

УДК 517.977.1

DOI: [10.26102/2310-6018/2025.50.3.021](https://doi.org/10.26102/2310-6018/2025.50.3.021)

Выявление независимых частей страт в модели системы управления производством

Г.Ф. Ахмедьянова¹✉, И.А. Ломухин², А.М. Пищухин¹

¹Оренбургский государственный университет, Оренбург, Российская Федерация

²ООО «Газпромнефть-Нефтесервис», Санкт-Петербург, Российская Федерация

Резюме. Система управления производственным процессом отличается сложностью, поэтому ее необходимо предварительно исследовать на модели и выбирать для этого многоуровневую структуру. Многоуровневые структуры разбиваются на три класса: стратифицированные, многослойные и многоэшелонные. Стратифицированная модель, с одной стороны, позволяет упростить описание и понимание процессов управления производством, снизить многосвязность контуров управления, с другой стороны, систематизирует задачи управления по стратам и создает основу для применения строгих математических инструментов. Достигается это за счет повышения независимости страт и переноса их взаимосвязи на выходные результаты. В работе показано, что в самом простом случае с применением принципа суперпозиции, оценку результата управления можно свести к оценке результата на верхней страте. Выявление независимо функционирующих частей страт позволяет организовать процедуру оптимального перераспределения ресурсов между ними. Применение даже простых моделей в виде апериодических звеньев позволяет поставить и решить задачу оптимального управления на уровне каждой страты, сводя ее к решению системы дифференциальных уравнений первого порядка. В результате определяются оптимальные фазовые траектории движения страт и алгоритмы подачи во времени оптимальных управляющих воздействий, выраженные через экспоненты.

Ключевые слова: стратифицированная модель, управление производством, многоуровневая оценка результата, оптимальное распределение ресурсов, оптимальное управление.

Для цитирования: 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). URL: <https://moitvvt.ru/ru/journal/pdf?id=1987> DOI: 10.26102/2310-6018/2025.50.3.021

Identification of independent parts of strata in the production management system model

G.F. Akhmedyanova¹✉, I.A. Lomukhin², A.M. Pishukhin¹

¹Orenburg State University, Orenburg, the Russian Federation

²Gazpromneft-Nefteservis LLC, Saint Petersburg, the Russian Federation

Abstract. The production process control system is complex, so it is necessary to study it in advance on a model and select a multi-level structure for this purpose. Multi-level structures are divided into three classes: stratified, multi-layer and multi-echelon. The stratified model, on the one hand, allows to simplify the description and understanding of production control processes, reduce the multi-connectivity of control loops, on the other hand, it systematizes control tasks by strata and creates a basis for the application of rigorous mathematical tools. This is achieved by increasing the independence of strata and transferring their interrelation to output results. The paper shows that in the simplest case, using the superposition principle, the assessment of the control result can be reduced to the assessment of the result on the upper stratum. Identification of independently functioning parts of strata allows to organize the procedure of optimal redistribution of resources between them. The use of even simple

models in the form of aperiodic links allows to formulate and solve the problem of optimal control at the level of each stratum, reducing it to solving a system of first-order differential equations. As a result, optimal phase trajectories of the strata movement and algorithms for supplying optimal control actions in time, expressed through exponentials, are determined.

Keywords: stratified model, production management, multi-level evaluation of results, optimal resource allocation, optimal control.

For citation: Akhmedyanova G.F., Lomukhin I.A., Pishchukhin A.M. Identification of independent parts of strata in the production management system model. *Modeling, optimization and information technology*. 2025;13(3). (In Russ.). URL: <https://moitvvt.ru/ru/journal/pdf?id=1987> DOI: 10.26102/2310-6018/2025.50.3.021

Введение

Система управления производственным процессом отличается сложностью [1], поэтому ее необходимо моделировать. Для этого лучше подходит многоуровневая структура в виде стратифицированной модели. При этом модель усложняется взаимосвязью страт, но применение принципа суперпозиции позволяет упростить задачу, выявить простой критерий качества функционирования системы и получить возможность оптимального распределения ресурсов, а также поставить и решить задачу оптимального управления фазовыми траекториями страт, определить алгоритмы подачи во времени оптимальных управляющих воздействий.

Многокоординатная модель

В работе [2] выявлено три типа многоуровневых моделей: стратифицированная, многослойная и многоэшелонная. Причем сразу определено, что последняя должна использоваться для организационных структур с участием персонала, а средняя для моделирования процесса последовательного принятия решений. Стратифицированные модели довольно часто применяются как для моделирования [3, 4], так и принятия решений [5].

Относительно стратифицированной структуры сразу постулируется, что [2] «система задается семейством моделей... для каждого уровня существует ряд характерных особенностей и переменных, законов и принципов... Чтобы такое иерархическое описание было эффективным, необходима как можно большая независимость моделей для различных уровней системы».

При полной независимости страт система управления станет многокоординатной. Тогда необходим централизованный орган и на него возлагаются вопросы координации. В этом случае управление потеряет оперативность, поскольку при взаимодействии все страты должны обращаться к одному централизованному органу управления [6].

Первый уровень в такой системе (Рисунок 1) является компонентным и для производственного предприятия может быть представлен персоналом, технологическим оборудованием, зданиями и сооружениями, материальными и финансовыми запасами и т. д.

Второй уровень объединяет компоненты первого в систему и контролирует показатели состояния этой системы. На него возлагаются общесистемные функции: пожарная безопасность, охрана труда, управление кадрами, модернизация и др. Третий уровень отвечает за обеспечение производственного процесса, а именно за контроль технологических режимов, плавность, ритмичность, переключение процессов и т. д.

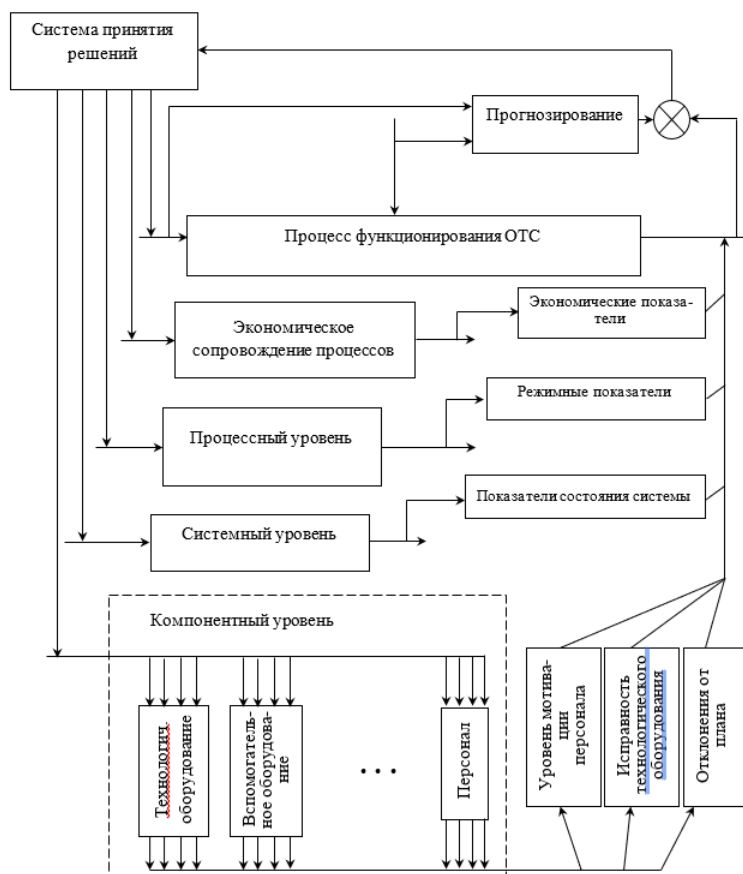


Рисунок 1 – Многокоординатная модель управления производством
Figure 1 – Multi-coordinate production management model

Четвертый уровень отвечает за рациональность функционирования всей системы, и поэтому он экономический. В зону его ответственности входят не только калькуляция себестоимости продукции, но и перераспределение ресурсов, контрактная деятельность и т. д.

Наконец, пятый уровень должен быть социальным, связывающим производство с общественными потребностями, а также не допускающим социально-неприемлемых решений. Выход этого уровня интегрирует выходы всех нижележащих страт и задействован в контуре адаптивного управления с эталонной моделью [7].

В адаптивном контуре в качестве эталонной предложена прогнозная модель, позволяющая реализовать опережающее, предиктивное управление.

Стратифицированная модель

Отсутствие взаимосвязей между стратами сводит модель системы управления к одноуровневой и одноранговой форме, поэтому попробуем не отказываться от преимуществ многоуровневой модели при сохранении относительной ее простоты. Следуем указаниям, рекомендованным в той же работе [2] о том, что зависимость может быть реализована лишь по выходам страт.

Имея целью построение максимально простой схемы, используем гипотезу о справедливости в ней принципа суперпозиции. Тогда проблема сложности взаимосвязей решается выходным сумматором на каждой страте, как видно из Рисунка 2, на котором представлены срединные страты.

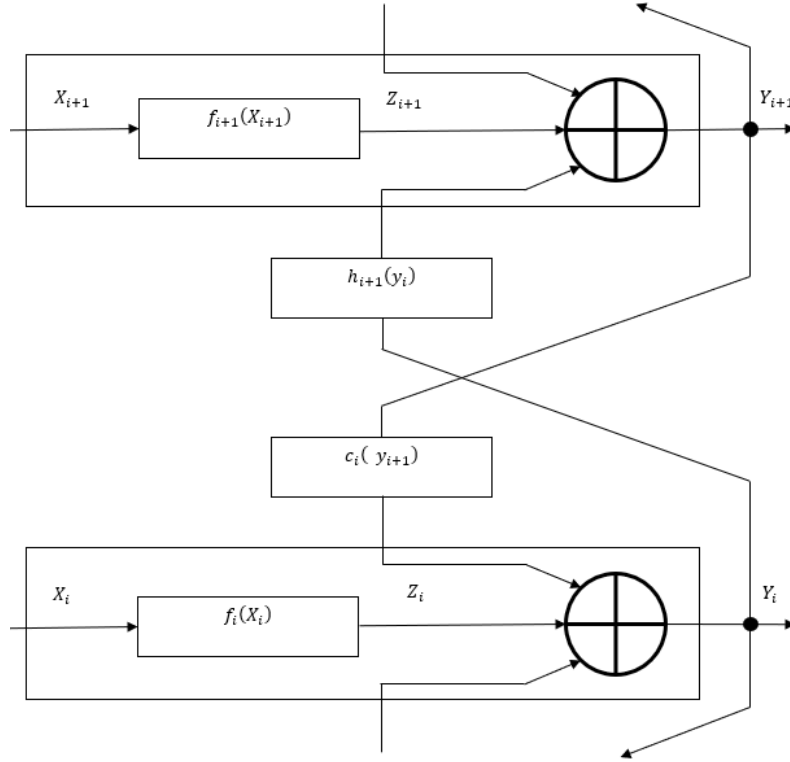


Рисунок 2 – Схема взаимосвязи страт
Figure 2 – Scheme of interrelation of strata

Что касается математического описания, можно воспользоваться исходными уравнениями работы [2], где каждая страта представляется отображением множеств:

$$\begin{aligned} S_i: X_i \times W_i &\rightarrow Y_i, & \text{если } i = n, \\ S_i: X_i \times G_i \times W_i &\rightarrow Y_i, & \text{если } 1 < i < n, \\ S_i: X_i \times G_i &\rightarrow Y_i, & \text{если } i = 1, \end{aligned} \quad (1)$$

здесь G_i и W_i – множества воздействий от страт, соседствующих сверху и снизу соответственно, n – общее количество страт в системе. Первое множество есть совокупность управляющих воздействий сверху, второе – совокупность откликов обратной связи, поступающих навверх. Кроме того, должны существовать еще два семейства отображений:

$$\begin{aligned} h_i: Y_i &\rightarrow W_{i+1}, & \text{если } 1 < i < n, \\ c_i: Y_i &\rightarrow G_{i+1}, & \text{если } 1 < i < n. \end{aligned} \quad (2)$$

Тогда в соответствии со схемой на Рисунке 2 можно записать для обобщенной стратифицированной модели производства с пятью стратами:

$$\begin{aligned} y_1 &= f_1(X_1) + c_1(y_2), \\ y_2 &= h_2(f_1(X_1) + c_1(y_2)) + f_2(X_2) + c_2(y_3), \\ y_3 &= h_3(h_2(f_1(X_1) + c_1(y_2)) + f_2(X_2) + c_2(y_3)) + f_3(X_3) + c_3(y_4), \\ y_4 &= h_4(h_3(h_2(f_1(X_1) + c_1(y_2)) + f_2(X_2) + c_2(y_3)) + f_3(X_3) + c_3(y_4)) + f_4(X_4) + \\ &\quad + c_4(y_5), \end{aligned} \quad (3)$$

$$y_5 = h_5 \left(h_4 \left(h_3 \left(h_2 (f_1(X_1) + c_1(y_2)) + f_2(X_2) + c_2(y_3)) + f_3(X_3) + c_3(y_4) \right) + f_4(X_4) + c_4(y_5) \right) + f_5(X_5) \right).$$

Считая преобразование h пропорциональным с коэффициентом k , соответствующим индексу страты, получаем общую формулу для оценки поведения ОТС:

$$y_5 = k_2 f_1(X_1) + k_3 f_2(X_2) + k_4 f_3(X_3) + k_5 f_4(X_4) + f_5(X_5) + p_1(y_2) + p_2(y_3) + p_3(y_4) + p_4(y_5), \quad (4)$$

здесь $p_i(y_{i+1}) = k_{i+1} c_i(y_{i+1})$.

Из формулы следует пропорциональная суммарная зависимость общего выхода (верхнего уровня) от вкладов независимых частей каждой страты и дополнения его преобразованными выходами всех остальных страт.

Практика использования такой оценки позволит выявить сначала приемлемые значения всех показателей, включая интегральный показатель, а затем оптимизировать их. Статистическое исследование при этом должно выявить корреляционное влияние осуществляемых воздействий и реакцию на них соответствующих оценок [8, 9].

Оптимизация распределения ресурсов

Еще одним преимуществом выделения независимых частей в каждой страте является обеспечение возможности независимого распределения ресурсов [10]. Задачу можно поставить следующим образом:

$$P(K) \rightarrow \max \text{ при } C = \text{const}, \quad (5)$$

где $P(K)$ – вероятность повышения качества функционирования производственной системы; C – выделенная сумма на мероприятия, направленные на повышение этого качества.

Качество функционирования в данном случае, согласно схеме на Рисунке 1, достигается на пяти уровнях. Вследствие независимости страт можно применить формулу полной вероятности:

$$P = \prod_{i=1}^5 P_i, \quad (6)$$

где P_i – вероятность повышения качества на i -ом уровне.

Пусть ресурсы выделяются порциями m_i и снижают потери качества (вероятность этого снижения $q_i = 1 - P_i$ дополняет вероятность его повышения до 1). Тогда формулу (6) можно преобразовать к виду:

$$P = \prod_{i=1}^4 (1 - q_i^{m_i}). \quad (7)$$

Раскрывая произведение, получим:

$$(1 - q_1^{m_1}) \cdot \dots \cdot (1 - q_5^{m_5}) = 1 - q_1^{m_1} - \dots - q_5^{m_5} + q_1^{m_1} \cdot q_2^{m_2} + \dots \quad (8)$$

Принимая, что q_i малы, отбросим слагаемые второго и большего порядка малости. Тогда полная вероятность ухудшения качества:

$$Q(\bar{m}) = \sum_{i=1}^5 q_i^{m_i}. \quad (9)$$

Здесь компоненты пропорциональности выделения ресурсов сведены к вектору $\bar{m}$. Обозначая единичную стоимость каждого из ресурсов на уровне страт c_i , вычисляем

общую стоимость, направляемую на повышение качества функционирования производственной системы

$$C = C(\bar{m}) = \sum_{i=1}^n c_i m_i. \quad (10)$$

При постановке задачи максимизации уровня качества необходимо определить значения m_i (для каждой страты), обеспечивающие максимум качества при условии, что стоимость мероприятий не превышает имеющейся суммы ($C(\bar{m}) \leq C_{\text{зад}}$).

Составим лагранжиан

$$F(\bar{m}) = Q(\bar{m}) + \varepsilon(C_{\text{зад}} - C(\bar{m})), \quad (11)$$

где ε – неопределенный множитель Лагранжа.

В аналогичной постановке задача решена в работе [11]. Воспользовавшись, с разрешения авторов, полученными там результатами и принимая гипотезу о примерном соответствии их реальному производству, приводим их, рассчитанными на основе данных, собранных в Таблице 1.

Таблица 1 – Заданные значения

Table 1 – Specified values

I	1	2	3	4	5
c_i	20000	80000	40000	30000	70000
q_i	0,05	0,03	0,06	0,1	0,01

Гистограмма распределения средств для решения задачи максимизации качества функционирования производственной системы при заданном количестве денежных средств представлена на Рисунке 3.

Задача оптимального управления стратами

Структура формулы (4) подсказывает, что показателем качества функционирования может быть выбран выход пятой страты без каких-либо преобразований, поскольку он интегрирует выходы всех нижележащих страт. При этом максимально упростим зависимости до пропорциональности с уже выбранными коэффициентами.

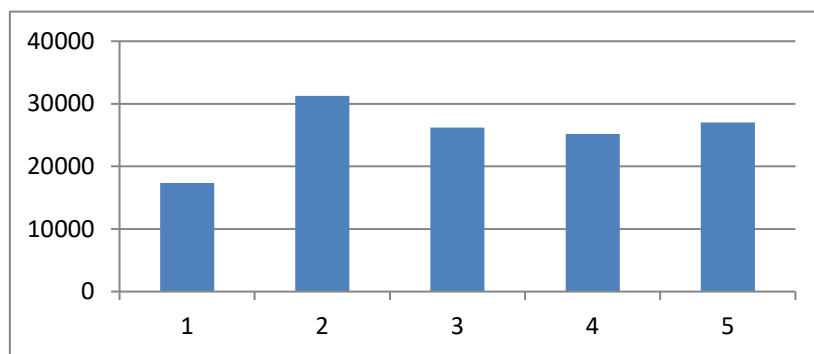


Рисунок 3 – Гистограмма распределения средств для решения задачи максимизации качества

Figure 3 – Histogram of distribution of funds for solving the problem of maximizing quality

Повышение эффективности производственной программы [12], [1] сводится к максимизации функционала, например, в форме А.М. Летова [13], и, принимая уравнения, описывающие поведение страт в виде аperiodических звеньев для двухуровневой системы, построим лагранжиан:

$$L = \alpha_1 x_1^2 + \alpha_2 x_2^2 - (y_2)^2 + \sum_1^2 \psi_i \left(T_i \frac{dy_i}{dt} + y_i - q_i x_i \right), \quad (12)$$

здесь весовые коэффициенты α_i можно задавать в соответствии со столбчатой диаграммой Рисунка 3, считая их отражением вклада страт в общий результат, в целях конкретизации примем: $\alpha_1 = 0,13$; $\alpha_2 = 0,25$.

Составляя уравнения Эйлера, по всем переменным получим следующую систему

$$\begin{cases} \frac{\partial L}{\partial y_i} - \frac{d}{dt} \left(\frac{\partial L}{\partial \dot{y}_i} \right) = 0, \quad \psi_1 - T_1 \dot{\psi}_1 = 0 \\ 2y_2 + \psi_2 - T_2 \dot{\psi}_2 = 0 \\ \frac{\partial L}{\partial x_i} = 0, \quad 2\alpha_1 x_1 - \psi_1 q_1 = 0 \\ 2\alpha_2 x_2 - \psi_2 q_2 = 0 \\ \frac{\partial L}{\partial \psi_i} = 0, \quad T_1 \frac{dy_1}{dt} + y_1 - q_1 x_1 = 0 \\ T_2 \frac{dy_2}{dt} + y_2 - q_2 x_2 = 0 \end{cases}. \quad (13)$$

Исключаем из этих уравнений множители Лагранжа ψ_i , получаем систему из четырех дифференциальных уравнений первого порядка.

Решая эту систему¹, получаем оптимальные фазовые траектории движения страт и алгоритмы подачи во времени оптимальных управляющих воздействий, выраженные через экспоненты, каждая со своими коэффициентами.

$$\begin{cases} x_1 = C e^{\frac{t}{T_1}} \\ y_1 = C_1 e^{\frac{t}{T_1}} + q_1 C e^{\frac{t}{T_1}} \\ x_2 = C_2 ch \sqrt{\frac{\alpha_2 q_2 + T_2^2 q_2^2}{T_2^3 \alpha_2}} t + C_3 sh \sqrt{\frac{\alpha_2 q_2 + T_2^2 q_2^2}{T_2^3 \alpha_2}} t \\ y_2 = \frac{\alpha_2}{q_2} \left[\left(C_3 T_2 \sqrt{\frac{\alpha_2 q_2 + T_2^2 q_2^2}{T_2^3 \alpha_2}} - C_2 \right) ch \sqrt{\frac{\alpha_2 q_2 + T_2^2 q_2^2}{T_2^3 \alpha_2}} t + \left(C_2 T_2 \sqrt{\frac{\alpha_2 q_2 + T_2^2 q_2^2}{T_2^3 \alpha_2}} - C_3 \right) sh \sqrt{\frac{\alpha_2 q_2 + T_2^2 q_2^2}{T_2^3 \alpha_2}} t \right] \end{cases}, \quad (14)$$

Это означает, что при оптимальном управлении необходимо зависящее от номера страты экспоненциальное приложение управляющих воздействий на всем отрезке управления [14, 15]. Реакция страт при этом также различается.

Заключение

Таким образом, стратифицированная модель системы управления производством позволяет упростить описание системы для понимания происходящих в ней процессов, снизить многосвязность контуров управления, одновременно организовать простую взаимосвязь между стратами, позволяющую выявить интегрированный результат с оценкой вкладов, наконец, оптимально распределять ресурсы между стратами с максимизацией результата управления. Упрощается также постановка и решение задач оптимального управления для каждой из страт, в силу их большой независимости, что позволяет применять самые простые модели, например, в виде апериодического звена.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ / REFERENCES

1. Бусленко Н.П. *Моделирование сложных систем*. Москва: Наука; 1978. 400 с.
2. Месарович М., Мако Д., Такахара И. *Теория иерархических многоуровневых систем*. Москва: Мир; 1973. 344 с.

¹ Семенов М.Е., Некрасова Н.Н., Канищева О.И. *Математическое моделирование и дифференциальные уравнения*. Воронеж: ВГТУ; 2017. 151 с.

- Mesarovic M.D., Macko D., Takahara Y. *Theory of Hierarchical, Multilevel, Systems*. Moscow: Mir; 1973. 344 p. (In Russ.).
3. Баласанян С.Ш. Стратифицированная модель для оценки и анализа эффективности функционирования сложных технологических систем со многими состояниями. *Известия Томского политехнического университета*. 2011;318(5):25–30.
 4. Ерженин Р.В. Стратифицированная модель управления государственным бюджетом. *Информационные и математические технологии в науке и управлении*. 2019;(4):46–59. <https://doi.org/10.25729/2413-0133-2019-4-04>
Erzhenin R.V. Stratified Model of Public Budget Management. *Information and Mathematical Technologies in Science and Management*. 2019;(4):46–59. (In Russ.). <https://doi.org/10.25729/2413-0133-2019-4-04>
 5. Михеев С.В., Михеева Т.И. Стратифицированная паттерновая модель системы поддержки принятия решения при управлении транспортной инфраструктурой. *Известия Самарского научного центра Российской академии наук*. 2018;20(6–2):358–363.
Mikheev S., Mikheeva T. Stratified Pattern Model of System of Support of Decision-Making in the Management of Transport Infrastructure. *Izvestia of Samara Scientific Center of the Russian Academy of Sciences*. 2018;20(6–2):358–363. (In Russ.).
 6. Ломухин И.А., Ахмедьянова Г.Ф., Пищухин А.М. Многоуровневое управление разработкой месторождения углеводородов. *Нефтяное хозяйство*. 2023;(4):80–85. <https://doi.org/10.24887/0028-2448-2023-4-80-85>
Lomukhin I.A., Akhmedyanova G.F., Pishchukhin A.M. Multilevel Development Management Hydrocarbon Deposits. *Oil Industry*. 2023;(4):80–85. (In Russ.). <https://doi.org/10.24887/0028-2448-2023-4-80-85>
 7. Akhmedyanova G. Multilevel Assessment of the Aircraft Manufacturing Quality. In: *AIP Conference Proceedings: International Conference on Modern Trends in Manufacturing Technologies and Equipment: Volume 2503, Issue 1, 06–10 September 2021, Sevastopol, Russia*. American Institute of Physics Inc.; 2022. <https://doi.org/10.1063/5.0099378>
 8. Апалькова Т.Г., Косоруков О.А., Мищенко А.В., Цурков В.И. Математические модели управления производственно-финансовой деятельностью предприятия. *Известия Российской академии наук. Теория и системы управления*. 2024;(2):107–129. <https://doi.org/10.31857/S0002338824020109>
Apalkova T.G., Kosorukov O.A., Mishchenko A.V., Tsurkov V.I. Mathematical Models for Management of Production and Financial Activities of an Enterprise. *Izvestiya Rossiiskoi Akademii Nauk. Teoriya i Sistemy Upravleniya*. 2024;(2):107–129. (In Russ.). <https://doi.org/10.31857/S0002338824020109>
 9. 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;7(2). <https://doi.org/10.26102/2310-6018/2019.25.2.023>
Lvovich Y.E., Pitolin A.V., Sapozhnikov G.P. Multi-Method Approach to the Modeling of Complex Systems Based on Monitoring Data Analysis. *Modeling, Optimization and Information Technology*. 2019;7(2). (In Russ.). <https://doi.org/10.26102/2310-6018/2019.25.2.023>
 10. Chen J., Du T., Xiao G. A Multi-Objective Optimization for Resource Allocation of Emergent Demands in Cloud Computing. *Journal of Cloud Computing*. 2021;10. <https://doi.org/10.1186/s13677-021-00237-7>
 11. Мурзаханова Е.В., Пищухин А.М. Оптимальное распределение ресурсов в системе защиты информации в организации. *Вопросы защиты информации*. 2019;(2):36–40.

- Murzakhanova E.V., Pishchukhin A.M. Optimal Allocation of Resources in the Information Security System of the Organization. *Information Security Questions*. 2019;(2):36–40. (In Russ.).
12. Бурков В.Н., Новиков Д.А. *Введение в теорию активных систем*. Москва: ИПУ; 1996. 124 с.
13. Летов А.М. Аналитическое конструирование регуляторов. II. *Автоматика и телемеханика*. 1960;21(5):561–568.
Letov A.M. Analytical Design of Controllers. II. *Avtomatika i Telemekhanika*. 1960;21(5):561–568. (In Russ.).
14. Зыкина А.В., Савельев М.Ю., Финк Т.Ю. Многоуровневое управление нефтеперерабатывающим производством. Требования к задачам исследования. *Омский научный вестник*. 2018;(6):271–274. <https://doi.org/10.25206/1813-8225-2018-162-271-274>
Zykina A.V., Savelev M.Yu., Fink T.Yu. Multi-Level Management of Oil Refining Production. Requirements for Research Tasks. *Omsk Scientific Bulletin*. 2018;(6):271–274. (In Russ.). <https://doi.org/10.25206/1813-8225-2018-162-271-274>
15. Терещенко Т.А. Эффективное многоуровневое управление экономическим развитием. В сборнике: *Актуальные проблемы экономической деятельности и образования в современных условиях: сборник XVIII Международной научно-практической конференции, 12 апреля 2023 года, Оренбург, Россия*. Москва: ООО «Сфера»; 2023. С. 32–37.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ / INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Ахмедьянова Гульнара Фазульяновна, кандидат педагогических наук, доцент, доцент кафедры управления и информатики в технических системах Оренбургского государственного университета, Оренбург, Российская Федерация.

e-mail: ahmedyanova@bk.ru

ORCID: [0000-0003-3284-7794](https://orcid.org/0000-0003-3284-7794)

Gulnara A. Fazulyanovna, Candidate of Pedagogical Sciences, Docent, Associate Professor at the Department of Management and Informatics in Technical Systems, Orenburg State University, Orenburg, the Russian Federation.

Ломухин Игорь Анатольевич, руководитель проекта цифровизации в энергетике и подготовке газа ООО «Газпромнефть-Нефтесервис» Санкт-Петербург, Российская Федерация.

e-mail: lomukhin.ia@gazprom-neft.ru

Igor A. Lomukhin, Head of the Digitalization Project in Energy and Gas Preparation, Gazpromneft-Nefteservis LLC, Saint Petersburg, the Russian Federation.

Пищухин Александр Михайлович, доктор технических наук, профессор, профессор кафедры управления и информатики в технических системах, Оренбургского государственного университета, Оренбург, Российская Федерация.

e-mail: pishchukhin55@mail.ru

ORCID: [0000-0003-4655-6824](https://orcid.org/0000-0003-4655-6824)

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

Статья поступила в редакцию 20.05.2025; одобрена после рецензирования 06.07.2025; принята к публикации 25.07.2025.

The article was submitted 20.05.2025; approved after reviewing 06.07.2025; accepted for publication 25.07.2025.