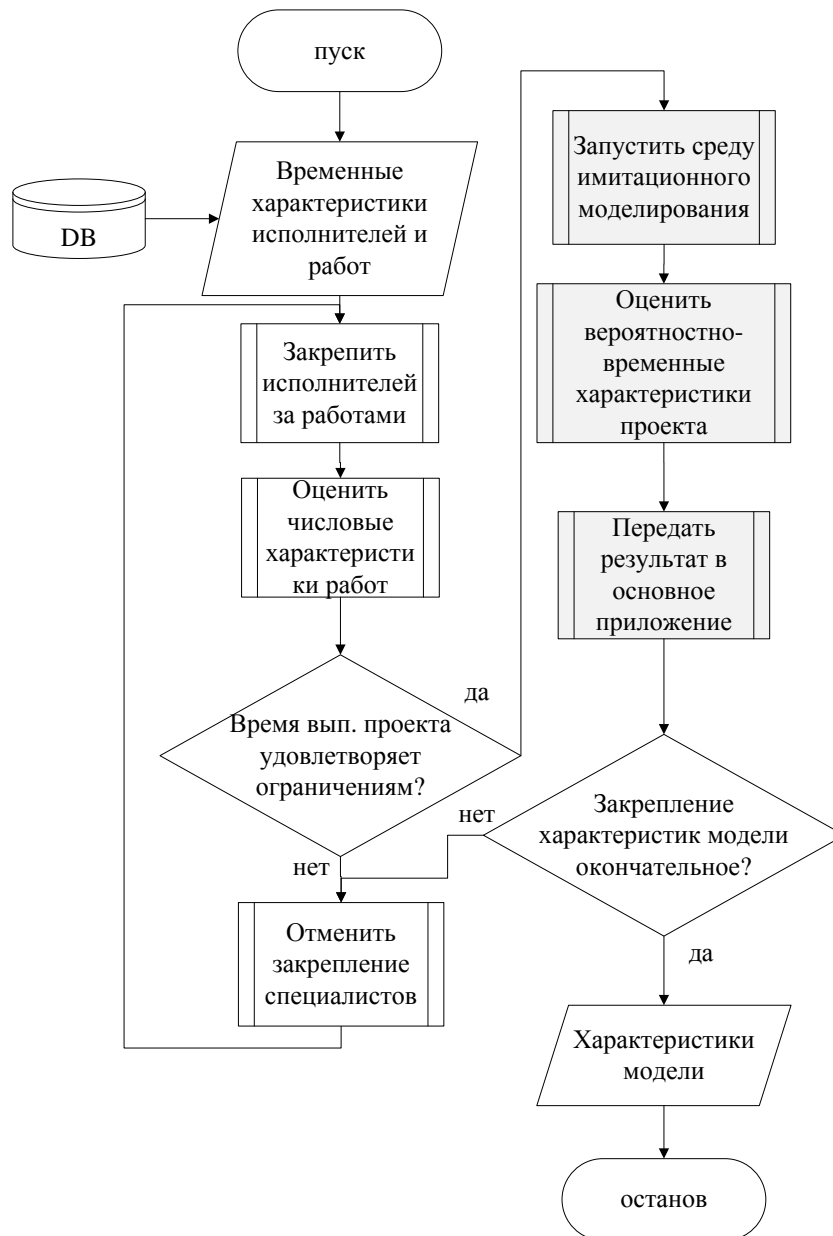


Рисунок 1 – Обобщенный алгоритм определения характеристик работ
 Figure 1 – Generalized algorithm for determining operation characteristics

Отметим главную особенность разрабатываемого подхода к оценке характеристик отдельных работ. Она заключается в том, что эти особенности будут разными в зависимости от того, каких исполнителей назначить на каждую из работ.

После закрепления работ за специалистами (и, как следствия, возможности определения длительностей работ по формулам (1)), возможно нахождение следующих характеристик работ согласно известным формулам, описанным в [1, 2, 4].

Система моделирования для оценки закона распределения длительности проекта и его временных характеристик

Реализуем систему моделирования, предназначенную для оценки вероятностно-временных характеристик проекта на основании:

- закрепленных специалистов за каждой из работ;
- длительности выполнения каждой из работ, которая является случайной величиной, закрепленной по закону бета с известными параметрами a , b и m (которые описаны ранее);
- взаимной зависимостью между работами.

Эти данные хранятся в базе данных и передаются в среду имитационного моделирования в момент ее запуска. На основании переданных данных в системе формируется проект, пример которого представлен на Рисунке 2.

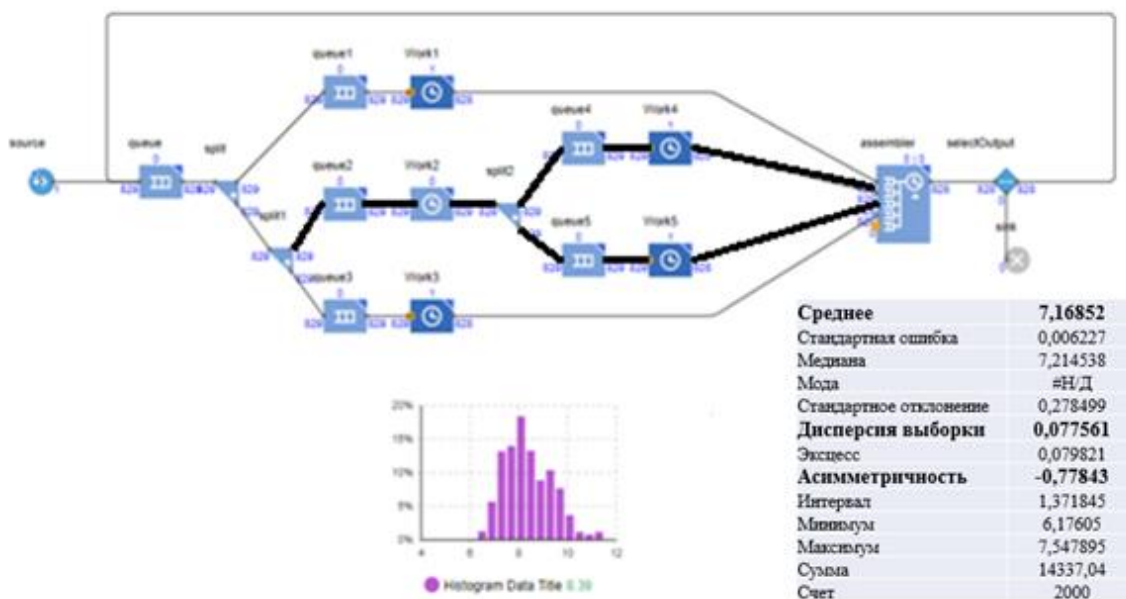


Рисунок 2 – Интерфейс системы имитационного моделирования
Figure 2 – Simulation system interface

Имитационная модель будет функционировать следующим образом. На вход из базы данных подаются оценки наименьшего, наибольшего и наиболее вероятного времени выполнения каждой из работ, а также их взаимная зависимость. На основании этого формируется граф, схема которого приведена на Рисунке 2. Далее система определяет длительность каждой работы. Для этого сначала по полученным из базы временным характеристикам работ оцениваются математическое ожидание и дисперсия случайной величины, которая описывает длительность данной работы, а потом – параметры соответствующего бета распределения. В [3] были получены формулы, позволяющие определить данные параметры по числовым характеристикам. На этом подготовительный этап моделирования завершается и начинается прогон модели. Он заключается в многократном моделировании выполнения множества последовательно-параллельных работ, зависимость которых получена из базы данных, и оценки на каждой итерации длительности проекта.

После прогона модели на выходе будет сформирована выборка, каждый элемент которой содержит время выполнения множества работ на каждой из итераций.

Подключенный элемент AnyLogic «Гистограмма» позволяет автоматически построить гистограмму по данной выборке. Кроме того, по полученным выборочным значениям оцениваются числовые значения соответствующей величины (математическое ожидания, дисперсия и т. д.). Результаты работы модели также представлены на Рисунке 2. Эти результаты представляются пользователю для оценки возможных рисков, связанных с несвоевременным завершением проекта. Более подробно процесс получения результатов представлен в [5, 6, 7].

База данных для хранения, импорта и экспорта данных между компонентами комплекса программ

Для хранения сведений об отдельных работах, их вероятностных характеристиках и взаимных зависимостях, исполнителях и других необходимых для решения задачи сведений требуется наличие базы данных. В [8] представлена структура базы данных, содержащая такие следующие сущности, как проекты, работы проекта; взаимную зависимость работ; исполнителей; ресурсы и т. д.

В качестве СУБД выбрана MySQL, которая представляет собой свободно распространяемую СУБД с открытым исходным кодом, что позволяет не только использовать ее базовую версию, но и при необходимости изучать и свободно изменять. MySQL поддерживает язык запросов SQL и может применяться в качестве SQL-сервера. Основное взаимодействие с сервером осуществляется на языке SQL, путем запросов от сервера клиента, что позволяет производить большую часть манипуляций с данными непосредственно в СУБД. В данном программном комплексе предполагается использование базы данных как приложением по оценке числовых характеристик отдельных работ, так и среды имитационного моделирования. Поскольку и приложение (которое будет реализовано в среде Java) и среда имитационного моделирования (которая также реализована на Java) взаимодействуют с данной СУБД, это также является одним из аргументов выбора этой системы управления базами данных.

Подход к интеграции отдельных приложений в виде комплекса проблемно-ориентированных программ

Для реализации подхода к оценке вероятностно-временных характеристик проекта будем использовать следующие инструменты:

- Javascript для оценки раннего и позднего времени обслуживания заявок, их временного резерва, а также для отображения результатов моделирования;
- среда имитационного моделирования AnyLogic для оценки закона распределения длительности проекта и его временных характеристик;
- база данных MySQL для импорта данных в отдельные приложения (в программу и среду AnyLogic), а также экспорта данных из них.

Схематично процесс интеграции будет иметь следующий вид (Рисунок 3).

Рассмотрим более подробно процесс интеграции отдельных компонент в единый программный комплекс. AnyLogic можно встраивать в масштабные программные комплексы, в частности, за счет взаимодействия с базами данных [9]. Кроме того, AnyLogic предлагает в распоряжение пользователей простой механизм встраивания своих моделей в сторонние Java приложения. Следует также отметить, что и AnyLogic и Java имеют в наличии методы и средства, позволяющие осуществлять взаимодействие с СУБД MySQL.

Этапы взаимодействия проблемно-ориентированных программ следующие:

1. Пользователь запускает основное приложение, предварительно определив необходимые параметры для работ.

2. С помощью специального класса Java реализованы методы, оценивающие временные характеристики отдельных работ, которые заносятся в базу данных.
3. На основании этих значений среда имитационного моделирования позволяет получить вероятностно-временные характеристики всего проекта.

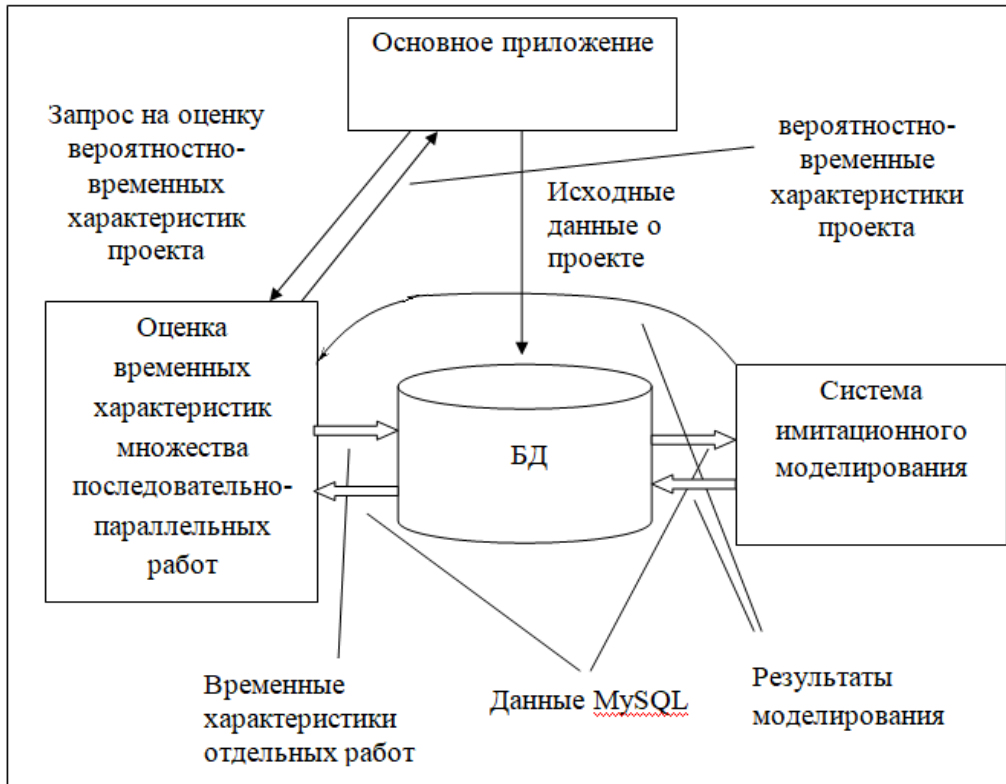


Рисунок 3 – Взаимодействие проблемно-ориентированных программ в программном комплексе
Figure 3 – Interaction of problem-oriented programs in the software package

Если у пользователя возникнет необходимость в коррекции (например, ручного назначения какому-либо исполнителю данной работы, данные этапы будут выполнены заново).

Таким образом, определен подход к интеграции комплекса проблемно-ориентированных работ для оценки вероятностно-временных характеристик проекта [10].

Заключение

1. Проанализирована специфика реализации приложения для оценки вероятностно-временных характеристик множества работ, отличительной особенностью которых является случайное время выполнения, зависящее от исполнителя.
2. Предложен численный алгоритм оценки временных характеристик отдельных работ.
3. Описана среда имитационного моделирования, позволяющая оценить вероятностно-временные характеристики множества всех работ.
4. Предложена структура программного комплекса, основанного на взаимодействии проблемно-ориентированных программ оценки вероятностно-временных характеристик отдельных работ.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Ахьюджа Х. *Сетевые методы управления в проектировании и производстве*. Пер. с англ. Под. ред. В. Н. Калашникова. М.: Наука; 1979. 640 с.
2. Голенко-Гинзбург Д.И. *Стохастические модели планирования и управления разработками*. Монография. Воронеж: Научная книга; 2011. 284 с.
3. Олейникова С.А. *Математические модели и методы оптимизации функционирования сложных обслуживающих систем со стохастическими параметрами*. Дисс. докт. техн. наук. Воронеж. 2016. 354 с.
4. Кофман А., Дебазей Г. *Сетевые методы планирования и их применение*. М.: Прогресс; 1968. 182 с.
5. Селищев И.А., Олейникова С.А. Интерпретация результатов вычислительного эксперимента для оценки вероятностно-временных характеристик модели с использованием аппарата имитационного моделирования. *Научная опора Воронежской области. Сборник трудов победителей конкурса научно-исследовательских работ студентов и аспирантов ВГТУ по приоритетным направлениям развития науки и технологий*. Воронеж. 2021;45–49.
6. Oleinikova S.A., Selishchev I.A., Kravets O.J., Rahman P.A., Aksenov I.A. Simulation model for calculating the probabilistic and temporal characteristics of the project and the risks of its untimely completion. *International Journal on Information Technologies & Security*. 2021;13(2):55–62.
7. Thai P.T., Nguyen S.L., Oleinikova S.A., Kravets O.J. Quality Management optimization of job distribution for multi-stage production with unequal servers. *Quality – Access to Success*. 2020;21(178):39–42.
8. Селищев И.А., Олейникова С.А. Проектирование структуры базы данных для программного обеспечения, оптимизирующего процесс функционирования стохастических многофазных систем. *Кибернетика и программирование*. 2020;2:42–55. Доступно по: https://www.nbpublish.com/library_read_article.php?id=34099. DOI: 10.25136/2644-5522.2020.2.34099.
9. Borshchev A. The Big Book of Simulation Modeling. Multimethod Modeling with AnyLogic 6. *AnyLogic.ru*. Available at: <https://www.anylogic.ru/resources/books/big-book-of-simulation-modeling/>.
10. Вендров А.М. *Проектирование программного обеспечения экономических информационных систем*. М.: Финансы и статистика; 2002. 352 с.

REFERENCES

1. Ahuja H. 1. *Network methods of management in design and production*. M.: Nauka; 1979. 640 p. (In Russ.)
2. Golenko-Ginzburg D.I. *Stochastic models of planning and development management*. Monograph. Voronezh: Scientific book; 2011. 284 p. (In Russ.)
3. Oleinikova S.A. *Mathematical models and methods for optimizing the functioning of complex service systems with stochastic parameters*. Diss. doct. tech. sciences. Voronezh; 2016. 354 p. (In Russ.)
4. Kofman A. Debazey G. *Network planning methods and their application*. M.: Progress; 1968. 182 p. (In Russ.)
5. Selishchev I.A., Oleinikova S.A. Interpretation of the results of a computational experiment to assess the probabilistic-temporal characteristics of the model using the apparatus of simulation. *Scientific support of the Voronezh region. Collection of works of the winners of the competition of scientific research works of students and postgraduates of VSTU in priority areas of development of science and technology*. Voronezh. 2021;45–49. (In Russ.)

6. Oleinikova S.A., Selishchev I.A., Kravets O.J., Rahman P.A., Aksenov I.A. Simulation model for calculating the probabilistic and temporal characteristics of the project and the risks of its untimely completion. *International Journal on Information Technologies & Security*. 2021;13(2):55–62.
7. Thai P.T., Nguyen S.L., Oleinikova S.A., Kravets O.J. Quality Management optimization of job distribution for multi-stage production with unequal servers. *Quality – Access to Success*. 2020;21(178):39–42.
8. Selishchev I.A., Oleinikova S.A. Designing a database structure for software that optimizes the process of functioning of stochastic multiphase systems. *Kibernetika i programmirovaniye = Cybernetics and Programming*. 2020;2:42–55. Available at: https://www.nbpublish.com/library_read_article.php?id=34099. DOI: 10.25136/2644-5522.2020.2.34099. (In Russ.)
9. Borshchev A. The Big Book of Simulation Modeling. Multimethod Modeling with AnyLogic 6. *AnyLogic.ru*. Available at: <https://www.anylogic.ru/resources/books/big-book-of-simulation-modeling/>. (In Russ.)
10. Vendrov A.M. *Software design for economic information systems*. M.: Finance and statistics; 2002. 352 p. (In Russ.)

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ / INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Олейникова Светлана Александровна, доктор технических наук, профессор кафедры автоматизированных и вычислительных систем Воронежского государственного технического университета, Воронеж, Российская Федерация.

e-mail: s.a.oleynikova@gmail.com

ORCID: [0000-0002-0333-2313](https://orcid.org/0000-0002-0333-2313)

Селищев Иван Алексеевич, аспирант кафедры автоматизированных и вычислительных систем Воронежского государственного технического университета, Воронеж, Российская Федерация.

e-mail: selishcheviv@gmail.com

Недикова Татьяна Николаевна, кандидат технических наук, доцент кафедры автоматизированных и вычислительных систем Воронежского государственного технического университета, Воронеж, Российская Федерация.

e-mail: nedikova.tatyana@mail.ru

Oleinikova Svetlana Alexandrovna, Doctor of Technical Sciences, Professor of Department of Automated and Computing Systems of Voronezh State Technical University, Voronezh, Russian Federation.

Selishchev Ivan Alexeevich, Postgraduate Student of Department of Automated and Computing Systems of Voronezh State Technical University, Voronezh, Russian Federation.

Nedikova Tatyana Nikolaevna, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of Department of Automated and Computing Systems of Voronezh State Technical University, Voronezh, Russian Federation.

Статья поступила в редакцию 17.01.2022; одобрена после рецензирования 29.04.2022; принята к публикации 23.05.2022.

The article was submitted 17.01.2022; approved after reviewing 29.04.2022; accepted for publication 23.05.2022.