

DOI: 10.12731/2227-930X-2024-14-4-311

EDN: ASADBA

УДК 004.92:004.942



Научная статья |

Системный анализ, управление и обработка информации, статистика

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ В КИБЕРФИЗИЧЕСКОЙ СИСТЕМЕ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ИМИТАЦИОННОГО ПОДХОДА

*А.П. Преображенский, Т.В. Аветисян,
Ю.П. Преображенский*

Аннотация

Состояние вопроса. Киберфизические системы в настоящее время активным образом распространяются в различных сферах. Для того, чтобы осуществлять их эффективное управление, необходимо использовать подходы, базирующиеся на имитационном моделировании. В работе рассмотрена соответствующая задача.

Материалы и методы. В работе рассмотрена задача моделирования процессов в киберфизической системе. Приведена совокупность этапов, которые используются в ходе выбора характеристик, связанных с ее управлением. На первом этапе осуществляется выбор переменных. На втором этапе выбираются методы, которые используются в ходе моделирования, учитывается, что процессы, проходящие в киберфизической системе, а также внешние воздействия являются случайными. На третьем этапе выбираются однородные компоненты в киберфизической системе. На четвертом этапе, основываясь на средних значениях объемов передаваемых данных в киберфизической системе определяется величина эффективности ее работы. Приведена структура алгоритма позволяющего выделять однородные модули в киберфизической системе с учетом влияния внешних факторов. Указаны особенности имитационного эксперимента для киберфизической системы, с применением оптимизационной модели. Отмечены те этапы, на основе которых ведется выбор по квазиоптимальному

варианту размещения модулей в киберфизической системе на базе имитационных методов.

Результаты. Проведено моделирование киберфизической системы с заданными характеристиками. Показано, что с использованием предлагаемого подхода удалось повысить эффективность системы.

Заключение. Результаты работы могут быть использованы для моделирования широкого класса киберфизических систем. Представленный алгоритм моделирования является универсальным.

Ключевые слова: имитационное моделирование; киберфизическая система; управление; модуль; алгоритм

Для цитирования. Преображенский А.П., Аветисян Т.В., Преображенский Ю.П. Моделирование процессов в киберфизической системе с использованием имитационного подхода // International Journal of Advanced Studies. 2024. Т. 14, № 4. С. 46-64. DOI: 10.12731/2227-930X-2024-14-4-311

Original article |

System Analysis, Management and Information Processing, Statistics

MODELING PROCESSES IN A CYBER-PHYSICAL SYSTEM USING A SIMULATION APPROACH

*A.P. Preobrazhensky, T.V. Avetisyan,
Yu.P. Preobrazhensky*

Abstract

Background. Cyber-physical systems are currently actively spreading in various fields. In order to carry out their effective management, it is necessary to use approaches based on simulation modeling. The corresponding task is considered in the paper.

Materials and methods. The paper discusses the problem of modeling processes in the cyberphysical system. A set of stages that are used in the course of choosing characteristics related to its management is given. In the first step, the variables are selected. At the second stage, the methods

to be used in the simulation are selected, taking into account that the processes taking place in the cyber-physical system, as well as external influences, are accidental. In the third stage, homogeneous components in the cyberphysical system are selected. At the fourth stage, based on the average values of the amount of transmitted data in the cyber-physical system, the value of its efficiency is determined. The structure of an algorithm that makes it possible to distinguish homogeneous modules in a cyber-physical system taking into account the influence of external factors is given. The features of a simulation experiment for a cyber-physical system using an optimization model are indicated. The stages on the basis of which the choice of the quasi-optimal option for the placement of modules in the cyberphysical system based on simulation methods is carried out are noted.

Results. Simulation of a cyber-physical system with specified characteristics is carried out. It is shown that using the proposed approach it was possible to increase the efficiency of the system.

Conclusion. The results of the work can be used to simulate a wide class of cyber-physical systems. The presented modeling algorithm is universal.

Keywords: simulation modeling; cyber-physical system; control; module; algorithm

For citation. Preobrazhensky A.P., Avetisyan T.V., Preobrazhensky Yu.P. Modeling Processes in a Cyber-Physical System using a Simulation Approach. *International Journal of Advanced Studies*, 2024, vol. 14, no. 4, pp. 46-64. DOI: 10.12731/2227-930X-2024-14-4-311

Введение

Актуальность исследования связана с тем, что за счет использования киберфизических систем возникают возможности для автоматизации и цифровизации современного производства, а также других сфер деятельности. В ходе проектирования киберфизических систем различные разработчики применяют интеграционные подходы. Например, парадигма проектирования Девопс [1] основывается на требовании снижения разрыва между разработкой системы и ее непрерывной модернизацией в жизненном цикле. На

практике от водопадных моделей [2] процессов разработки киберфизических систем переходят к циклическим и спиральным моделям. Другой возможный подход, который позволяет вести минимизацию разрыва среди этапов жизненного цикла киберфизической системы, – применение методологии ITIL (Information Technology Infrastructure Library – библиотека инфраструктуры информационных технологий) [3]. Сейчас также наблюдается развитие подходов, которые основываются на применении свойств варибельности (agility) киберфизических систем [4], при этом важно поддерживать целостность данных в протоколах управления системами.

Для того, чтобы разрабатывать киберфизические системы необходимо использовать имитационные подходы. Их следует применять в тех случаях, когда существуют трудности в управлении, обусловленные большими размерностями задач, есть проблемы при построении аналитических моделей, требуется дать описание того, как киберфизическая система будет вести себя во времени. В ходе имитационного моделирования киберфизических систем существует возможность учета случайных внешних воздействий [5; 6]. Можно проверять различные гипотезы, учитывать различные стратегии управления киберфизическими системами. Анализ показал, что в существующих публикациях отсутствуют имитационные модели киберфизических систем, которые достаточно полно описывают происходящие в них процессы.

Целью работы является рассмотрение особенностей имитационных подходов при моделировании киберфизических систем.

**Описание алгоритмических составляющих,
использующихся в ходе осуществления имитационного
моделирования киберфизических систем**

С тем чтобы организовать эффективное функционирование киберфизической системы требуется реализовать разработки соответствующего алгоритмического обеспечения.

Выбор характеристик управления киберфизической системой базируется на том, что происходит выполнение следующих этапов.

Этап 1. В киберфизической системе есть совокупность входных $x_1, x_2, \dots, x_n$ и выходных $y_1, y_2, \dots, y_m$ переменных. Они выбираются таким образом, чтобы обеспечить наибольшую информативность. Метод априорного ранжирования во многих случаях при этом используется исследователями [7].

Этап 2 состоит в том, что осуществляется выбор методов для моделирования. При этом для формирования математических моделей учитываются особенности происходящих в киберфизической системе процессов.

Регрессионный анализ может быть использован в ходе математического описания процессов в киберфизической системе в связи с тем, что они имеют вероятностный характер.

Внешние воздействия на киберфизическую систему являются случайными. Необходимо проверять гипотезу о том, что они являются нормальным образом распределенными. При этом необходимо опираться на критерий Пирсона. Применение пассивного или активного эксперимента происходит при формировании математической модели, в случае выполнения предпосылок регрессионного анализа [8].

Предположим, что в киберфизической системе нельзя преднамеренным образом варьировать входные переменные. Тогда необходимо опираться на пассивный эксперимент. Последовательным образом следует перебирать различные уравнения регрессии, чтобы выбрать среди них ту, которая будет описывать данные эксперимента адекватным образом. Это связано с тем, что нет предварительной информации относительно того, какая структура соответствует математической модели [9; 10].

Если опыты проводятся с учетом условий, которые задаются исследователем, то необходимо использовать методы планирования активного эксперимента. Если используется экспертная информация, то дополнительно необходимо применять методы регрессионного анализа.

В случае, когда некоторые из факторов и выходных переменных, связанные с процессами, анализируются как качественные,

учесть оценку их влияния можно или с привлечением метода дисперсионного анализа, или на основе шкалы их удельных значений [11].

Если исследуются процессы управления в киберфизических системах не во всех случаях можно реализовать все ситуации плана. В этой связи есть возможность для того, чтобы использовать оценки «пропущенных наблюдений», которые связаны с результатами анализа по матрицам и векторам выходных переменных.

Этап 3. На возможное количество математических моделей оказывает влияние не только количество выходных переменных $y_j = (j = \overline{1, m})$, но и количество однородных компонент в киберфизической системе, когда существует неоднородность в процессах работы киберфизической системы. Важно осуществлять анализ по источникам неоднородностей, а также осуществлять процесс выбора методов выделения однородных компонент [12].

Основываясь на данных, полученных на базе пассивного эксперимента по каждому k -му ($K = \overline{1, N}$) наблюдению выходной переменной $y[k]$ будут соотноситься значения количественных переменных на входе $x_i[k]$ ($i = \overline{1, d}$), а также и управляющих воздействий $u_j[k]$ ($j = \overline{1, n}$).

При рассмотрении киберфизических систем, имеющих неоднородные характеристики, требуется определить такие условия, которые обеспечивают получение однородных модулей в таких системах.

Исходим из того, что две выборки N_1 и N_2 будут относиться к однородному модулю f , $\mathbf{r}_i^{r(3)} = \mathbf{r}^{(1)} \cup \mathbf{r}^{(2)}$. Иначе, важно осуществлять проверку по однородности выборок, если выполняются условия $\mathbf{r}^{(3)}$ и $\mathbf{r}^{(4)}$, $\mathbf{r}^{(3)} \cup \mathbf{r}^{(4)} = \mathbf{r}^{(1)}$, $\mathbf{r}^{(5)}$ и $\mathbf{r}^{(6)}$, $\mathbf{r}^{(5)} \cup \mathbf{r}^{(6)} = \mathbf{r}^{(2)}$. Основываясь на этом, для каждого из этапов декомпозиции предлагается применять принцип дихотомии.

Если обозначаются две группы условий $\mathbf{r}^{(1)}$ и $\mathbf{r}^{(2)}$, то это связано с тем, что разделяются по двум частям интервалы

$$\left. \begin{array}{l} x_{i\min} \leq x_i \leq x_{i\text{гр}}, \quad x_{i\text{гр}} \leq x_{i\max} \\ u_{j\min} \leq u_j \leq u_{j\text{гр}}, \quad u_{j\text{гр}} \leq u_j \leq u_{j\max} \end{array} \right\},$$

$$x_{i\min} \leq x_i \leq x_{i\max} (i=\overline{1,d}), \quad u_{j\min} \leq u_j \leq u_{j\max} (j=\overline{1,n}) \quad (1)$$

при этом $x_{i\text{гр}}$, $u_{j\text{гр}}$ – рассматриваются в виде граничных значений интервалов, соответствующих в киберфизической системе входным и управляющим переменным.

Проводится рассмотрение двух гипотез, чтобы оценить степень однородности модулей в киберфизической системе: H_1 – соответствует случаю, когда выборки $y^{(1)}$ и $y^{(2)}$ являются неоднородными относительно дисперсии; H_2 – соответствует случаю, когда выборки $y^{(1)}$ и $y^{(2)}$ являются однородными относительно дисперсии. Используется выражение, позволяющее осуществить расчет по оценке В - распределения Фишера:

$$B_{\text{расч}}^2 = N_1 \frac{D}{D_1} + N_2 \frac{D}{D_2} \quad (2)$$

при этом по выборке y обозначение оценки дисперсии – D ; по выборкам $y^{(1)}$ и $y^{(2)}$ обозначение оценок дисперсии – D_1 и D_2 ; для выборок $y^{(1)}$, $y^{(2)}$, y соотнесим число элементов N , N_1 , N_2 соответствующим образом. Если $B_{\text{расч}}^2 \geq B_{\text{табл}}^2$, то будет неоднородность в выборках. Тогда необходимо использовать условия $r^{(1)}$, $r^{(2)}$ для математического описания. Иначе новый вариант в дихотомическом делении (1) предлагается экспертом. После этого опять будет повторена процедура проверки. В случае, когда для 3–4 вариантов будет однородность по выборкам, происходит изменение в граничном значении $x_i^{\text{гр}}$ ($i = \overline{1, \bar{I}}$). Формирование единого математического описания по интервалам $x_{i\min} \leq x_i \leq x_{i\max}$ основывается на невозможности повторного разделения по группам.

Предположим, что выделяются две группы, соответствующие входной переменной x_i и выходной переменной $y[k]$ с учетом ус-

ловия $r^{(1)}$, если на основе результатов пассивного эксперимента обеспечивается формирование уравнения регрессии.

Если рассматривать g -й ряд модулей и однородную компоненту относительно существенных качественных неуправляемых входных переменных (w), тогда для расчета выходной переменной, соответствующих $[k]$ -му моменту времени, необходимо опираться на такую зависимость:

$$y[k] = \mathbf{f}_y^w \{x_i, u_j[k], y[k-1]\}, \quad l = \overline{1, L}, \quad (3)$$

при этом $y[k-1]$ рассматривается в виде предыстории l рассматривается в виде сдвига по времени.

Критерий Андерсона используется для того, чтобы осуществлять проверку на автокорреляцию статистических рядов в уравнении регрессии (3) при анализе временных рядов для $u_j[k]$ и $y[k-1]$. В случае подтверждения гипотезы об автокорреляции статистического ряда, то время подтверждается, то время $[k]$ вводится в уравнение регрессии с целью ухода от автокорреляции во временном ряде.

Затем осуществляется проверка гипотезы, связанной с однородностью коэффициентов в регрессионном уравнении.

Этап 4. Основываясь на средних значениях объемов передаваемых данных в киберфизической системе, определяется величина эффективности ее работы в ходе формирования математических моделей, если осуществляется сбор статистического материала.

Требуется привлечение экспертной информации для того, чтобы осуществить проверку работоспособности полученных математических моделей. Для этого, например, можно использовать направленный опрос специалистов [13].

На рис. 1 приведена иллюстрация структуры алгоритма, на основе которого однородные модули в киберфизической системе будут выделены с учетом влияния внешних факторов [10].



Рис. 1. Структура алгоритма позволяющего выделять однородные модули в киберфизической системе с учетом влияния внешних факторов

Особенности имитационного эксперимента для киберфизической системы, с применением оптимизационной модели

Дадим анализ по применению многоальтернативных оптимизационных моделей, которые будут использоваться в ходе реализации имитационных экспериментов, если будут оцениваться проектные решения [15], когда ведется разработка компонентов в киберфизической системе.

Для того, чтобы по выбранным компонентам осуществить оценку эффективности их применения, требуется опираться на имитационное моделирование. При этом следует предусмотреть применение многоальтернативных оптимизационных моделей [9]:

$$\begin{aligned} \Psi_{il}(x_{mn}, x_m) &\rightarrow \text{extr}, i_1 I_1, \\ \Psi_{i2}(x_{mn}, x_m) &\leq b_{i2}, i_2 I_2, I_1 \cup I_2 = I, \\ \sum_{n=1}^{N_m} x_{mn} &= 1, m = \overline{1, M \odot} \\ x_{mn} &= \begin{cases} 1 \\ 0 \end{cases}, m = \overline{1, M \odot}, n = \overline{1, N_m}, & x_m = \begin{cases} 1 \\ 0 \end{cases}, m = \overline{1, M \odot \odot} \end{aligned}, (4)$$

В таких моделях I_1 – рассматривается в виде множества индексов, которые относятся к показателям киберфизической системы. Когда они учитываются в ходе моделирования, то соответствующие критерии позволяют определить для них требования [16]; I_2 – рассматривается в виде множества индексов, которые относятся к показателям системы. Когда они учитываются в ходе моделирования, то соответствующие ограничения позволяют определить для них требования:

$$x_m = \begin{cases} 1, & \text{альтернативная переменная, характеризующая выбор} \\ & \text{определенной реализации } m\text{-го компонента} \\ & \text{киберфизической системы;} \\ 0. \end{cases}$$

$$x_m = \begin{cases} 1, & \text{альтернативная переменная, характеризующая выбор} \\ & \text{типа связей между } m-m \text{ и } n-m \text{ компонентами} \\ & \text{киберфизической системы;} \\ 0. & \end{cases}$$

$\psi_{i1}(\cdot)$ – относится в киберфизической системе к математическому описанию показателя, с которым связаны экстремальные требования. При этом на основе альтернативных переменных x_{mn} , x_m есть возможность для его вычисления; $\psi_{i2}(\cdot)$ – относится в киберфизической системе к математическому описанию показателя, с которым связаны граничные требования; b_{i2} – рассматриваются в виде величин ресурсных ограничений [17; 18].

Тот вариант, который следует выбрать в ходе проектирования, определяется на основе реализации имитационного эксперимента. При этом учитывается то, как ведется управление по множеству альтернатив с привлечением рекомендаций эксперта. Значения критериев, которые устанавливаются экспертом, позволяют дать оценку варианту. Еще один вариант может быть предложен в случае, когда результаты имитационного эксперимента не будут удовлетворять эксперта. Процесс выбора будет продолжен пока не будет обозначен квазиоптимальный вариант.

Проведение выбора по квазиоптимальному варианту размещения модулей в киберфизической системе [19] на базе имитационных методов происходит в несколько этапов.

1. Происходит применение алгоритма, позволяющего осуществлять поиск по оптимальной траектории выходных переменных для киберфизической системы. Для построения такой траектории эксперт участвует в анализе получаемых данных. Если они его не удовлетворяют, то будут корректироваться параметры управления и изменяются начальные условия.

2. С учетом всего периода управления проводится обозначение основных характеристик процессов в режиме диалога. При этом с учетом информации, которая получена в имитационном эксперименте изменяются входные данные на основе программы диалога.

3. Управление киберфизической системой осуществляется в процессе пошагового диалога. Для соответствующего шага, связанного с управлением, экспертом принимается решение относительно применяемого критерия на основе анализа сравнения прогнозируемых и текущих данных.

Для первых двух шагов в имитационном моделировании до начала управления осуществляется выбор по оптимальному варианту, для третьего шага используется диалоговый подход для имитационного моделирования, при этом результаты будут реализованы в ходе рассмотрения.

Результаты

В рамках анализируемой киберфизической системы было рассмотрено 32 модуля. Осуществлен анализ их характеристик. Среди модулей выделены 11 в которых требовалась корректировка характеристик. Корректировка осуществлялась на основе 8 итераций. Изменение в начальных условиях не превышало 6%. В итоге по сравнению с первоначальным размещением модулей эффективность киберфизической системы возросла на 9%.

Выводы

В работе проведено рассмотрение особенностей использования имитационных подходов, применяемых при анализе поведения киберфизических систем. Представлены основные этапы, на основе которых осуществляется выбор управляющих воздействий в киберфизической системе. Показана структура алгоритма, позволяющего выделять однородные модули в киберфизической системе с учетом влияния внешних факторов. Показаны этапы, на основе которых ведется выбор по квазиоптимальному варианту размещения модулей в киберфизической системе на базе имитационных методов.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Исследование не имело спонсорской поддержки.

Список литературы

1. Perry L. Internet of Things for architects. Birmingham, UK: Packt Publishing, 2018.
2. Петрова И.А. Выявление основных критериев для применения гибкого и каскадного метода управления проектом // Современная экономика: актуальные вопросы, достижения и инновации. Сборник статей XXVIII Международной научно-практической конференции. 2019. С. 229-231.
3. Ингланд Р. Овладевая ITIL. М.: Лайвбук, 2011. 200 с.
4. Muhammad Ali Babar, Brown A. W., Mistrik I. Agile software architecture aligning agile processes and software architectures. MA, USA: Morgan Kaufmann, 2014.
5. Лысанов Д.М., Амиров Д.Н., Еремина И.И. Анализ работы механизмов узлов автоматизации в производственных системах // International Journal of Advanced Studies. 2023. Т. 13. № 3-2. С. 14-20.
6. Бакулин А.Ю., Львович Я.Е. Анализ и оптимизация эффективности функционирования организационной системы с автоматизированными устройствами обслуживания на основе имитационного моделирования // Моделирование, оптимизация и информационные технологии. 2024. Т. 12. № 2 (45). <https://doi.org/10.26102/2310-6018/2024.45.2.030>
7. Львович Я.Е., Пупыкин А.Н. Интеллектуализация управления в организационных системах с цифровым концентратором результатов деятельности на основе оптимизационного моделирования // Моделирование, оптимизация и информационные технологии. 2024. Т. 12. № 2 (45). <https://doi.org/10.26102/2310-6018/2024.45.2.018>
8. Лысанов Д.М., Амиров Д.Н., Еремина И.И. Разработка программы для анализа работы узлов автоматизированной линии // International Journal of Advanced Studies. 2023. Т. 13. № 3-2. С. 7-13.
9. Бухольцев И.М., Львович Я.Е. Оптимизация моделирования процессов балансировки и ребалансировки инвестиций для реализации программы развития многообъектной организационной

- системы // Моделирование, оптимизация и информационные технологии. 2024. Т. 12. № 1 (44). С. 7. <https://doi.org/10.26102/2310-6018/2024.44.1.015>
10. Аветисян Т.В., Преображенский А.П. Проблемы мониторинга киберфизических систем // Вестник Воронежского института высоких технологий. 2023. № 3 (46). С. 4-5.
 11. Аветисян Т.В., Меняйлов Д.В., Преображенский А.П. Особенности формирования современных диалоговых систем // Вестник Воронежского института высоких технологий. 2023. № 1 (44). С. 31-33.
 12. Аветисян Т.В., Козлова Д.Н., Шунулина В.В., Преображенский А.П. О возможностях тестирования информационно-телекоммуникационных систем // Вестник Воронежского института высоких технологий. 2023. № 4 (47). С. 6-7.
 13. Гусев П.Ю., Львович Я.Е. Структуризация многофункциональной цифровизированной системы и управление ею на основе оптимизационных моделей дезагрегации ресурсов и объемов деятельности // Моделирование, оптимизация и информационные технологии. 2023. Т. 11. № 4 (43). <https://doi.org/10.26102/2310-6018/2023.43.4.004>
 14. Львович И.Я., Воронов А.А. Применение методологического анализа в исследовании безопасности // Информация и безопасность. 2011. Т. 14. № 3. С. 469-470.
 15. Гоян В.И., Никонова Е.З. Реинжиниринг и его место в жизненном цикле информационной системы // International Journal of Advanced Studies. 2019. Т. 9. № 1-2. С. 45-51.
 16. Аветисян Т.В., Преображенский А.П. Некоторые особенности рекомендательных систем // Вестник Воронежского института высоких технологий. 2023. № 1 (44). С. 34-37.
 17. Львович Я.Е., Преображенский Ю.П., Ружицкий Е. Особенности оптимизации беспроводных систем связи // Вестник Воронежского института высоких технологий. 2022. № 1 (40). С. 68-71.
 18. Львович Я.Е., Преображенский Ю.П., Ружицкий Е. Анализ некоторых направлений повышения пропускной способности ip-се-

тей связи // Вестник Воронежского института высоких технологий. 2022. № 1 (40). С. 42-45.

19. Хамитов Р.М. Схемы развертываний баз данных для обеспечения высокой доступности // International Journal of Advanced Studies. 2023. Т. 13. № 4. С. 159-174. <https://doi.org/10.12731/2227-930X-2023-13-4-159-174>

References

1. Perry L. Internet of Things for architects. Birmingham, UK: Packt Publishing, 2018.
2. Petrova I.A. Vyyavlenie osnovnykh kriteriev dlya primeneniya gibkogo i kaskadnogo metoda upravleniya proektom [Identification of the main criteria for the application of flexible and cascade project management methods]. *Modern Economy: Current Issues, Achievements and Innovations. Collection of articles of the XXVIII International Scientific and Practical Conference*, 2019, pp. 229-231.
3. England R. Mastering ITIL. Moscow: Livebook, 2011, 200 p.
4. Muhammad Ali Babar, Brown A. W., Mistrik I. Agile software architecture aligning agile processes and software architectures. MA, USA: Morgan Kaufmann, 2014.
5. Lysanov D.M., Amirov D.N., Eremina I.I. Analiz raboty mekhanizmov uzlov avtomatiki v proizvodstvennykh sistemakh [Analysis of the operation of automation units in production systems]. *International Journal of Advanced Studies*, 2023, vol. 13, no. 3-2, pp. 14-20.
6. Bakulin A.Yu., Lvovich Ya.E. Analiz i optimizatsiya effektivnosti funkcionirovaniya organizatsionnoy sistemy s avtomatizirovannymi ustroystvami obsluzhivaniya na osnove imitatsionnogo modelirovaniya [Analysis and optimization of the efficiency of an organizational system with automated service devices based on simulation modeling]. *Modeling, optimization and information technology*, 2024, vol. 12, no. 2 (45). <https://doi.org/10.26102/2310-6018/2024.45.2.030>
7. Lvovich Ya.E., Pupykin A.N. Intellektualizatsiya upravleniya v organizatsionnykh sistemakh s cifrovym konzentratorem rezul'tatov deya-

- tel'nosti na osnove optimizacionnogo modelirovaniya [Intellectualization of management in organizational systems with a digital hub of performance results based on optimization modeling]. *Modeling, optimization and information technology*, 2024, vol. 12, no. 2 (45). <https://doi.org/10.26102/2310-6018/2024.45.2.018>
8. Lysanov D.M., Amirov D.N., Eremina I.I. Razrabotka programmy dlya analiza raboty uzlov avtomatizirovannoj linii [Development of a program for analyzing the operation of automated line units]. *International Journal of Advanced Studies*, 2023, vol. 13, no. 3-2, pp. 7-13.
 9. Bukholtsev I.M., Lvovich Ya.E. Optimizaciya modelirovaniya processov balansirovki i rebalansirovki investitsij dlya realizacii programmy razvitiya mnogoob'ektnoj organizacionnoj sistemy [Optimization of modeling of investment balancing and rebalancing processes for the implementation of a multi-object organizational system development program]. *Modeling, optimization and information technology*, 2024, vol. 12, no. 1 (44), p. 7. <https://doi.org/10.26102/2310-6018/2024.44.1.015>
 10. Avetisyan T.V., Preobrazhensky A.P. Problemy monitoringa kiberfizicheskikh sistem [Problems of monitoring cyber-physical systems]. *Bulletin of the Voronezh Institute of High Technologies*, 2023, no. 3 (46), pp. 4-5.
 11. Avetisyan T.V., Menyailov D.V., Preobrazhensky A.P. Osobennosti formirovaniya sovremennykh dialogovykh siste [Features of the formation of modern dialogue systems]. *Bulletin of the Voronezh Institute of High Technologies*, 2023, no. 1 (44), pp. 31-33.
 12. Avetisyan T.V., Kozlova D.N., Shunulina V.V., Preobrazhensky A.P. O vozmozhnostyah testirovaniya informacionno-telekommunikacionnykh sistem [On the possibilities of testing information and telecommunication systems]. *Bulletin of the Voronezh Institute of High Technologies*, 2023, no. 4 (47), pp. 6-7.
 13. Gusev P.Yu., Lvovich Ya.E. Strukturizaciya mnogofunkcional'noj cifrovizirovannoj sistemy i upravlenie eyu na osnove optimizatsionnykh modelej dezagregacii resursov i ob'emov deyatel'nosti [Structuring

- of a multifunctional digitalized system and its management based on optimization models of disaggregation of resources and activity volumes]. *Modeling, optimization and information technology*, 2023, vol. 11, no. 4 (43). <https://doi.org/10.26102/2310-6018/2023.43.4.004>
14. Lvovich I.Ya., Voronov A.A. Primenenie metodologicheskogo analiza v issledovanii bezopasnosti [Application of methodological analysis in security research]. *Information and security*, 2011, vol. 14, no. 3, pp. 469-470.
 15. Goyan V.I., Nikonova E.Z. Reinzhiniring i ego mesto v zhiznennom cikle informacionnoj sistemy [Reengineering and its place in the life cycle of an information system]. *International Journal of Advanced Studies*, 2019, vol. 9, no. 1-2, pp. 45-51.
 16. Avetisyan T.V., Preobrazhensky A.P. Nekotorye osobennosti rekomendatel'nyh sistem [Some features of recommender systems]. *Bulletin of the Voronezh Institute of High Technologies*, 2023, no. 1 (44), pp. 34-37.
 17. Lvovich Ya.E., Preobrazhensky Yu.P., Ruzhitsky E. Osobennosti optimizatsii besprovodnyh sistem svyazi [Features of optimization of wireless communication systems]. *Bulletin of the Voronezh Institute of High Technologies*, 2022, no. 1 (40), pp. 68-71.
 18. Lvovich Ya.E., Preobrazhensky Yu.P., Ruzhitsky E. Analiz nekotorykh napravlenij povysheniya propusknoy sposobnosti ip-setej svyazi [Analysis of some directions for increasing the throughput of IP communication networks]. *Bulletin of the Voronezh Institute of High Technologies*, 2022, no. 1 (40), pp. 42-45.
 19. Khamitov R.M. Skhemy razvertyvaniy baz dannyh dlya obespecheniya vysokoy dostupnosti [Database deployment schemes to ensure high availability]. *International Journal of Advanced Studies*, 2023, vol. 13, no. 4, pp. 159-174. <https://doi.org/10.12731/2227-930X-2023-13-4-159-174>

ДАННЫЕ ОБ АВТОРАХ

Преображенский Андрей Петрович, доктор технических наук, профессор

Автономная некоммерческая образовательная организация высшего образования Воронежский институт высоких технологий

*ул. Ленина, 73а, г. Воронеж, 394043, Российская Федерация
Komkovvvt@yandex.ru*

Аветисян Татьяна Владимировна, преподаватель

Автономная некоммерческая профессиональная образовательная организация «Колледж Воронежского института высоких технологий»

*ул. Ленина, 73а, г. Воронеж, 394043, Российская Федерация
vtatyana_avetisyan@mail.ru*

Преображенский Юрий Петрович, проректор по ИТ, кандидат технических наук, доцент

Автономная некоммерческая образовательная организация высшего образования Воронежский институт высоких технологий

*ул. Ленина, 73а, г. Воронеж, 394043, Российская Федерация
petrovich@vvt.ru*

DATA ABOUT THE AUTHORS

Andrey P. Preobrazhenskiy, Doctor of Technical Sciences, Professor

Voronezh Institute of High Technologies

73a, Lenin Str., Voronezh, 394043, Russian Federation

Komkovvvt@yandex.ru

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6911-8053>

Tatiana V. Avetisyan, Teacher

College of the Voronezh Institute of High Technologies

73a, Lenin Str., Voronezh, 394043, Russian Federation

vtatyana_avetisyan@mail.ru

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3559-6070>

Yuri P. Preobrazhensky, Vice-Rector for IT, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor
Voronezh Institute of High Technologies
73a, Lenin Str., Voronezh, 394043, Russian Federation
petrovich@vivt.ru

Поступила 20.10.2024

После рецензирования 10.12.2024

Принята 13.12.2024

Received 20.10.2024

Revised 10.12.2024

Accepted 13.12.2024