

DOI: 10.12731/2227-930X-2023-13-4-7-21

УДК 004.8:004.93.2:681.518.4



Научная статья | Системный анализ, управление и обработка информации

ПРОБЛЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ КИБЕРФИЗИЧЕСКОЙ СИСТЕМОЙ ПРИ НАЛИЧИИ В НЕЙ НЕИСПРАВНОСТЕЙ

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

Изучение различных свойств информационно-технических систем с точки зрения взаимодействия их физической и цифровой составляющих – новое и актуальное направление современной науки о киберфизических системах. При рассмотрении современных киберфизических систем различные авторы рекомендуют в рамках системного анализа рассматривать их как сложные системы. Вследствие сложности систем при человеко-машинном взаимодействии следует опираться на адаптивные алгоритмы. При этом специалиста рассматривают как лицо, которое принимает решение. В ходе своей работы он будет стремиться к обеспечению требуемого режима функционирования киберфизической системы, в том числе и при наличии в ней неисправностей. В данной работе предлагается рассматривать возможные действия специалиста в киберфизической системе с точки зрения имитационного эксперимента.

В работе приведена иллюстрация схемы алгоритма, связанного с адаптивным выбором ресурсов в киберфизической системе. Показана схема рационального принятия решений, когда выбираются ресурсы. Предложена методика по формированию логических моделей. В работе показано, каким образом может применяться игровое моделирование для киберфизических систем.

Полученные в работе результаты могут быть применены для широкого круга киберфизических систем.

Ключевые слова: киберфизическая система; управление; неисправность; моделирование

Для цитирования. Аветисян Т.В., Преображенский А.П., Преображенский Ю.П. Проблемы управления киберфизической системой при наличии в ней неисправностей // *International Journal of Advanced Studies*. 2023. Т. 13, № 4. С. 7-21. DOI: 10.12731/2227-930X-2023-13-4-7-21

Original article | System Analysis, Management and Information Processing

PROBLEMS OF MANAGING A CYBER-PHYSICAL SYSTEM IN THE PRESENCE OF MALFUNCTIONS IN IT

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

The study of various properties of information-technical systems from the point of view of interaction of their physical and digital components is a new and actual direction of modern science of cyber-physical systems. When considering modern cyber-physical systems, various authors recommend considering them as complex systems within the framework of system analysis. Due to the complexity of systems, adaptive algorithms should be relied upon in human-machine interaction. In this case, the specialist is seen as a decision maker. In the course of his work, he will strive to ensure the required mode of functioning of the cyber-physical system, including in the presence of faults in it. This paper proposes to consider the possible actions of a specialist in a cyber-physical system from the perspective of a simulation experiment. The paper provides an illustration of an algorithm scheme related to adaptive resource selection in a cyber-physical system. The scheme of rational decision making when resources are selected is shown. A methodology for generating logic models is proposed. The paper shows how game modeling can be applied to cyber-physical systems.

The results obtained in this paper can be applied to a wide range of cyber-physical systems.

Keywords: *cyberphysical system; control; fault; simulation*

For citation. *Avetisyan T.V., Preobrazhensky A.P., Preobrazhensky Yu.P. Problems of Managing a Cyber-Physical System in the Presence of Malfunctions in It. International Journal of Advanced Studies, 2023, vol. 13, no. 4, pp. 7-21. DOI: 10.12731/2227-930X-2023-13-4-7-21*

Введение

Необходимо опираться на комплексный подход, чтобы реализовывать интеллектуальную поддержку решений, которые будут приниматься специалистами, когда происходит поиск неисправностей внутри киберфизических систем.

В таком подходе предлагается опираться на адаптивное управление, в котором применяются адаптивные алгоритмы. Также используется имитационный эксперимент, в котором задействованы прогностические модели.

Чтобы осуществить рационализацию по действиям при поиске неисправностей в киберфизической системе необходимо ориентироваться на работу в реальном и ускоренном масштабе времени с учетом автоматического и диалогового режимов на компьютере.

Специалист рассматривается в виде лица, принимающего решение (ЛПР). Те схемы поиска неисправностей в киберфизической системе, которые получаются в автоматических режимах, будут им анализироваться. Происходит задание условий выполнения соответствующих действий. Происходит оценка результатов действий как по каждому из шагов, так для всего периода обслуживания киберфизической системы. Тогда возникают возможности для того, чтобы были приняты рациональные решения при том, что существуют условия неопределенностей, а также неполной априорной информации.

Есть возможности для того, чтобы варьировать имеющиеся ресурсы в ходе выбора необходимых действий с ориентацией на прогностические модели.

Можно сопоставить рассматриваемой задаче оптимизационную модель. Тогда процесс принятия решений формализуется. При этом могут появляться различные неопределенности. Вследствие них будут затруднения, связанные с непосредственным применением известных подходов математического прогнозирования, чтобы определять рациональную последовательность действий.

Специалисты при своем функционировании стремятся к тому, чтобы обеспечить желаемого исход в работе киберфизической системы. Поскольку присутствует неполная априорная информация в ходе принятия решений для каждого из шагов, тогда следует опираться на адаптивные алгоритмы. В них учитываются как текущие цели в управлении действиями специалистов, так и выбор необходимых ресурсов.

Методика управления киберфизической системой

Для каждого шага использования ресурсов происходит поступление информации, а также оценки того, насколько применяемые действия являются эффективными для предыдущего шага. Происходит формализация оценки. Она применяется для выбора целей действий и величины ресурсов для последующего шага с учетом адаптивных алгоритмов.

Когда специалисты обозначают задачу по достижению эффекта применяемых действий в течение кратчайшего срока, то тогда будет выполнено условие:

$$f_1 = (y_i - y_{i,j})^2 = \min, \quad (1)$$

в случае выполнения противоположного условия требуется выполнение:

$$f_2 = (y_i^{k-1} - y_i^k)^2 = \min, \quad (2)$$

здесь k – рассматривается как шаг управления, для которого будет принято решение.

Когда специалистом выполняются соответствующие действия, то он должен стремиться к компромиссу среди критериев (1) и

(2), которые являются противоречивыми. В глобальный критерий будет осуществляться их свертка:

$$f[k] = p_1 f_1^k + p_2 f_2^k, \quad (3)$$

при этом p_1 и p_2 – мы считаем, как вероятности применения критериев (1) и (2) соответствующим образом.

Когда принимаются решения по использованию ресурсов, чтобы получить недостающую априорную информацию происходит формализация суждения специалиста «недостаточно увеличивается Y_i » (или оно отсутствует, или движение в противоположном направлении) как $A = +1$, а суждение «поступление ресурсов в желаемом темпе» в виде $A = -1$.

Проведение настройки вероятностей по использованию критериев (1), (2) реализуется при помощи адаптивных алгоритмов.

Проведение расчетов объемов привлекаемых ресурсов реализуется при текущих значениях вероятности использования критериев (1) и (2).

В случае, когда на любом шаге применения ресурсов специалист отдает предпочтение виду $A = +1$, тогда объем ресурсов определяется на базе формулы:

$$x_i^k = x_i^{k-1} + \alpha^k (y_i^k - y_{ик}^k), \quad (4)$$

при этом величину шага α^k будем определять так:

$$\alpha^k = \alpha^{k-1} \exp \left\{ \frac{1}{k} \operatorname{sign} \left[(y_i^k - y_{ик}^k)(y_i^{k-1} - y_{ик}^{k-1}) \right] \right\}. \quad (5)$$

Специалистом задается начальный объем ресурсов. Настройка по величинам вероятностей реализуется для первого уровня. Определяется величина управляющих воздействий. При учете итеративных формул на втором уровне с настраивается величина коэффициента. При этом будет обеспечиваться сходимость.

Схема алгоритма, позволяющего осуществлять адаптивный выбор действий по применению ресурсов дана на рис. 1.

Когда выбираются возможные действия специалиста в киберфизической системе, опираются на подходы в имитационном эксперименте. При этом будет поддерживаться алгоритмизацию

по диалоговому режиму для ускоренного и реального масштабах времени. В реальном масштабе применяются действия. В ускоренном масштабе применяются математические модели. Будет использоваться помимо объективной текущей информации априорная информация, которая идет от специалиста, а еще экспертная информация.

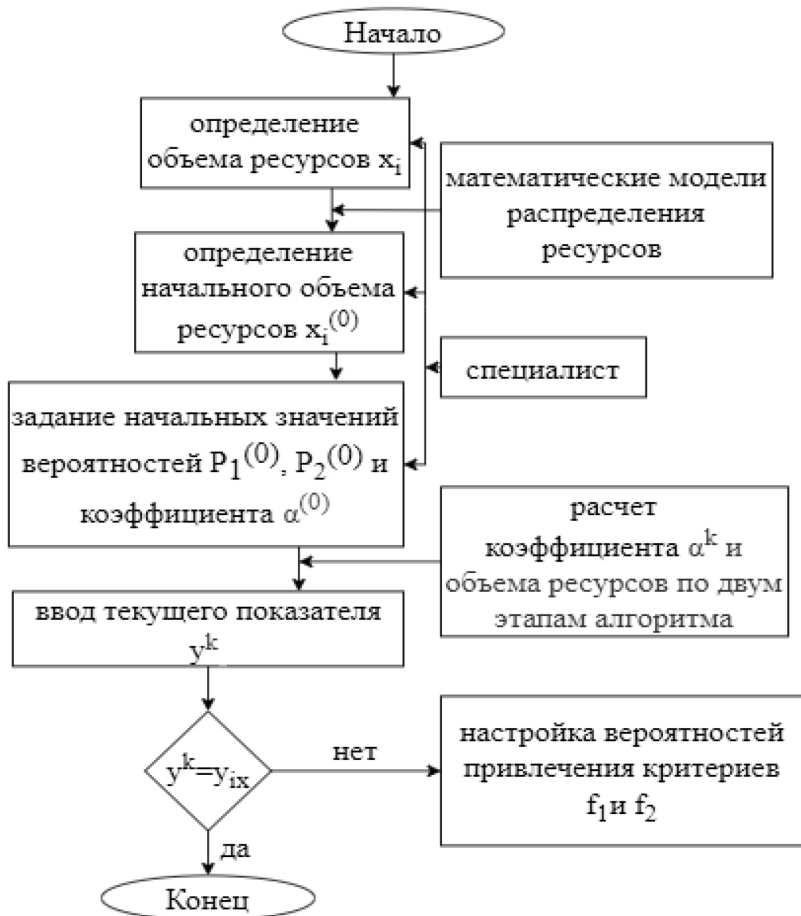


Рис. 1. Иллюстрация схемы алгоритма, связанного с адаптивным выбором ресурсов в киберфизической системе

Целесообразно опираться на имитационный подход, когда реализуется выбор возможных ресурсов, если отсутствуют или ограничены возможности по поиску оптимального варианта, в том числе, если существуют случайные возмущения. Чтобы провести оценку выбранного варианта по ресурсам на множестве альтернатив по предпочтениям рассматривают результат имитационного эксперимента.

В качестве перспективного подхода, когда рассматривается распределение ресурсов в киберфизической системе с тем, чтобы повысить эффективность в принимаемых решениях можно считать проведение комплексирования математического моделирования.

Основываясь на анализе исходной информации и результатах имитационного эксперимента, специалист рассматривает возможности распределения ресурсов. Уточнение осуществляется при помощи адаптивных алгоритмов (4), (5).

Схема принятия решений, когда осуществляется адаптивный и имитационный выбор ресурсов (рис. 2) рассматривается в виде человеко-машинной процедуры. Это связано с тем, что принимаются решения с привлечением компьютера. Тогда возникают условия для того, чтобы создавать автоматизированную систему планирования.

Рассматриваются различные ситуации на экспериментальной модели. В этом состоит сущность имитационного моделирования. Можно осуществлять его тремя способами:

1) перед тем, как распределять ресурсы, проводится рассмотрение всей схемы по всему периоду. Будут сделаны предварительные выводы. Рассмотрение реализуется лишь на базе управляющих воздействий специалиста (стратегия специалиста);

2) рассмотрение осуществляется по всему периоду распределения ресурсов на базе спроектированного алгоритма оптимального управления. В нем предусмотрено участие специалиста (стратегия алгоритмическая);

3) процессы имитации реализуются для любого момента времени. Тогда, когда будет случайная помеха, ведущая к значитель-

ному отклонению по ресурсам) специалист будет их изменять (оперативная тактика).

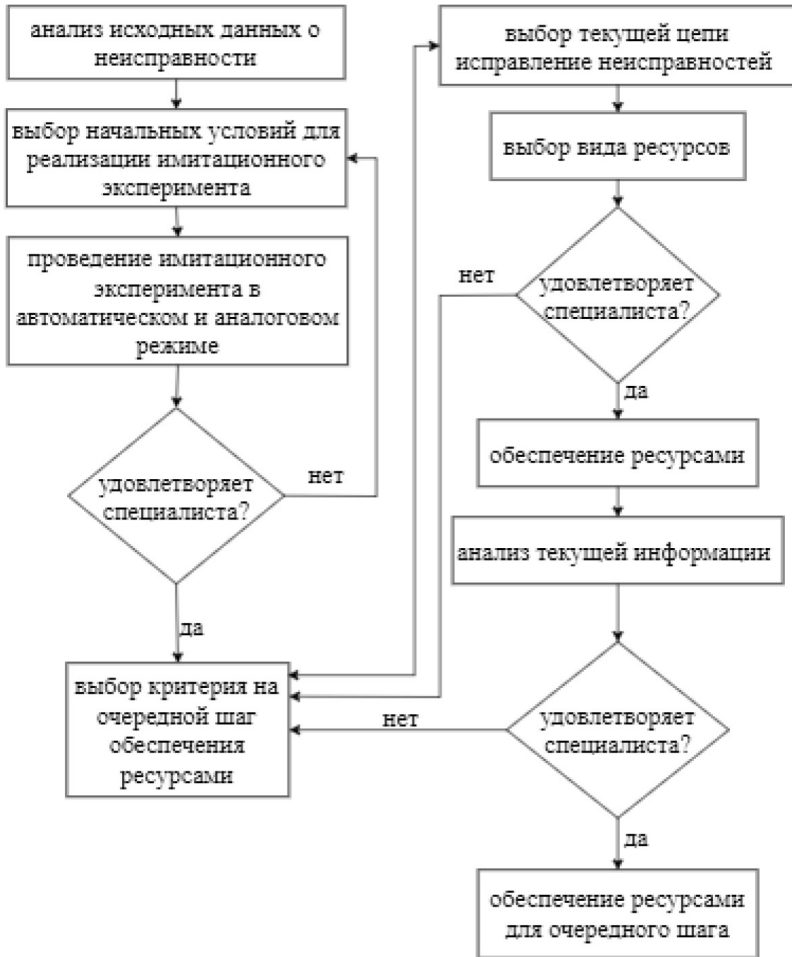


Рис. 2. Иллюстрация схемы рационального принятия решений, когда выбираются ресурсы

Когда реализуется имитационное прогнозирование на компьютере, существует возможность обращения специалиста к ком-

пьютеру в ходе диалогового режима для реального и ускоренного масштабов времени.

При дифференциальном рассмотрении важно определять и соответствующие для него схемы распределения ресурсов в киберфизической системе. В этой связи с учетом использования автоматизированных систем требуется отметить, что в ходе их формирования необходимо создание такой процедуры, в рамках которой было бы органичное сочетание с действиями специалиста как ЛПР. При этом в самой процедуре будет обеспечена не только постановка дифференцированного решения, но и в итоге будет реализовываться выбор по распределению ресурсов.

На базе логических моделей есть возможности для того, чтобы была обеспечена интеллектуальная поддержка специалиста. Поэтапным образом возникают дополнительные исследования. Они основываются на действиях специалиста по созданию логических моделей. Их легко реализовать с привлечением компьютера.

По формированию логических моделей мы предлагаем методу. На ее основе: 1) происходит реализация логического функционирования специалиста; 2) обеспечивается интеллектуальная поддержка анализа ресурсов с компьютерной поддержкой; 3) формируется совокупность анализа киберфизической системы и оптимизация при выборе ресурсов; 4) происходит исключение ошибок при использовании компьютера вследствие того, что визуализируются результаты решений, как при пошаговом рассмотрении, так и в окончательном виде; 5) обеспечивается дифференцированный анализ по ресурсам; 6) поддерживается творческая работа специалиста; 7) специалист освобождается от «рутинной» работы, он рассматривается как ЛПР по всему рабочему процессу; 8) возможна достаточно простая машинная реализация; 9) можно избежать трудностей по классификации конкретной неисправности.

Если, основываясь на показаниях соответствующей логической модели необходимо вмешательство специалиста, тогда будут две стратегии: A_1 – привлечение специалиста и A_2 – отказ от привле-

чения специалиста при последующем принятии нового решения. Стратегии формируются соответствующим способом:

S_1 – необходимо срочно привлечь специалиста;

S_2 – отсрочка привлечения специалиста после того, как осуществлена подготовка;

S_3 – привлечение специалиста, основываясь S_1 и S_2 , будет напрасно;

S_4 – противопоказано привлечение специалиста, основываясь на S_1 и S_2 .

Проведем рассмотрение двух случаев, когда будет вмешательство специалиста.

Предположим, что специалист должен принять решение, относительно своего привлечения. При этом в киберфизической системе выделяются три состояния: S_1 – необходимо срочное привлечение специалиста; S_2 – нет необходимости в срочном привлечении специалиста; S_4 – привлечение специалиста рассматривается как противопоказанное. Будет реализовываться формирование терминальной матрицы M_c (табл. 1). Используя ее, осуществляется формирование матрицы M_f показателя полезности f_{ij} (табл. 2). По ней мы можем рассмотреть геометрическую интерпретацию игры (рис. 3). Реализуя процесс анализа, можно убедиться, лишь две прямые будут пересекаться в точке решения N . Они сопоставляются со стратегиями S_1 и S_4 . В этой связи игру в точке N мы можем представлять как игру 2×2 при матрице M_f (табл. 3). В ней есть соответствующие вероятности P_1 и P_2 . Анализируя их значения, мы получим решение как смешанную стратегию специалиста. Тогда специалист почти в два раза чаще принимать решения об отказе от вмешательства в киберфизическую систему, чем реализовывать вмешательство.

Таблица 1.

Реализация формирования терминальной матрицы M_c

	S_1	S_2	S_3
A_1	0,04999	0,07999	0,1999
A_2	0,0999	0,04999	0

Таблица 2.

Реализация формирования матрицы M_f показателя полезности f_{ij}

	S_1	S_2	S_3
A_1	0,94999	0,88999	0,5999
A_2	0,84999	0,94999	0,9999

Таблица 3.

Геометрическая интерпретация игры

	S_1	S_4
A_1	0,94999	0,5999
A_2	0,84999	0,9999

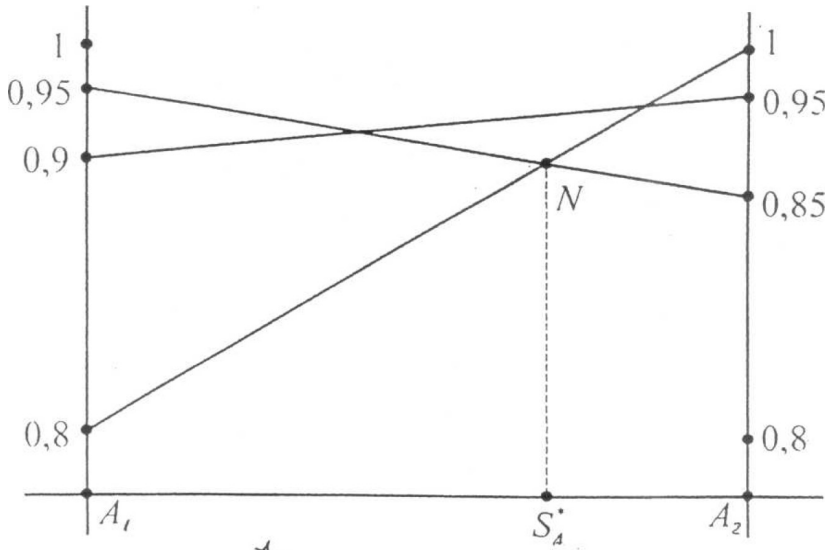


Рис. 3. Иллюстрация геометрической интерпретации игры

$$\frac{P_1}{P_2} = \frac{1 - 0,85}{0,95 - 0,6} = 0,4 \quad (6)$$

Выводы

В работе предложена методика управления киберфизической системой. Представлена схема алгоритма, позволяющего осуществлять адаптивный выбор действий по применению ресур-

сов. Показано, что целесообразно опираться на имитационный подход, когда реализуется выбор возможных ресурсов, если отсутствуют или ограничены возможности по поиску оптимального варианта, в том числе, если существуют случайные возмущения. Приведена иллюстрация схемы рационального принятия решений, когда происходит выбор ресурсов. В ходе имитационного моделирования были рассмотрены различные ситуации на экспериментальной модели. Проведен анализ различных действий, которые может совершать специалист при взаимодействии с киберфизической системой. Рассмотренный в работе методический подход по управлению киберфизическими системами при наличии в них неисправностей может быть использован для различных случаев.

Список литературы

1. Мишин Я.А. О системах автоматизированного проектирования в беспроводных сетях // Вестник Воронежского института высоких технологий. 2013. № 10. С. 153-156.
2. Львович Я.Е., Питолин А.В., Сапожников Г.П. Многометодный подход к моделированию сложных систем на основе анализа мониторинговой информации // Моделирование, оптимизация и информационные технологии. 2019. Т. 7. № 2 (25). С. 301-310.
3. Львович Я.Е., Преображенский Ю.П., Ружицкий Е. Анализ некоторых направлений повышения пропускной способности ip-сетей связи // Вестник Воронежского института высоких технологий. 2022. № 1 (40). С. 42-45.
4. Львович Я.Е., Карлин П.В., Преображенский Ю.П. Об особенностях моделирования беспроводных сенсорных сетей // Вестник Воронежского института высоких технологий. 2021. № 4 (39). С. 20-23.
5. Львович Я.Е., Преображенский Ю.П., Ружицкий Е. Особенности оптимизации беспроводных систем связи // Вестник Воронежского института высоких технологий. 2022. № 1 (40). С. 68-71.

6. Русанов П.И., Юрочкин А.Г. Проблемы сетевого моделирования // Вестник Воронежского института высоких технологий. 2019. № 1 (28). С. 64-66.
7. Львович Я.Е., Преображенский Ю.П., Ружицкий Е. Анализ особенностей приема и передачи сигналов в компьютерных сетях // Вестник Воронежского института высоких технологий. 2022. № 1 (40). С. 75-78.
8. Калашников П.В. Задача выбора оптимального варианта конструкции сложной системы в условиях интервальной неопределенности // International journal of advanced studies, 2022, том.12, №3, С.94-108.
9. Аветисян Т.В., Львович Я.Е., Преображенский А.П. Моделирование киберфизических систем при их развитии // Системы управления и информационные технологии. 2023. № 1 (91). С. 23-27.
10. Львович Я.Е., Преображенский А.П., Аветисян Т.В. Анализ возможностей использования алгоритмов фильтрации информации и заполнения пробелов // International Journal of Advanced Studies. 2022. Т. 12. № 4. С. 81-95.

References

1. Mishin Ya.A. Vestnik Voronezhskogo instituta vysokikh tekhnologiy, 2013, no. 10, pp. 153-156.
2. L'vovich Ya.E., Pitolin A.V., Sapozhnikov G.P. Modelirovanie, optimizatsiya i informatsionnye tekhnologii, 2019, vol. 7, no. 2 (25), pp. 301-310.
3. L'vovich Ya.E., Preobrazhenskiy Yu.P., Ruzhitskiy E. Vestnik Voronezhskogo instituta vysokikh tekhnologiy, 2022, no. 1 (40), pp. 42-45.
4. L'vovich Ya.E., Karlin P.V., Preobrazhenskiy Yu.P. Vestnik Voronezhskogo instituta vysokikh tekhnologiy, 2021, no. 4 (39), pp. 20-23.
5. L'vovich Ya.E., Preobrazhenskiy Yu.P., Ruzhitskiy E. Vestnik Voronezhskogo instituta vysokikh tekhnologiy, 2022, no. 1 (40), pp. 68-71.
6. Rusanov P.I., Yurochkin A.G. Vestnik Voronezhskogo instituta vysokikh tekhnologiy, 2019, no. 1 (28), pp. 64-66.

7. L'vovich Ya.E., Preobrazhenskiy Yu.P., Ruzhitskiy E. Vestnik Voronezhskogo instituta vysokikh tekhnologiy, 2022, no. 1 (40), pp. 75-78.
8. Kalashnikov P.V. International journal of advanced studies, 2022, vol. 12, no. 3, pp. 94-108.
9. Avetisyan T.V., L'vovich Ya.E., Preobrazhenskiy A.P. Sistemy upravleniya i informatsionnye tekhnologii, 2023, no. 1 (91), pp. 23-27.
10. L'vovich Ya.E., Preobrazhenskiy A.P., Avetisyan T.V. International Journal of Advanced Studies, 2022, vol. 12, no. 4, pp. 81-95.

ДАННЫЕ ОБ АВТОРАХ

Аветисян Татьяна Владимировна, преподаватель колледжа, специалист проектного отдела ВИБТ

Колледж ВИБТ; Автономная некоммерческая образовательная организация высшего образования Воронежский институт высоких технологий

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

Преображенский Андрей Петрович, профессор, 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*

Преображенский Юрий Петрович, проректор по информационным технологиям, 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

Tatiana V. Avetisyan, project specialist VIVT

College of the Voronezh Institute of High Technologies; Voronezh Institute of High Technologies

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

vtatyana_avetisyan@mail.ru

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

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>

Yuri P. Preobrazhenskiy, Vice-Rector for Information Technology,

Candidate of Technical Sciences, Docent

Voronezh Institute of High Technologies

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

petrovich@vivt.ru

Поступила 22.06.2023

После рецензирования 10.07.2023

Принята 30.07.2023

Received 22.06.2023

Revised 10.07.2023

Accepted 30.07.2023