

УДК 004.451.25:303.092.5

DOI: [10.26102/2310-6018/2026.60.9.010](https://doi.org/10.26102/2310-6018/2026.60.9.010)

Метасистемный подход к управлению организационно-технической системой

Г.Ф. Ахмедьянова✉, А.М. Пищухин

*Оренбургский государственный университет имени В.А. Бондаренко, Оренбург,
Российская Федерация*

Резюме. Процесс управления организационно-технической системой, понимаемой как совокупность персонала и технических средств, в силу его сложности, моделируется функционированием отдельных страт. Анализ процесса управления осуществляется решением шести задач метасистемного подхода. Доказательство того факта, что страты имеют независимые части, позволяет оптимально распределять ресурсы, решая пятую задачу метасистемного подхода на основе формулы полной вероятности методом неопределенных множителей Лагранжа и, тем самым, координировать функционирование страт для максимизации достижения общей цели системы. Последовательным решением задач: порождения метасистемы для организации переключения управляющих воздействий, выявления их модульности и сочетаемости, разработки стратегии их переключения, оценки и управления готовностью организационно-технической системы к обеспечению целевой программы – проектируется система управления. Управляющие воздействия при этом рассматриваются как вмешательства по Месаровичу и носят режимный, структурный, организационный и сигнально-уровневый характер. В виду сложности выявления модульности и сочетаемости таких управляющих воздействий применяется гибридный искусственный интеллект, основанный на метасистемных переключениях традиционных интеллектуальных технологий с механизмом прецедентов, с морфологическим, синтаксическим и семантическим анализом поисковых запросов. Задача проектирования стратегии переключения управляющих воздействий, так же, как и задача оптимального распределения ресурсов решаются на основе вероятностного описания. При этом используется модель марковского процесса, что позволяет применить уравнение Фоккера-Планка-Колмогорова.

Ключевые слова: организационно-техническая система, метасистемный подход, предиктивное управление, распределение ресурсов, стратифицированная модель, оптимальная готовность.

Для цитирования: Ахмедьянова Г.Ф., Пищухин А.М. Метасистемный подход к управлению организационно-технической системой. *Моделирование, оптимизация и информационные технологии*. 2026;14(9). URL: <https://moitvvt.ru/ru/journal/article?id=2509> DOI: 10.26102/2310-6018/2026.60.9.010

Metasystem approach to managing organizational and technical system

G.F. Akhmedyanova✉, A.M. Pishchukhin

Orenburg State University named after V.A. Bondarenko, Orenburg, the Russian Federation

Abstract. The process of managing an organizational-technical system, understood as a summation of personnel and technical resources, is, due to its complexity, modeled by the functioning of individual stratas. The management process is analyzed by solving six problems of the metasystem approach. Proving that the stratas have independent parts allows for the optimal allocation of resources by solving the fifth problem of the metasystem approach based on the formula of total probability using the method of uncertain Lagrange multipliers, thereby coordinating the functioning of the stratas to maximize the achievement of the overall system goal. The management system is designed by sequentially solving

the following problems: generating a metasystem for organizing the switching of control actions, identifying their modularity and compatibility, developing a strategy for their switching, and assessing and managing the readiness of the organizational and technical system to support the target program. Control actions are considered as interventions according to Mesarovich and are of a regime, structural, organizational, and signal-level nature. Due to the complexity of identifying the modularity and compatibility of such control actions, a hybrid artificial intelligence is used. This intelligence is based on metasystem switching of traditional intelligent technologies with a precedent mechanism and morphological, syntactic, and semantic analysis of search queries. The problem of designing a control action switching strategy, as well as the problem of optimal resource allocation, is solved based on a probabilistic description. A Markov process model is used, which allows for the application of the Fokker-Planck-Kolmogorov equation.

Keywords: organizational and technical system, metasystem approach, predictive management, resource allocation, stratified model, optimal readiness.

For citation: Akhmedyanova G.F., Pishchukhin A.M. Metasystem approach to managing organizational and technical system. *Modeling, Optimization and Information Technology*. 2026;14(9). (In Russ.). URL: <https://moitvvt.ru/ru/journal/article?id=2509> DOI: 10.26102/2310-6018/2026.60.9.010

Введение

Организационно-техническая система (ОТС), основанная на взаимодействии персонала с технологическим оборудованием, давно уже стала классическим средством решения социально-значимых задач [1]. Однако, как система она обладает тремя свойствами, затрудняющими организацию эффективного процесса управления в ней. Эти три свойства – сложность, инерционность и случайность событий, в ней происходящих.

В системологии Дж. Клира [2] самым верхним уровнем исследования и, очевидно, самым первым инструментом для борьбы со сложностью, в соответствии с дедуктивным подходом, является метасистема. Метасистема является вторым способом объединения систем в нечто целое (первый способ – создание структурированной системы). То, что таких способов два, доказывается, на основе параметрического множества. По Дж. Клиру любая система – это совокупность множества переменных и множества параметров, на которых исследуются изменения переменных. Параметрическое множество W может быть общим для всех элементов объединенной системы в количестве N и тогда – это структурированная система или может набираться из отдельных подмножеств каждого элемента W_i и, в этом случае, это метасистема.

$$W_i \in W, i = 1, \dots, N; \quad W = \sum_{i=1}^N W_i. \quad (1)$$

Между двумя способами объединения систем существует три принципиальных различия в отношении всеобщей соединенности элементов, одновременности их функционирования, а также в отношении принципа синтеза. В структурированной системе все элементы прямо или косвенно связаны, функционируют одновременно, а синтезируется она по принципу полноты и достаточности. В то же время, метасистема включает довольно независимые (слабосвязанные) и даже иногда конкурирующие между собой системы, в любой момент в ней функционируют не все элементы, а только выбранные и синтезируется она исходя, чаще всего, из экономических критериев. Вследствие этих отличий при проектировании метасистемы необходимо решить шесть задач, даже не возникающих для структурированной системы.

1. Выявление границ диапазонов параметров, в которых каждая из систем функционирует эффективно;

2. Проектирование стратегии переключения систем при функционировании метасистемы;

3. Оценка и управление готовностью составляющих систем к функционированию;
4. Выявление сочетаемости систем в портфеле метасистемы;
5. Оптимизация распределения между системами общесистемных ресурсов;
6. Порождение метасистемы.

Метасистемы можно поделить на два класса: последовательного и параллельного действия. Хотя и в первом, и во втором случае действует правило выбора функционирующей системы, в первом случае выбирается всегда одна система, во втором – группа параллельно-функционирующих систем.

Как сказано выше, эффективное функционирование организационно-технической системы осложняется тремя свойствами: сложностью, инерционностью и случайностью. Сложность преодолевается декомпозицией [3] или решением *первой* задачи метасистемного подхода – выделением страт, показанных на Рисунке 1.

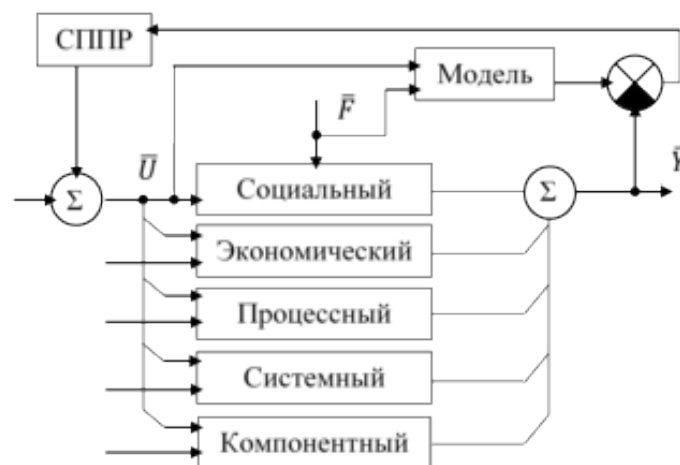


Рисунок 1 – Стратифицированная модель организационно-технической системы
Figure 1 – Stratified model of the organizational and technical system

В ОТС можно выделить пять уровней (страт): компонентный, системный, процессный, экономический и социальный. Все пять уровней вносят свои вклады в общую выходную величину, под которой можно понимать уровень социальной востребованности продукции ОТС.

Компонентный уровень отражает функционирование составляющих: персонала, технологического оборудования, инженерных коммуникаций и запасов. Каждая из компонент добавляет в общую величину свою долю.

Системный уровень объединяет все компоненты и оценивается показателями состояния образованной системы. Процессный уровень является источником результата функционирования ОТС, оценивается технологическими режимами, экономический контролирует рациональность и эффективность протекающих процессов, оценивается экономическими показателями, а социальный отсекает социально-неприемлемые решения и может оцениваться уровнем социальной значимости производимого ОТС результата. В ОТС введен также контур адаптации, позволяющий приспособливаться к внешним и внутренним изменениям, а система поддержки принятия решений в этом контуре позволяет синхронизировать функционирование страт.

Как видим из схемы, страты связаны своими выходами. Можно доказать, что в каждой страте есть независимая часть. Это означает, что координацию страт [4] можно проводить распределением ресурсов (то есть решением *пятой* задачи метасистемного подхода) на основе формулы полной вероятности.

$$P = \prod_{i=1}^5 P_i = \prod_{i=1}^5 (1 - q_i^{m_i}), \quad (2)$$

где P_i – вероятность повышения эффективности на i -ой страте, $q_i = 1 - P_i$, m_i – доля выделенных ресурсов. Используя метод неопределенных множителей Лагранжа¹ можно получить

$$m_i = \frac{1}{\ln q_i} \left[\frac{C_{\text{зад}} - \sum_{i=1}^5 a_i \ln |a_i|}{\sum_{i=1}^5 a_i} \right], \quad a_i = \frac{c_i}{\ln q_i}, \quad (3)$$

где $C_{\text{зад}}$ – общий объем выделенных ресурсов, c_i – стоимость единицы ресурса на i -ой страте.

Выделенные стратегиям ресурсы координируют их функционирование посредством формирования специальных управляющих воздействий. Последние, при условии одновременного приложения ко всем стратегиям, можно объединить в структурированную систему и переключать с помощью метасистемного механизма. Для этого необходимо решить *шестую* задачу метасистемного подхода – порождение метасистемы. Переключаемые структурированные системы при этом будут включать системы данных, содержащих подробные инструкции о формировании управляющих воздействий верхних уровней.

При этом сами управляющие воздействия верхних уровней могут иметь различную форму. Поскольку у каждой стратегии есть своя система управления, управляющие воздействия верхних стратегий не должны препятствовать осуществлению ее функций, но, имея более высокий статус иерархии, могут вносить коренные изменения в процесс управления, координируя его на общую цель ОТС. Месарович [5] называет их воздействия вмешательствами. Они могут изменять режимы, параметры или структуру этих систем, не затрагивая непосредственное внутреннее управление, а также создавая внешние условия, благоприятные (способствующие) достижению целей верхних уровней. Кроме того, управление может использовать нелинейные и логические аспекты – переводить стратегии в определенный диапазон функционирования, обеспечивать старт-стоповые функции. Можно для этих управляющих воздействий применить соответственно свои названия: параметрические (режимные), структурные, организационные и сигнально-уровневые.

Описанная многоаспектность управляющих воздействий требует поиска в них сочетаемых составляющих и модульности подхода к их организации, то есть постановки и решения *четвертой* задачи метасистемного подхода.

Материалы и методы

Вероятностное описание ОТС. В данном разделе необходимо определиться с инструментом, используемым для описания процессов, протекающих в организационно-технической системе. Эти процессы сложны из-за труднопредсказуемых действий персонала, из-за возможных отказов в работе технологического оборудования, из-за многих случайных событий в различного вида обеспечении производства и др.

По нашему мнению, здесь более всего подходит математический аппарат теории вероятностей (иногда возможностей), даже в упрощенном подходе, когда речь идет о независимых событиях и об ординарных, стационарных случайных процессах без памяти, то есть о пуассоновских потоках.

При вероятностном описании ОТС возникает вопрос об управлении вероятностями событий. В этом случае управление сводится к созданию условий,

¹ Яковлев А.В. *Надежность информационных систем*. Муром: ВГУМИ; 2004. 63 с.

способствующих появлению желаемого события и устранение причин его неоявления, то есть речь идет об организационных управляющих воздействиях.

Принятие условия марковости (отсутствие памяти и последствий), протекающих случайных процессов, позволяет в качестве первого приближения применять уравнения Фоккера-Планка-Колмогорова (ФПК).

Уравнение ФПК описывает релаксационные процессы, то есть процессы с уменьшающейся определенностью свершения некоторого события с течением времени и, следовательно, требующей оптимального управления уровнем этой определенности. Это означает, что статического, однократного распределения управленческих ресурсов (как это продемонстрировано выше на методе неопределенных множителей Лагранжа), недостаточно, необходимо учитывать природу релаксации каждого из параллельно протекающих процессов.

Готовность системы к функционированию, оцениваемая в *третьей* задаче метасистемного подхода, можно описывать с помощью плотности вероятности выполнения системой ее функций в момент времени t и в объеме x . Тогда плотность этой вероятности ω , должна подчиняться уравнению ФПК:

$$\frac{\partial \omega}{\partial t} = -a_0 \frac{\partial \omega}{\partial x} + \frac{b_0}{2} \frac{\partial^2 \omega}{\partial x^2}, \quad (4)$$

где a_0 – коэффициент сноса, b_0 – коэффициент диффузии. С помощью подстановки Тихонова-Самарского² первую производную по нагрузке x можно исключить. Такой подход позволяет поставить и решить задачу оптимального управления готовностью на основе критерия Летова [6], сводя потери к разности плотностей вероятности рынка и ОТС, и связывая управленческие затраты с изменениями коэффициента диффузии:

$$F = \int_0^{t_f} \int_0^\infty (q(\omega_1^* - \omega)^2 + (b_1 - yb)^2) dx dt \rightarrow \min. \quad (5)$$

В лагранжиан при этом войдет как подинтегральная функция, так и уравнение состояния ОТС в виде преобразованного уравнения ФПК:

$$L = q(\omega_1^* - \omega)^2 + (b_1 - yb)^2 + \psi \left(by \frac{\partial^2 \omega}{\partial x^2} - \frac{\partial \omega}{\partial t} \right) \rightarrow \min. \quad (6)$$

Поскольку данный объект относится к объектам с распределенными параметрами, необходимо составлять уравнение Эйлера-Остроградского-Пуассона³:

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{\partial L}{\partial \omega} - \frac{d}{dt} \left(\frac{\partial L}{\partial \dot{\omega}} \right) - \frac{d}{dx} \left(\frac{\partial L}{\partial \omega'_x} \right) + \frac{d^2}{dx^2} \left(\frac{\partial L}{\partial \omega''_x} \right) = -2q(\omega_1^* - \omega) + \dot{\psi} + by \frac{d^2 \psi}{dx^2} + \\ \quad + 2b \frac{dy}{dx} \frac{d\psi}{dx} + b\psi \frac{d^2 y}{dx^2} = 0, \\ \frac{\partial L}{\partial \psi} = by \frac{\partial^2 \omega}{\partial x^2} - \frac{\partial \omega}{\partial t} = 0, \\ \frac{\partial L}{\partial y} = -2(b_1 - yb) + b\psi \frac{\partial^2 \omega}{\partial x^2} = 0 \end{array} \right. \quad (7)$$

и показать, что чем больше предварительная упорядоченность в системе, тем меньше необходимо затрачивать ресурсов на предварительную ее подготовку.

$$y = \frac{b_1}{b} - \frac{1}{2} \frac{\partial^2 \omega}{\partial x^2}. \quad (8)$$

В зависимости от величины ω_1^* , входящей во второе слагаемое правой части, оптимальное управление может заканчиваться досрочно, точно в срок или быть

² Тихонов А.Н., Самарский А.А. *Уравнения математической физики*. Москва: Наука; 1977. 736 с.

³ Эльсгольц Л.Э. *Дифференциальные уравнения и вариационное исчисление*. Москва: Наука; 1969. 424 с.

неоконченным. При увеличении ω_1^* уменьшается ее дисперсия в силу сохранения площади под ее графиком. Это означает возрастание определенности всех параметров протекания процесса и при высокой детерминированности площадь под кривой управляющих воздействий будет стремиться к нулю, т.е. на подготовку организационно-технической системы тратится меньше средств в случае большой начальной готовности.

Предиктивное управление. Последний вывод означает, что необходимо прогнозирование будущего развития событий, чтобы быть к ним готовым, то есть необходимо решение *второй* задачи метасистемного подхода, и применение предиктивного управления [7, 8].

При этом можно рассмотреть две схемы предиктивного управления, представленные на Рисунке 2.

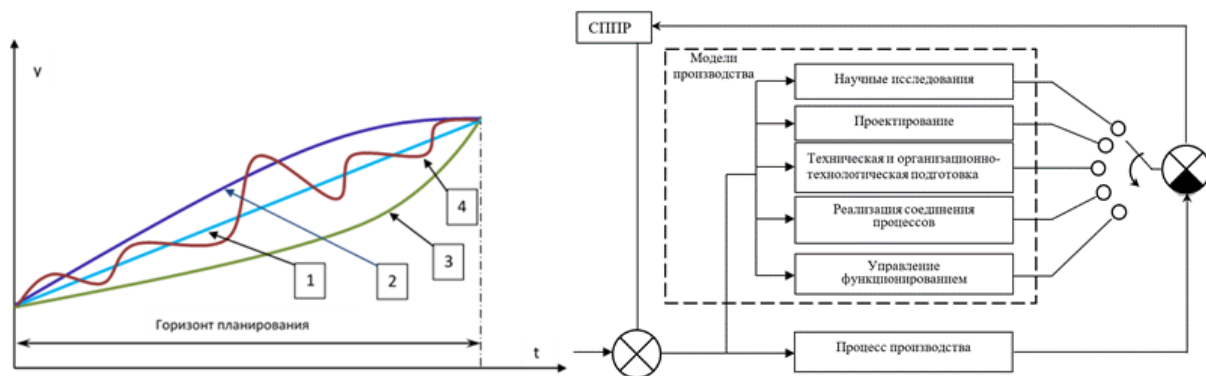


Рисунок 2 – Предиктивное управление на основе следящей схемы
Figure 2 – Predictive control based on a tracking circuit

В основе левой схемы используется следящее управление. Цель слежения удалена на горизонт планирования, а достигать ее можно линейно, с опережением, отставанием по величине или скачкообразно. Линейное достижение цели самое простое, не требующее дополнительных усилий, но и рискованное, поскольку не образуется запаса для «маневра». Опережение по величине применяется в случае максимизации целевой величины, например, необходимости достигнуть заданного объема продукции, а отставание, когда целевая величина минимизируется, например, в случае себестоимости продукции. Наконец, скачкообразное достижение применяется в случае необходимости сохранения в тайне целевой величины от конкурентов.

Вторая схема (правая на Рисунке 2) основана на метасистемных переключениях модели. Временной интервал от текущего момента до горизонта планирования делят на участки с частными горизонтами управления и на каждом разрабатывают соответствующую модель развития событий. При функционировании системы по достижении границ участков производится переключение модели.

Гибридный искусственный интеллект. Применим к поставленной сложной задаче гибридный искусственный интеллект [9, 10]. Он рассчитан на два источника интеллектуальных проблем: персонал и технологический процесс. Информация, поступающая с них, по-разному представлена и по-своему обрабатывается. От персонала поступают чаще текстовые документы, подвергаются морфологическому, синтаксическому семантическому анализу и дальнейший поиск осуществляется на уровне семантики. Технологический процесс поставляет информацию с датчиков, которая анализируется совместно для распознавания проблемного состояния. В схеме имеется механизм постоянно пополняющихся прецедентов, поэтому, если находится

Результаты

The diagram illustrates the management system for a production process, organized into several hierarchical levels and functional blocks:

- Top Level:**
 - Метасистема второго уровня** (Second-level metasystem) connects to the **Система управления производственным процессом** (Production process management system).
- Second Level:**
 - Метасистема первого уровня** (First-level metasystem) blocks, with an ellipsis indicating multiple such systems, all connected to the central management system.
- Third Level (Functional Blocks):**
 - Экономика** (Economy)
 - Технология** (Technology)
 - Системный уровень** (System level)
 - Персонал** (Personnel)
 - Интерфейсы** (Interfaces)
- Fourth Level (Operational Blocks):**
 - Коллектор** (Collector)
 - Скважины** (Wells)
 - Пласт** (Reservoir)
- Fifth Level (Process Flow):**
 - Трубопроводы** (Pipelines) receive input from the **Коллектор** and the **Скважины**.
 - Подготовка** (Preparation) receives input from the **Трубопроводы** and the **Пласт**.
 - Рынок** (Market) receives input from the **Подготовка**.
- Feedback Loop:**
 - Обратная связь с потребителем** (Feedback from the consumer) connects the **Рынок** back to the **Метасистема первого уровня**.

Заключение

7 | 9

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ / REFERENCES

1. Новиков Д.А. *Теория управления организационными системами*. Москва: ЛЕНАНД; 2022. 500 с.
2. Klir G.J., Elias D. *Architecture of Systems Problem Solving*. New York, London: Plenum press; 1985. 539 p.
3. Львович Я.Е., Рындин Н.А., Сахаров Ю.С. Оптимизационное моделирование процесса многовариантной структуризации при управлении в цифровизированной организационной системе. *Вестник Российского нового университета. Серия: Сложные системы: модели, анализ и управление*. 2022;(4):88–96.
Lvovich Ya.E., Ryndin N.A., Saharov Yu.S. Optimization modeling of the multivariant structuring process in digitalized organizational system management. *Vestnik of Russian New University. Series: Complex systems: models, analysis, management*. 2022;(4):88–96. (In Russ.).
4. Ахмедьянова Г.Ф., Ломухин И.А., Пищухин А.М. Выявление независимых частей страт в модели системы управления производством. *Моделирование, оптимизация и информационные технологии*. 2025;13(3). <https://doi.org/10.26102/2310-6018/2025.50.3.021>
Akhmedyanova G.F., Lomukhin I.A., Pishukhin A.M. Identification of independent parts of strata in the production management system model. *Modeling, Optimization and Information Technology*. 2025;13(3). (In Russ.). <https://doi.org/10.26102/2310-6018/2025.50.3.021>
5. Mesarović M.D., Macko D., Takahara Y. *Theory of hierarchical, multilevel, systems*. New York: Academic Press; 1970. 294 p.
6. Летов А.М. Аналитическое конструирование регуляторов. IV. *Автоматика и телемеханика*. 1961;22(4):425–435.
Letov A.M. Analytical design of controllers. IV. *Avtomatika i Telemekhanika*. 1961;22(4):425–435. (In Russ.).
7. Ершов А.Н. Актуальные проблемы развития предиктивной аналитики в промышленности. *Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова*. 2025;23(3):187–194. <https://doi.org/10.18503/1995-2732-2025-23-3-187-194>
Ershov A.N. Current Issues in the Development of Predictive Analytics in Industry. *Vestnik of Nosov Magnitogorsk State Technical University*. 2025;23(3):187–194. (In Russ.). <https://doi.org/10.18503/1995-2732-2025-23-3-187-194>
8. Дьяконов Н.А., Логунова О.С. Системы управления технологическим процессом на основе предиктивной аналитики: проектирование. *Электротехнические системы и комплексы*. 2021;(1):58–64. [https://doi.org/10.18503/2311-8318-2021-1\(50\)-58-64](https://doi.org/10.18503/2311-8318-2021-1(50)-58-64)
Dyakonov N.A., Logunova O.S. Process control systems based on predictive analytics: design. *Electrotechnical Systems and Complexes*. 2021;(1):58–64. (In Russ.). [https://doi.org/10.18503/2311-8318-2021-1\(50\)-58-64](https://doi.org/10.18503/2311-8318-2021-1(50)-58-64)
9. Ахмедьянова Г.Ф., Пищухин А.М. Гибридная интеллектуализация системы управления авиационным производством. *Известия высших учебных заведений. Авиационная техника*. 2021;(1):146–150.
Akhmed'yanova G.F., Pishchukhin A.M. Hybrid intellectualization of the management system in aircraft manufacture. *Russian Aeronautics*. 2021;64(1):157–162. <https://doi.org/10.3103/S1068799821010220>
10. Гаврилов А.В. *Гибридные интеллектуальные системы*. Новосибирск: Изд-во НГТУ; 2003. 164 с.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ / INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Ахмедьянова Гульнара Фазульевна, кандидат педагогических наук, доцент, доцент кафедры управления и информатики в технических системах, Оренбургский государственный университет имени В.А. Бондаренко, Оренбург, Российская Федерация.

e-mail: ahmedyanova@bk.ru

Gulnara F. Akhmedyanova, Candidate of Pedagogical Sciences, Docent, Associate Professor at the Department of Management and Informatics in Technical Systems, Orenburg State University named after V.A. Bondarenko, Orenburg, the Russian Federation.

Пищухин Александр Михайлович, доктор технических наук, профессор, профессор кафедры управления и информатики в технических системах, Оренбургский государственный университет имени В.А. Бондаренко, Оренбург, Российская Федерация.

e-mail: pishchukhin55@mail.ru

Alexander M. Pishukhin, Doctor of Engineering Sciences, Professor, Professor at the Department of Management and Informatics in Technical Systems, Orenburg State University named after V.A. Bondarenko, Orenburg, the Russian Federation.

Статья поступила в редакцию 17.06.2026; одобрена после рецензирования 07.09.2026; принята к публикации 18.09.2026.

The article was submitted 17.06.2026; approved after reviewing 07.09.2026; accepted for publication 18.09.2026.