

Научная статья

УДК 65.011 © Л. А. Погорелова

DOI: 10.24412/2225-8264-2023-4-118-123

Ключевые слова: управление энергосистемой, уровень развития энергосистемы, энтропийные методы управления, системный подход, информационные параметры системы

Keywords: management of the power system, the level of development of the power system, entropy management methods, system approach, information parameters of the system

СИСТЕМНЫЙ ПОДХОД К ОПЕРАТИВНО-ДИСПЕТЧЕРСКОМУ УПРАВЛЕНИЮ ЭНЕРГОСИСТЕМОЙ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ В УСЛОВИЯХ ЦИФРОВИЗАЦИИ ЭКОНОМИКИ

Погорелова Л. А.¹

Аннотация. В статье рассматривается подход к оперативно-диспетчерскому управлению энергосистемой Российской Федерации в условиях цифровизации экономики в рамках не стоимостной оценки эффективности деятельности отечественной энергосистемы, базирующийся на постулатах системного подхода, на основе анализа информационных потоков производственной деятельности, количественно выраженных в показателях условной энтропии и параметрической сложности энергосистемы. Цель работы проанализировать потоки информации при оперативно-диспетчерском управлении энергосистемой Российской Федерации, рассмотреть возможность применения и анализа динамики информационных параметров для моделирования бизнес-процессов и принятия управленческих решений по координации деятельности энергосистемы. Предметом исследования выступает структура и информационные потоки и функциональные связи структурных подразделений системного оператора единой энергетической системы (СО ЕЭС). Для достижения поставленной цели выполнены следующие задачи: проанализированы потоки информации, функционирующие в рамках координации деятельности СО ЕЭС; определены количественные составляющие и источники их формирования для расчета информационных параметров энергосистемы; разработан механизм формирования позитивной траектории развития энергосистемы и предпосылки для формирования механизма интеллектуального управления энергосистемой страны. В рамках результатов настоящего исследования определены потоки информации между структурными подразделениями СО ЕЭС, критерии оценки отдельных информационных потоков в рамках управляющего воздействия для расчета информационных параметров. Полученные результаты исследования могут быть использованы в практической деятельности по оперативно-диспетчерскому управлению на основе создания системы интеллектуального управления энергосистемой страны посредством управления потоками информации для моделирования бизнес-процессов и принятия обоснованных управленческих решений в рамках не стоимостного подхода.

A SYSTEMATIC APPROACH TO OPERATIONAL DISPATCH MANAGEMENT OF THE ENERGY SYSTEM OF THE RUSSIAN FEDERATION IN THE CONDITIONS OF DIGITALIZATION OF THE ECONOMY

Lyudmila A. Pogorelova

Associate Professor of the Department, South Russian State Polytechnic University (NPI) named after M. I. Platov

Abstract. The article considers an approach to operational dispatch management of the power system of the Russian Federation in the conditions of digitalization of the economy within the framework of a non-cost assessment of the efficiency of the domestic power system, based on the postulates of a systematic approach, based on the analysis of information flows of production activities, quantified in terms of conditional entropy and parametric complexity of the power system. The purpose of the work is to analyze the information flows in the operational dispatch management of the power system of the Russian Federation, to consider the possibility of applying and analyzing the dynamics of information parameters for modeling business processes and making management decisions to coordinate the activities of the power system. The subject of the study is the structure and information flows and functional connections of structural units of the system operator of the unified energy system (SO UES). To achieve this goal, the following tasks were performed: the information flows functioning within the framework of the coordination of the activities of the SO UES were analyzed; quantitative components and sources of their formation for calculating the information parameters of the energy system were determined; a mechanism for forming a positive trajectory of the development of the energy system and prerequisites for the formation of a mechanism for intelligent management of the country's energy system were developed. Within the framework of the results of this study, the information flows between the structural units of the SO UES, the criteria for evaluating individual information flows within the control action for calculating information parameters are determined. The obtained research results can be used in practical activities on operational dispatch management based on the creation of a system of intelligent management of the country's energy system by managing information flows for modeling business processes and making informed management decisions within the framework of a non-cost approach.

¹Погорелова Людмила Александровна — доцент кафедры «Производственный и инновационный менеджмент», Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ) имени М. И. Платова (Россия, г. Новочеркасск, ул. Просвещения, 132)

E-mail: pogorelova_la@npi-tu.ru

ORCID: 0000-0002-2099-9419

Поступила в редакцию: 26.11.2023

Энергетическая система Российской Федерации представляет собой уникальное энергообъединение, регулирующее рациональное использование энергетических ресурсов на всей территории страны. Электроэнергетическая отрасль рассматривается как система экономических взаимоотношений, связанных с генерацией, передачей, распределением и потреблением электроэнергии.

Оперативно-диспетчерское управление энергосистемой страны выполняет системный оператор Единой энергетической системы (СО ЕЭС). В процессе своей деятельности решает следующие задачи [1]:

- управление энергосистемой в режиме реального времени;

- планирование развития энергосистемы страны;

- управление эффективной работой оптового и розничного рынка электроэнергии.

Деятельность СО ЕЭС отделена от других видов административно-хозяйственной и коммерческой деятельности и находится под контролем государства. Оплата предоставляемых услуг осуществляется на основе тарифов, регулируемых уполномоченным государственным органом.

Таким образом, для оценки эффективности функционирования СО ЕЭС использование стоимостных параметров является несколько нерепрезентативным, ввиду большой социальной и промышленной значимости такого товара как «электроэнергия». Электроэнергия как товар обладает специфическими особенностями. Современный мир невозможен без электричества, и оно играет ключевую роль в различных сферах деятельности, начиная от промышленности и энергетики и заканчивая повседневной жизнью каждого человека. Современные общества полностью зависят от электричества, и его постоянное обеспечение является важным фактором для устойчивого развития любой страны.

Таким образом, для оценки эффективности системы энергоснабжения необходимо оперировать не стоимостными критериями для оценки уровня развития и потенциальных перспектив энергосистемы страны.

В современных условиях особое значение для экономики Российской Федерации приобретает создание высокоорганизованной энергетической системы, которая выступает как базовая отрасль народного хозяйства. Данное направление играет важную роль в обеспечении устойчивого развития страны, обеспечивая надежное и эффективное функционирование других отраслей экономики.

Создание высокоорганизованной энергетической системы предоставляет масштабные выгоды для России в социальном, экономическом и экологическом планах. Энергетика играет ключевую роль в обеспечении электроэнергией населения, промышленности и предприятий, что является важным аспектом для развития страны и поддержания благоприятного инвестиционного климата.

Однако, создание высокоорганизованной энергетической системы требует системного подхода и комплексных мер по модернизации и развитию отрасли. Важно осуществлять постоянное обновление технологий, повышение энергоэффективности и устранение

узких мест в инфраструктуре для обеспечения надежности и эффективности работы энергетической системы.

В настоящее время, при анализе текущего состояния компании, в первую очередь, рассматривается именно финансовое состояние как следствие функционирования всех остальных направлений деятельности. В условиях становления инновационной экономики, направленной на создание высокоорганизованных производств достаточно сложно, опираясь только на финансовые результаты деятельности, определить уровень текущего развития, что и представляет научную проблему данного исследования. Таким образом, сформулировав несколько иной подход к анализу текущей деятельности и перспектив направлений развития производственной системы на основе информационных параметров и сопоставив их с финансовыми результатами, создается возможность формирования нового подхода, позволяющего в условиях становления инновационной экономики сделать упор именно на создание высокоорганизованных и высокотехнологичных отечественных производственных систем.

Научная новизна настоящего исследования заключается направлена на формирование инструментария для интеллектуального управления предприятием на основе смоделированных бизнес-процессов, результативность которых обобщается посредством количественных индикаторов, формируемых на основе анализа потоков информации в автоматизированных системах управления предприятием. Применение данной методики позволит выявить «проблемные» участки производственного процесса, на которых происходит искажение информационных потоков, а также разработать комплекс мероприятий по повышению производительности как на данном участке, так и в целом в производственной системе.

Целью настоящего исследования является выбор и обоснование количественных индикаторов, характеризующих уровень текущего состояния энергосистемы, возможность анализа этих индикаторов в условиях моделирования бизнес-процессов с последующим выявлением «узких» участков организации, требующих корректирующих мероприятий.

Для достижения поставленной цели предполагается выполнить следующие задачи:

1. Проанализировать потоки информации, функционирующие в рамках координации деятельности СО ЕЭС.

2. Определить количественные составляющие и источники их формирования для расчета информационных параметров энергосистемы.

3. Разработать механизм формирования позитивной траектории развития энергосистемы.

4. Разработать предпосылки для формирования механизма интеллектуального управления энергосистемой.

Таким образом, создание высокоорганизованной энергетической системы является одним из приоритетных направлений для развития экономики Российской Федерации. Она обеспечивает устойчивое функционирование других отраслей народного хозяйства,

способствует укреплению национальной безопасности и активному взаимодействию на международной арене. Внедрение современных технологий и повышение энергоэффективности играют ключевую роль в достижении поставленных задач и обеспечении устойчивого развития страны.

Именно поэтому, особую актуальность приобретает системный подход к оценке уровня развития производственной системы широко исследованных в работах Е. Б. Колбачева [2], который может быть применен как частный случай в вопросах повышения эффективности управления энергосистемой. В исследованиях автора [3, 4] количественными показателями при оценке уровня развития системы выступают ее информационные параметры: производственная система рассматривается как единое целое, оценивается уровень организации, степень взаимодействия структурных элементов при передаче потоков информации. Основополагающим принципом является то, что ошибки управления производственной системой связаны с недостатком или искажением информации при передаче от одного элемента (элемента управления) к другому (исполнителю).

В деятельности СО ЕЭС приоритетное значение имеет не цель максимизации прибыли, а создание высокоразвитой производственной системы энергообеспечения потребителей на территории России, что определяет актуальность и цель настоящего исследования, направленную на оценку уровня развития всей энергосистемы страны и пути ее совершенствования.

В рамках настоящего исследования используется системный подход для анализа функционирования энергетической системы страны, которая воспринимается как единое целое, где происходит функционирование информационных потоков между ее структурными элементами (рис.1).

Структура оперативно-диспетчерского управления состоит из нескольких ключевых элементов. Во-первых, существует Центр управления системой (ЦУС). В его компетенцию входит управление режимом работы всей энергетической системы. ЦУС отслеживает состояние энергетических объектов, наблюдает за нагрузкой и связями между различными участками системы, а также принимает решения в случае аварийных ситуаций, сбоев и других оперативных событий.

Для осуществления этих функций, ЦУС находится в непрерывном контакте с оперативными диспетчерскими пунктами (ОДП) каждого региона. ОДП отвечают за управление режимом работы участков энергетической системы, отвечающих за энергопоставки конкретному региону. Они следят за нагрузкой, ценах на электроэнергию, прогнозируют потребление и принимают решения о включении или отключении мощностей.

Еще одной важной структурой оперативно-диспетчерского управления является информационно-аналитический центр (ИАЦ). ИАЦ собирает, анализирует и обрабатывает данные о работе энергетической системы, позволяя оперативно предсказывать возможные риски и принимать меры для их предотвращения. В ИАЦ также разрабатываются модели и программы для оптимизации работы энергосистемы, повышения энергоэффективности и максимизации использования возобновляемых источников энергии.

Кроме того, в структуру оперативно-диспетчерского управления входят специализированные команды и группы, отвечающие за мониторинг качества электроэнергии, геоинформационную систему, управление резервными мощностями и др. Все они взаимодействуют между собой и с другими структурами энергетической системы для обеспечения ее эффективной работы.

Помимо этого, каждое структурное подразделение взаимодействует с внешней средой – потребителями электроэнергии, что создает возможность информационного обогащения энергетической системы. Получение качественной информации является залогом принятия успешных управленческих решений, направленных на повышение уровня развития всей системы в целом.

Для формирования информационных параметров при оценке уровня развития СО ЕЭС необходимо определить содержательность потоков информации, которые функционируют между структурными подразделениями. Определить содержательность информации, функционирующей между структурными подразделениями возможно исходя из основных задач, функционально закрепленных за оперативно-диспетчерским управлением СО ЕЭС (см. табл. 1).

В качестве параметров, используемых для оценки функционирования энергосистемы, целесообразно ис-



Рис.1 Структура оперативно-диспетчерского управления Единой энергетической системой России [5]

Таблица 1

Функциональные задачи, которые реализует СО ЕЭС

Функция	Содержание функции СО ЕЭС
Долгосрочное, краткосрочное и оперативное планирование и управление энергосистемой страны	В рамках этого плана определяются основные направления развития энергетики, учитывая факторы, такие как прогнозируемый рост потребительского спроса на электроэнергию, возможности использования различных видов энергии, а также стратегические цели и задачи государства. Долгосрочное планирование также включает оценку и анализ будущих потребностей, разработку программ по модернизации и строительству новых энергетических объектов, а также распределение ресурсов исходя из поставленных целей. Краткосрочное планирование направлено на поддержание баланса между производством электроэнергии и ее потреблением в более короткие временные интервалы, обычно от нескольких дней до нескольких месяцев. В рамках этого плана определяется оптимальное использование имеющихся генерирующих мощностей, учитывая текущую ситуацию на рынке энергии, климатические условия и потребности энергосистемы. Краткосрочное планирование также включает прогнозирование энергопотребления, учет плановых и аварийных отключений энергообъектов, а также оптимизацию распределения нагрузки между различными источниками энергии. Оперативное управление энергосистемой является неотъемлемой частью ежедневной работы оператора системы. В режиме реального времени осуществляется мониторинг состояния энергетической сети, непрерывный контроль нагрузок и поддержание баланса между потреблением и производством электроэнергии. Операторы системы эффективно реагируют на изменения спроса, регулируют работу генерирующих и передающих мощностей, а также организуют резервное электроснабжение в случае аварийных ситуаций или нештатных ситуаций.
Технологическая поддержка рынка электроэнергии и мощности	1) система частотного регулирования, которая занимается поддержанием стабильности частоты в энергосистеме. При изменении нагрузки на систему, она автоматически реагирует, внося корректировки в работу генерирующих и потребляющих устройств, чтобы обеспечить требуемую частоту; 2) система резервирования мощности. Она предусматривает наличие достаточного количества резерва электроэнергии, который может быть активирован в случае возникновения аварийных ситуаций или резкого изменения нагрузки. Это позволяет энергосистеме оперативно реагировать на ситуации и предотвращать перегрузки или снижения качества электроснабжения; 3) мониторинг и прогнозирование энергопотребления, что позволяет более эффективно планировать работу энергосистемы и предотвращать возможные проблемы. Благодаря использованию современных технологий и аналитических инструментов, СО ЕЭС способна оперативно реагировать на изменения в энергосистеме и предлагать оптимальные решения для обеспечения баланса мощности
Участие в осуществлении контроля за техническим состоянием энергосистемы страны	Отвечает за наблюдение и анализ всех основных показателей и параметров, связанных с техническим состоянием энергосистемы. Это включает в себя мониторинг работы электрических сетей, подстанций, генерирующих объектов и прочих компонентов, составляющих систему. Оперативное реагирование на возникшие проблемы или аварийные ситуации, связанные с неисправностью технических устройств или оборудования, также входит в компетенцию СО ЕЭС. Системный оператор принимает меры по исправлению сбоев, проводит восстановительные работы после аварий, а также контролирует соблюдение установленных норм и требований к техническому состоянию

пользовать показатели условной энтропии и параметрической сложности.

В целом, энтропия производственной системы представляет собой меру отклонения основных параметров деятельности компании от идеального состояния. При анализе информационных потоков, энтропия – это количество потерянной информации, которое теряется и, соответственно, не выполняется при передаче от элемента управления к исполнителю.

В рамках системы оперативно-диспетчерского управления создается возможность автоматического подсчета условной энтропии всей энергосистемы в каждый момент времени, сопоставляя плановые (представляемые как идеальное состояние) и фактические показатели деятельности всей энергосистемы.

Наблюдение за информационными параметрами энергосистемы в виртуальной среде должно вестись непрерывно, фиксировать любое отклонение от заданных плановых параметров, позволяя своевременно диагностировать нарушения семантической связки функционирующей среды.

Наиболее подходящим является расчет условной энтропии по методу А.Реньи на основе условных вероятностей перемещения потоков производственной информации.

$$H_V(\xi) = \sum P(A_k|V) \log_2 \frac{1}{P(A_k|V)}$$

где $P(A_k|V)$ — условная вероятность варианта A_k при условии V .

Методология расчета условной энтропии энергосистемы основывается на идентификации и ранжировании по степени однотипности потоков информации в системе, разработке экспертной шкалы для определения условных вероятностей по каждому из анализируемых типов операций, определению траектории информационных потоков внутри системы.

Условная вероятность каждого информационного потока представляет собой произведение вероятностей по каждому из анализируемых параметров этого потока информации. В качестве основных параметров можно выделить сроки выполнения, качество выполнения управляющего воздействия и т.д. Методологическую подзадачу представляет собой определение и разработка балльной шкалы по каждому критерию.

Вторым информационным параметром оперативно-диспетчерского управления энергосистемой является ее параметрическая сложность, которая представляет собой многообразие связей между элементами системы. Трактовка данного понятия применительно к специфике машиностроительной отрасли представлена в работе [3], которая базируется на постулатах системного подхода к управлению предприятием: чем разнообразнее пути, ведущие от входов к выходам, то есть чем больше возможностей выбора путей реализации, тем сложнее система [6].

Таким образом, показатель параметрической сложности в расчетном варианте в рамках настоящего исследования представляет собой общее количество односторонних взаимодействий внутри системы, отнесенное к общему количеству элементов взаимодействия [3].

Таким образом, чем больше точных взаимодействий внутри энергосистемы в определенный период, тем на более высоком уровне она находится в текущий момент.

Данная методика в условиях автоматизированного определения исследуемых параметров позволит также оценивать перспективы каждого управленческого решения, его степень воздействия на текущее положение производственной системы.

На основе анализа динамики представленных информационных параметров создается возможность оценивать текущий уровень развития системы, определять участки дезорганизованности и разрабатывать корректирующие мероприятия по повышению уровня развития энергосистемы в целом. Содержательное описание уровней развития производственной системы и характер информационных потоков представлен в работах [3], где исследуемые параметры рассмотрены в рамках производственной системы и выделены три основных уровня развития системы, а также эмпирическим путем определены количественные показатели информационных параметров и характер информации, приобретающий доминирующее влияние на управление системой.

Повышение уровня развития энергосистемы в перспективе сопровождается снижением показателя условной энтропии и ростом параметрической сложности системы [7].

Таким образом, анализируя информационные параметры энергосистемы, можно оценивать ее текущий уровень развития, определять «узкие» места, где необходимо проведение корректирующих мероприятий по координации управления.

Использование информационных параметров позволяет проводить точный анализ актуальных данных о потреблении энергии, состоянии оборудования, погодных условиях и других факторах, которые влияют на работу энергосистемы. Эта информация позволяет провести прогнозирование и оптимальное планирование работы системы, учитывая экономические и экологические аспекты.

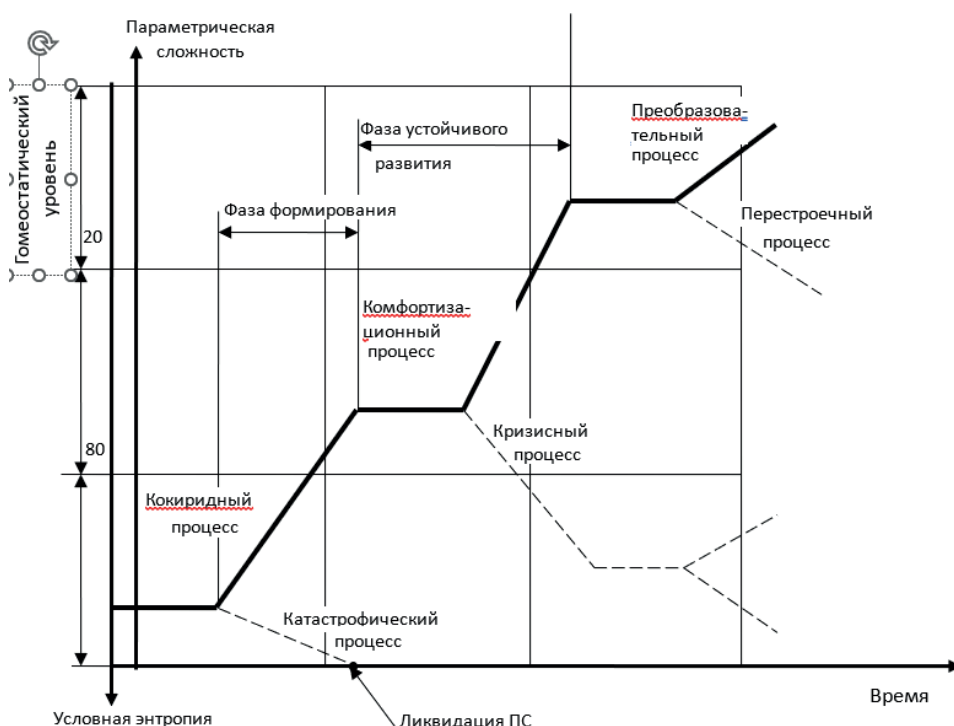


Рис. 2 Уровни развития производственной системы на основе показателя условной энтропии и показателя параметрической сложности производственной системы

Управление энергосистемой на основе информационных параметров также обеспечивает гибкость и адаптивность системы к изменяющимся условиям. Регулярный мониторинг и анализ данных позволяют выявить возможные проблемы или неполадки и оперативно принять меры для их устранения, тем самым предотвращая возможные аварии и сбои в работе системы.

Таким образом, использование информационных

параметров для управления энергосистемой является неотъемлемой частью современных технологий и стратегий в области энергетики. Оно позволяет повысить эффективность и надежность работы системы, сократить затраты и минимизировать негативное воздействие на окружающую среду. Необходимо продолжать исследования и развитие в этой области, чтобы обеспечить устойчивый и энергоэффективный будущий для всех.

Библиографический список

1. Системный оператор единой энергетической системы. Электронный ресурс режим доступа: <https://www.so-ups.ru/> (дата обращения 01.10.2023 г.)
2. Колбачев Е. Б., Передерий М. В. Планирование развития организационных структур и бизнес-процессов как инновационная задача // Вестник Южно-Российского государственного технического университета (НПИ). Серия: Социально-экономические науки. 2015. № 1. С. 4-10.
3. Погорелова Л. А. Методология оценки уровня развития производственной системы на основе информационного подхода // Друкеровский вестник. 2023. № 3 (53). С. 204-212.
4. Погорелова Л. А. Подход к повышению эффективности принятия управленческих решений в условиях цифровизации // Эффективное управление экономикой: проблемы и перспективы: сборник трудов VII Всероссийской научно-практической конференции. Симферополь, 2022. С. 137-140.
5. Структура ФСК ЕЭС. URL: <https://triptonkosti.ru/6-foto/struktura-fsk-ees-shema-81-foto.html> (дата обращения 10.10.2023 г.)
6. Колбачев Е. Б., Погорелова Л. А. Энтропийный подход к формированию непрерывных инновационных процессов в период становления экономики 4.0 // Развитие методологии современной экономической науки, менеджмента и образования в условиях информационно-цифровых трендов: материалы III Междисциплинарной Всероссийской научной конференции. 2019. С. 145-151.
7. Теория систем и системный анализ в управлении организациями: справочник. Москва, 2021.
8. Жихарев А. Г., Зимовец О. А., Тубольцев М. Ф., Кондратенко А. А. Теория систем и системный анализ: учебник. Москва, 2021.

References

1. System operator of the unified energy system. Electronic resource access mode: <https://www.so-ups.ru/>.
2. Kolbachev E. B., Perederiy M. V. Planning the development of organizational structures and business processes as an innovative task. *Vestnik Yuzhno-Rossiyskogo gosudarstvennogo texnicheskogo universiteta (NPI). Seriya: Social'no-e'konomicheskie nauki = Bulletin of the South Russian State Technical University (NPI). Series: Socio-economic sciences.* 2015; 1: 4-10. (In Russ.)
3. Pogorelova L. A. Methodology for assessing the level of development of the production system based on the information approach. *Drukerovskij vestnik = Drucker Bulletin.* 2023; 3 (53): 204-212. (In Russ.)
4. Pogorelova L. A. An approach to increasing the efficiency of management decision-making in the context of digitalization // Effective economic management: problems and prospects: collection of proceedings of the VII All-Russian Scientific and Practical Conference. Simferopol, 2022. pp. 137-140.
5. Structure of FGC UES. URL: <https://triptonkosti.ru/6-foto/struktura-fsk-ees-shema-81-foto.html>.
6. Kolbachev E. B., Pogorelova L. A. Entropy approach to the formation of continuous innovation processes during the formation of the 4.0 economy // Development of the methodology of modern economic science, management and education in the context of information and digital trends: materials of the III Interdisciplinary All-Russian Scientific Conference. 2019. pp. 145-151.
7. Systems theory and system analysis in the management of organizations: a reference book. Moscow, 2021.
8. Zhikharev A. G., Zimovets O. A., Tuboltsev M. F., Kondratenko A. A. Systems theory and system analysis: textbook. Moscow, 2021.