

16. Popov, A. Yu. Issledovanie variantov realizatsii algoritmov Kruskala i Prima v vychislitel'noy sisteme s mnogimi potokami komand i odnim potokom [Investigation of options for the implementation of the Kruskal and Prima algorithms in a computing system with many command streams and one data stream]. *Nauka i obrazovanie: nauchnoe izdanie MGTU im. N.E. Bauman* [Science and Education: scientific publication of MSTU im. N.E. Bauman], 2015, no. 11, pp. 505–527.

17. Tanygin, M. O., Alshaia, H. Ya., Mitrofanov A. V. Slozhnost algoritma opredeleniya istochnika dannykh [The complexity of the algorithm for determining the data source]. *Trudy MAI* [Proceedings of the MAI], 2021, no. 117, pp. 1–21.

18. Tanygin, M. O., Dobroserdov, O. G., Alshaia, H. Ya. A., Dobritsa, V. P. Rekursivnyy algoritm formirovaniya informatsionnykh blokov dlya povysheniya skorosti vypolneniya protsedur opredeleniya ikh istochnika [Recursive algorithm for the formation of structured sets of information blocks to increase the speed of execution of procedures for determining their source]. *Izvestiya Yugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta* [Bulletin of the South-West State University], 2021, no. 2, pp. 51–64.

19. Tanygin, M. O. *Teoreticheskiye osnovy identifikatsii informatsii, peredavaemoy blokami ogranichennogo razmera : monografiya* [Theoretical foundations for identifying sources of information transmitted by blocks of limited size : monograph], Kursk, Publishing House of JSC University Book, 2020. 198 p.

DOI 10.54398/2074-1707_2022_1_93

УДК 681.32; 004.056

СИНТЕЗ СТРУКТУРЫ ОБЪЕКТОВ КРИТИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИОННОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ПРОЦЕССОВ НА ОСНОВЕ МАРКОВСКИХ МОДЕЛЕЙ

Статья поступила в редакцию 29.12.2021, в окончательном варианте – 21.01.2022.

Кочнев Сергей Владимирович, Государственный научно-исследовательский институт приборостроения, 129226, Российская Федерация, г. Москва, пр. Мира, 125, начальник отдела, ORCID 0000-0001-6226-7518, e-mail: s.v.ko@mail.ru

Лансарь Алексей Петрович, Управление ФСТЭК России по Южному и Северо-Кавказскому федеральным округам, 344079, Российская Федерация, г. Ростов-на-Дону, ул. Ярослава Галана, 1е/25, кандидат технических наук, доцент, заместитель начальника отдела, ORCID 0000-0003-2273-725X, e-mail: larsar1958@mail.ru

Барбошкина Алена Владимировна, Ростовский государственный экономический университет (РИНХ), 344002, Российская Федерация, г. Ростов-на-Дону, ул. Большая Садовая, 69, магистрант, e-mail: alenaas64@mail.ru.

Отмечается, что безопасная реализация критических производственных процессов в сферах здравоохранения, науки, транспорта, связи, энергетики и других во многом обеспечивается эффективностью функционирования объектов критической информационной инфраструктуры. Указаны проблемы применения информационных технологий в объектах критической информационной инфраструктуры, связанные с повышением их уязвимости к деструктивным воздействиям, реализуемым с помощью удаленного доступа. Установлено, что в настоящее время защита от деструктивных информационных воздействий сводится к прекращению обмена с внешней средой и остановке производственного процесса, что приводит к снижению его эффективности. Проанализированы особенности эксплуатации объектов критической информационной инфраструктуры в условиях деструктивного информационного воздействия и обоснованы требования к ним. Перспективные методы и модели оценки и прогнозирования состояния сложных технических систем распространены на объекты критической информационной инфраструктуры. В качестве информативного параметра в параметризованных моделях объектов информационной инфраструктуры предложено использовать свойства и характеристики деструктивных информационных воздействий. С применением методов структурного синтеза на основе диффузионных марковских моделей разработана обобщенная структура объекта критической информационной инфраструктуры, реализующего диагностические и управляющие функции. Рассмотрен вариант функционирования такого объекта в нормальных и нештатных условиях эксплуатации. Результатами проведенного исследования явилась разработка универсальных требований к объектам критической информационной инфраструктуры, реализующих управление критическими процессами, и обобщенная структура такого объекта. Полученные результаты применимы при разработке перспективных или модернизации существующих объектов критической информационной инфраструктуры критических производственных процессов и реализованы в техническом задании на разработку автоматизированной системы управления субъекта критической информационной инфраструктуры, функционирующего в сфере науки.

Ключевые слова: критический процесс, объект критической информационной инфраструктуры, деструктивное информационное воздействие, аварийная ситуация, структура, эволюционные уравнения, параметризованные марковские модели

DESIGNING THE MARKOV MODELS-BASED STRUCTURE FOR CRITICAL INFORMATION INFRASTRUCTURE OBJECTS OF PRODUCTION PROCESSES

The article was received by the editorial board on 29.11.2021, in the final version – 31.01.2022.

Kochnev Sergey V., State Research Institute of Instrument Making, 125 Mira Ave., Moscow, 129226, Russian Federation,

Head of Department, ORCID 0000-0001-6226-7518, e-mail: s.v.ko@mail.ru

Lapsar Alexey P., Management of FSTEC of Russia for the Southern and North Caucasian Federal Districts, 1e/25 Yaroslav Galan St., Rostov-on-Don, 344079, Russian Federation,

Cand. Sci. (Engineering), Associate Professor, Deputy Chief of Department, ORCID 0000-0003-2273-725X, e-mail: lapsar1958@mail.ru

Baraboshkina Alyona V., Rostov State University of Economics (RINH), 69 Bolshaya Sadovaya St., Rostov-on-Don, 344002, Russian Federation,

undergraduate student, e-mail: alenaas64@mail.ru

The secure implementation of critical production processes in the spheres of health, science, transport, communications, energy and other is largely ensured by the effectiveness of critical information infrastructure. The paper indicates problems of applying IT for objects of critical information infrastructure, caused by an increase in their vulnerability to destructive impacts implemented using remote access technologies. The present protection measures are reduced to the termination of exchange with an external environment and a stop of the production process, which leads to a decrease in its effectiveness. The paper analyses operation features of critical information infrastructure objects under destructive information impact conditions and substantiates the requirements for them. Perspective assessment and prediction methods and models for the variety of complex technical systems states are spread to the critical information infrastructure. The properties and characteristics of destructive information influences are proposed the informative parameter in the parameterized models of critical information infrastructure objects. As a result, a generalized structure of the critical information infrastructure object that implements diagnostic and control functions has been developed using structural synthesis methods based on diffusion Markov models. A variant of the functioning of such an object in normal and abnormal operating conditions is considered. The results of the study are the development of universal requirements for information infrastructure objects, which implement management of critical proceedings as well as generalized structure of such objects. The obtained results are applicable in the development of promising or modernization of existing objects of critical production processes and are implemented in the technical specifications for the development of an automated control system of the critical information infrastructure object, which works in the sphere of science.

Keywords: critical process, critical information infrastructure object, destructive information impact, emergency, structure, evolutionary equations, parametrized Markov models

Graphical annotation (Графическая аннотация)



Введение. Нормальное функционирование любого общества предполагает наличие большого числа работоспособных сложных технических систем, обслуживающих самые различные потребности людей, например, в промышленности, энергетике, транспорте, обеспечении жизнедеятельности и т. д. Значительное число таких систем в процессе своей деятельности реализует важнейшие производственные процессы (далее – критические процессы¹), нарушение которых может привести к негативным социальным, политическим, экономическим, экологическим последствиям, последствиям для обеспечения обороны страны, безопасности государства и правопорядка. Критические процессы реализуются в соответствии с алгоритмами эксплуатации сложных технических систем в различных условиях обстановки.

¹Определение критического процесса приведено в «Правилах категорирования объектов критической информационной инфраструктуры Российской Федерации», утвержденных постановлением Правительства Российской Федерации от 8 февраля 2018 года № 12.

Управление критическими процессами осуществляется объектами критической информационной инфраструктуры¹ (КИИ), существенную часть которых можно отнести к значимым, то есть оказывающим существенное влияние на качество жизни и безопасность отдельного человека и общества в целом. К критическим можно отнести процессы функционирования систем жизнеобеспечения крупных населенных пунктов, транспортной инфраструктуры, энергетики, опасные производства и др. Объекты КИИ, обеспечивающие управление критическими процессами в технических системах, являются наиболее чувствительным элементом обеспечения их нормальной реализации. Даже незначительное отклонение от штатной работы управляющего объекта приводит к существенному нарушению критического процесса управляемой технической системы и развитию аварийной ситуации.

На работу и текущее состояние объектов КИИ оказывают существенное влияние условия эксплуатации, внешняя среда, а также различного рода деструктивные воздействия со стороны злоумышленников. При эксплуатации любых технических систем всегда присутствует опасность возникновения аварий, которая с течением времени и выработкой технического ресурса только возрастает [1, 19, 21]. Развитие аварийной ситуации характеризуется дрейфом параметров функционирования, связанных с реализацией критического процесса, за границы области допустимых значений и как следствие – снижением эффективности функционирования технической системы.

Мировой опыт показывает, что в современных условиях постоянно возрастает угроза деструктивных воздействий на объекты КИИ, в том числе и целенаправленных со стороны различного рода злоумышленников, что также приводит к угрозе развития аварийных ситуаций [8, 26, 27]. Специфика функционирования современных объектов КИИ предполагает их взаимодействие с открытыми информационными системами, что привело к существенному возрастанию опасности для них со стороны деструктивных информационных воздействий [4, 7, 25]. Кроме того, созданная на большинстве объектов КИИ система технического обслуживания, связанная с профилактическими мероприятиями по ремонту и замене отдельных блоков, узлов и подсистем, является дорогостоящей и в то же время не гарантирует исправность объекта на период до следующей профилактики.

Очевидно, что использование по назначению технической системы, реализующей критический процесс, предполагает эффективное управление ее техническим состоянием, которое основывается на достоверной информации о текущем состоянии и призвано учитывать изменение этого состояния в течение некоторого интервала времени [11, 16, 17]. Следовательно, объект КИИ при управлении критическим процессом должен решать ряд специфических задач. Во-первых, в обычных условиях повседневной эксплуатации он должен оценивать состояние критического процесса и давать его перспективную оценку, что обеспечит проведение профилактических работ по реальному состоянию как самого объекта КИИ, так и управляемой им технической системы. Во-вторых, в условиях деструктивных воздействий объект КИИ призван исключить возможность развития аварийной ситуации и минимизировать последствия таких воздействий. Очевидно, что и в первом, и во втором случае для реализации оптимального управления критическим процессом необходимо оценить текущее техническое состояние объекта КИИ и сделать перспективную оценку его изменения на некоторый период.

Поскольку при деструктивных воздействиях и связанной с этим угрозы развития аварийной ситуации на первое место выходит скорость принятия управленческих решений и доведения управляющих воздействий, возникает необходимость объединения в рамках объекта КИИ диагностических и управляющих функций [5, 20]. Особую значимость имеют управленческие решения, направленные на купирование деструктивных информационных воздействий, устранение предпосылок к возникновению аварийных ситуаций и минимизацию последствий аварий.

В работах [11, 13] был предложен подход к оценке состояния объектов КИИ с использованием параметризованных уравнений эволюции, позволяющий получать результат в масштабе времени, близком к реальному. Данный подход может служить базой для синтеза перспективных быстродействующих объектов КИИ.

Целью работы является разработка варианта построения структуры объекта КИИ, синтезируемой на основе модифицированного аппарата диффузионных марковских процессов и обеспечивающей эффективное управление критическим процессом как в нормальных условиях эксплуатации, так и в условиях угрозы аварии, спровоцированной деструктивным информационным воздействием.

¹ Определение критически важного объекта информационной инфраструктуры приведено в Федеральном законе от 26 июля 2017 года N 187-ФЗ «О безопасности критической информационной инфраструктуры Российской Федерации».

Особенности объектов критической информационной инфраструктуры и требования к ним. Для выбора и обоснования структуры объекта КИИ проанализируем особенности их построения и функционирования, а также требования, предъявляемые к системам диагностики и управления.

Объекты КИИ включают в себя совокупность различных элементов, блоков, узлов и подсистем, отличающихся по принципам функционирования, целевому назначению, техническими и эксплуатационными характеристиками. То есть объекты КИИ обладают признаками сложных систем, что требует специфических подходов к их синтезу. Выбор модели функционирования объекта КИИ как сложной системы, которая служит базой для синтеза его структуры, предполагает учет следующих особенностей:

1. Сложный и неоднозначный алгоритм взаимодействия составных частей и узлов объекта КИИ в процессе реализации заданных функций.
2. Непрерывный режим работы объекта КИИ при необходимости обеспечения его эффективности не ниже заданной, особенно в условиях нештатной ситуации.
3. Уникальность большинства объектов КИИ, что затрудняет набор статистических данных для оценки их параметров функционирования в процессе эксплуатации.
4. Объекты КИИ при отказах не обязательно теряют работоспособность, отказы могут приводить только к изменению их характеристик.
5. Обеспечение высокой надежности объектов КИИ обеспечивается наличием функциональной (информационной, алгоритмической, другой) избыточности, а также резервированием ключевых элементов.
6. На объектах КИИ используются сложные разнородные системы диагностики, что, в свою очередь, порождает проблему надежности этих систем и компенсацию ошибок первого и второго рода.
7. Субъективный фактор при эксплуатации объекта КИИ, роль персонала, обеспечивающего критический процесс, резко возрастает в условиях дефицита времени, связанного с возникновением и развитием аварийной ситуации.

Для обеспечения эффективности оценки состояния технической системы и формирования управления критическим процессом требуется выбрать или синтезировать адекватную модель объекта КИИ. Известно [6, 20], что система является сложной, если она включает в себя большое количество взаимодействующих элементов (узлов, блоков, подсистем) и способна реализовывать сложный алгоритм функционирования. Данное определение позволяет отнести объекты КИИ к категории сложных систем. Объект КИИ как сложная система при выходе из строя отдельных элементов составных частей не теряет работоспособность, зачастую только снижаются характеристики ее эффективности. Отказ объекта КИИ заключается в дрейфе параметров его функционирования и характеристик эффективности за пределы установленных допусков [1, 10, 20, 27].

Для формального описания текущего состояния объектов, аналогичных объектам КИИ, широко используются модели на основе диффузионных марковских процессов [3, 11, 18]. Однако для эффективного использования при синтезе объектов КИИ, подверженных деструктивным информационным воздействиям, они требуют некоторой доработки. То есть необходимо применение предложенного в работах [11, 13] модифицированного марковско-параметрического аппарата оценки состояния сложных технических систем для синтеза на его основе объектов КИИ. Анализ инцидентов на объектах КИИ, произошедших в мире за последние несколько лет, показывает, что деструктивное воздействие, осуществляемое путем дистанционного вмешательства в системы управления объектов через информационную сферу, происходит значительно чаще, чем традиционное физическое воздействие вследствие антропогенных, технических или природных факторов [4, 7, 15, 23]. При дальнейшем рассмотрении функционирования объектов КИИ будем считать, что наиболее вероятным воздействием на них является деструктивное информационное воздействие (ИВ), осуществляемое путем удаленного доступа через информационно-телекоммуникационные каналы. Таким образом, синтезируемый объект КИИ должен эффективно функционировать в условиях угрозы и реализации данного воздействия.

Широко применяемые в настоящее время на технических объектах системы диагностики и управления используют в основном методы и модели теории надежности [5, 10, 26]. Такие системы недостаточно эффективны в условиях, связанных с возникновением аварийной ситуации. Аварийная ситуация, спровоцированная деструктивным информационным воздействием, накладывает специфические особенности на функционирование объекта КИИ:

1. Существенный дефицит времени на оценку текущего технического состояния и выработку управляющих воздействий по парированию деструктивного воздействия и минимизации последствий аварии.

2. Снижение достоверности оценки текущего состояния объекта КИИ, связанное с ростом стохастичности исследуемых параметров, вызванного повышением уровня и интенсивности внутренних шумов и внешних помех.

3. Некоторые параметры, характеризующие техническое состояние объекта КИИ, могут выходить за границы области допустимых значений без потери работоспособности объекта. Это обуславливает рост параметрической неопределенности, необходимость расширения диапазонов измерений и, как следствие, приводит к лавинообразному увеличению вычислительных затрат при решении задач диагностики.

4. Преобладание динамической погрешности измерений из-за специфики поведения измеряемых величин в аварийной ситуации.

5. Возможность развития аварийной ситуации или усугубления ее последствий из-за неоптимальных управленческих решений.

С учетом указанной специфики реализации критического процесса в условиях аварийной ситуации задачи диагностики и управления предполагают создание более совершенных объектов КИИ с элементами искусственного интеллекта и функциями экспертных систем, основанных на эффективных моделях оценки технического состояния и выработки квазиоптимальных управляющих воздействий.

На основании сказанного выше сформулируем основные требования к синтезируемому объекту КИИ. Объект КИИ должен обеспечить:

- непрерывный мониторинг технического состояния с целью выявления деструктивного воздействия и предпосылок появления аварийной ситуации;
- возможность функционирования как в штатных условиях эксплуатации, так и в условиях аварийной ситуации, вызванной деструктивным воздействием;
- высокое быстродействие средств измерений и системы диагностики технического состояния;
- высокую оперативность выработки рекомендаций на формирование управляющих воздействий и доведения их до исполнительных устройств системы управления;
- требуемую точность и достоверность оценки технического состояния объекта КИИ;
- коррекцию области допустимых значений параметров в зависимости от решаемой задачи и уровня шумов и помех;
- использование для задач диагностики и управления набора вещественных параметров, влияющих на функционирование объекта КИИ, которые оцениваются специально созданной системой оценки характеристик воздействия или назначаются системой высшего уровня;
- возможность использования априорных сведений о техническом состоянии и поведении параметров объекта КИИ;
- принципиальную возможность использования на любых объектах КИИ, независимо от назначения и ведомственной принадлежности, после незначительной доработки и привязки к конкретному объекту;
- возможность адаптации объектов КИИ к условиям реализации критического процесса: корректировку модели объекта, области допустимых значений и диапазонов измерения, требуемой точности, выбор наиболее информативных параметров и т. д.;
- выработку управляющих воздействий и оценку последствий реализации управления критическим процессом;
- разработку рекомендаций для обслуживающего персонала по дальнейшему использованию объекта КИИ после купирования деструктивного воздействия и ликвидации аварии.

Особенности построения и функционирования объекта КИИ, недостатки существующих автоматизированных систем контроля и управления технологическими процессами, предъявляемые к объекту КИИ требования, результаты разработки параметризованных марковских моделей [6, 11, 13] позволяют синтезировать возможный вариант структуры объекта КИИ, управляющего критическим процессом с использованием модифицированного аппарата диффузионных марковских процессов.

Структура объекта КИИ. Возможный вариант структуры объекта КИИ, основанной на параметризованных марковских моделях и обеспечивающей реализацию приведенных выше требований, представлен на рисунке 1.

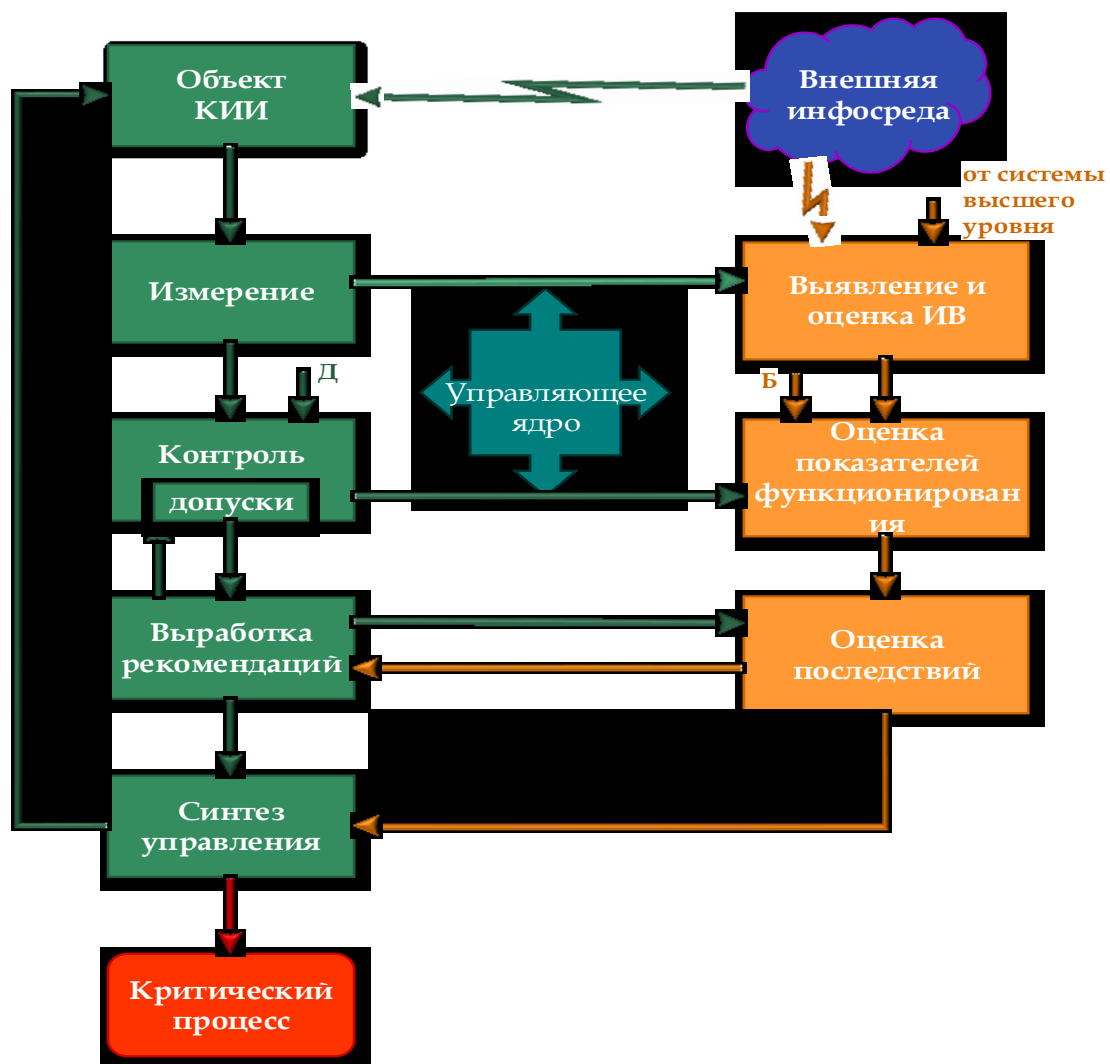


Рисунок 1 – Структура объекта КИИ

Конструктивно система включает две составные части: диагностическую и управляющую. Диагностическая часть объекта КИИ имеет ряд особенностей, позволяющих обеспечить выполнение указанных выше требований. Она включает в себя две составляющих: собственно измерительную и логическую, которая реализует алгоритмы диагностики и оценки технического состояния объекта КИИ, а также выполняет функции экспертных систем поддержки решений персонала при управлении критическим процессом. Нужно отметить, что провести четкую границу между названными составными частями не всегда представляется возможным, так как отдельные блоки выполняют функции, присущие обоим компонентам.

Управляющая подсистема в части построения исполнительных устройств разрабатывается для каждого критического процесса и в данной работе не рассматривается.

Синтезируемый объект КИИ функционально содержит два относительно независимых канала, один из которых функционирует в любых условиях эксплуатации (на рисунке показан зеленым цветом), а второй (выделен бежевым цветом) только в условиях деструктивного информационного воздействия.

Основным элементом всего объекта КИИ является управляющее ядро, представляющее собой микропроцессор и запоминающее устройство, в котором содержится база знаний и правил, обеспечивающая реализацию алгоритмов функционирования объекта КИИ. Управляющее ядро в соответствии с правилами, изложенными в [11–13], формирует марковскую математическую модель

объекта КИИ вида $\frac{\partial p(x, \omega, t)}{\partial t} = -a(x, \omega, t) \frac{\partial p(x, \omega, t)}{\partial x} + \frac{1}{2} b(x, \omega, t) \frac{\partial^2 p(x, \omega, t)}{\partial x^2}$, а также содержит базовые решения параметризованных эволюционных уравнений.

Запоминающее устройство содержит алгоритмы обработки информации, варианты возможных решений и рекомендаций обслуживающему персоналу, признаки состояния объекта, другую информацию, необходимую для обеспечения эффективного функционирования. Кроме того, в базе знаний хранится и постоянно обновляется статистическая информация о состоянии объекта в течение всего времени его эксплуатации в виде параметров функционирования и обобщенных стохастических характеристик объекта. Управляющее ядро позволяет функционировать объекту КИИ как интеллектуальной экспертной системе [2, 9, 14, 22].

Диагностическая подсистема включает в себя блок измерений, содержащий разнообразные датчики, измерительные преобразователи, приборы, другие средства измерений и блок контроля. Блок измерений синтезируемого объекта КИИ призван не только получать измерительную информацию о характеристиках управляемого критического процесса, но и по заданным критериям выявлять наличие деструктивного информационного воздействия. На основе анализа измерительной информации в блоке контроля с учетом назначенных допусков и ограничений на характеристики осуществляется оценка и анализ текущего состояния объекта КИИ.

Первичная измерительная информация, результаты текущего контроля, марковская модель объекта КИИ, синтезированная в виде параметризованных дифференциальных (эволюционных) уравнений и размещенная в базе знаний и правил, а также соответствующие алгоритмы позволяют получить значения основных показателей функционирования исследуемого объекта, что реализуется в соответствующем блоке [3, 11–13].

Предварительно синтезированные опорные решения хранятся в базе знаний и правил, постоянно уточняются по мере накопления статистической информации, до момента появления признака аварийной ситуации, вызванной деструктивным ИВ, факт наличия и характеристики которого поступают от соответствующего блока [11, 16, 25].

Признаком аварийной ситуации может служить пересечение информативным параметром границы области допустимых значений или существенное возрастание скорости его изменения. Кроме того, признак аварийной ситуации или присутствие деструктивного ИВ могут поступить от системы высшего уровня. После оценки основных показателей функционирования объекта в блоке выработки рекомендаций осуществляется формирование допустимых вариантов квази-оптимальных управленческих воздействий на критический процесс с целью купирования деструктивного ИВ и недопущения развития аварийной ситуации. Далее производится оценка возможных последствий реализации каждого варианта управленческого воздействия. После выбора наиболее приемлемого варианта соответствующий блок осуществляет синтез управляющих воздействий и доведение их до объекта. Доведение воздействия может производиться по команде обслуживающего персонала, либо, в условиях дефицита времени, в автоматическом режиме.

Как отмечалось выше, функционирование объекта КИИ может происходить как в нормальных условиях, так и в условиях аварийной ситуации. В зависимости от условий будут отличаться показатели эффективности функционирования объекта КИИ. В нормальных условиях основное требование к объекту КИИ – это высокая точность и достоверность оценки текущего состояния объекта, а в условиях аварийной ситуации – как можно меньшее время получения результата оценки состояния при заданной точности, т. е. быстродействие. Таким образом, оптимизация функционирования объекта КИИ должна осуществляться на основании критерия точности и достоверности «Д» в нормальных условиях и критерия быстродействия «Б» в условиях аварийной ситуации. Названные критерии могут назначаться обслуживающим персоналом объекта, системой высшего уровня, либо формироваться самим объектом КИИ исходя из складывающейся ситуации.

Для повышения эффективности алгоритм синтезируемого объекта КИИ функционирования должен обеспечивать адаптацию к условиям решения задач диагностики и управления [20, 24]. При нормальных условиях функционирования объекта КИИ точность измерений может быть значительно выше, чем при измерениях в условиях деструктивного ИВ и развития аварийной ситуации, которая предполагает существенное снижение времени на принятие управленческого решения. Адаптацией считается также изменение уровня допусков (области допустимых значений параметров) в условиях выявления деструктивного ИВ. Функция адаптации реализуется преимущественно программно-алгоритмическими методами, отличающимися высоким быстродействием и низкой стоимостью по сравнению с техническими.

Рассмотрим в общем виде назначение основных элементов структуры объекта КИИ.

Техническое состояние объекта КИИ характеризуется соответствующим вектором $X(\omega, t)$, где $\omega \in \Omega$ – вещественный параметр, оказывающий существенное влияние на процессы эксплуатации объекта, в рассматриваемом случае – это характеристики деструктивного информационного воздействия: сложность, интенсивность, продолжительность и др.

Блок измерений выполняет ряд функций:

- осуществляет с заданной точностью измерение характеристик объекта КИИ и управляемого им критического процесса $x_i(t)$, $i = \overline{1, N}$;
- осуществляет первичную обработку измерительной информации и оценку вектора технического состояния $X(\omega, t) = F_{\bar{E}}(X(\omega, t))$;
- оценивает параметр $\omega \in \Omega$ и определяет его основные свойства;
- определяет признак (признаки) возникновения аварийной ситуации либо по значению информативного параметра, $\Psi = [F_{\bar{E}i}(x_i(\omega, t)) \notin x_{\bar{a}i}]$, $i = \overline{1, n}$, либо по скорости его изменения

$$\Psi = F_{\bar{E}i} \left[\left(\frac{\partial x_i}{\partial t} \right) \geq \left(\frac{\partial x_i}{\partial t} \right)_{\bar{a}i} \right].$$

Управляющее ядро координирует работу всех блоков, управляет процессами контроля и выработки решений, взаимодействует с обслуживающим персоналом и, при необходимости, с системой высшего уровня. Процессор на основе моделей, хранящихся в базе знаний и правил управляющего ядра, вычисляет локальные характеристики марковского процесса, моделирующего техническое состояние объекта КИИ (коэффициенты сноса и диффузии), и синтезирует модель объекта $Y = F_{\bar{A}\bar{A}}(X_{\bar{n}\bar{o}}(\omega, t_{i\bar{a}\bar{a}\bar{e}}), X(\omega, t))$ с учетом адаптации системы к текущим условиям эксплуатации на основе критериев достоверности и быстродействия [11, 12, 24]. При вычислении локальных характеристик используется не только текущее значение вектора состояния объекта, но и статистические данные за все время наблюдения $X_{\bar{n}\bar{o}}(\omega, t_{i\bar{a}\bar{a}\bar{e}})$, которые хранятся в запоминающем устройстве управляющего ядра. Математическая модель объекта КИИ строится путем синтеза параметризованных эволюционных уравнений вида $D = F_{\bar{A}\bar{O}}(X_{\bar{n}\bar{o}}(\omega, \dot{t}_{i\bar{a}\bar{a}\bar{e}}), X(\omega, t), Y(\omega, t))$, где $\dot{t}_{i\bar{a}\bar{a}\bar{e}}$ – время наблюдения за объектом с момента начала его эксплуатации [11, 18], на основе текущего значения вектора состояния $X(\omega, t)$, статистической информации о состоянии объекта за все время эксплуатации, хранящейся в базе, и результатов контроля состояния объекта $Y(\omega, t) = F_{\bar{K}}(X(\omega, t))$. Далее вычисляются базовые решения эволюционных уравнений, моделирующих объект КИИ, сразу в параметрическом, т. е. зависящем от вектора параметров ω виде. По мере поступления дополнительной информации эти решения уточняются $Q = F_{\bar{A}\bar{O}}(L(\omega, t), K_{\bar{o}})$. Базовые решения эволюционных уравнений используются при вычислении показателей функционирования объекта как в нормальных условиях, так и в случае возникновения признаков возникновения аварийной ситуации, вызванной деструктивным ИВ, $Q = F_{\bar{A}\bar{O}}(Q(\omega, t), t_{i\bar{a}\bar{a}\bar{e}}, \Psi)$ [11, 13].

Оценка показателей функционирования с использованием опорных решений параметризованных эволюционных уравнений и прогнозирование их поведения в последующие моменты времени осуществляется в виде функционала $Z = F_{\bar{I}\bar{O}}(P(\omega, t), \omega)|_{\bar{i}, \bar{A}}$. Качество оценки показателей функционирования определяется критерием достоверности «Д» при нормальной эксплуатации и критерием быстродействия «Б» при возникновении признака аварийной ситуации. Номенклатура критериев достоверности «Д» и быстродействия «Б» формируется при проектировании объекта КИИ применительно к каждому критическому процессу. Назначение же необходимого критерия осуществляется по хранящемуся в базе знаний и правил заданному алгоритму. Основанием для выбора конкретного критерия служит анализ текущего состояния объекта и наличие признака деструктивного воздействия $\Psi(\omega)$.

Адаптация реализуется в виде функции $F_i^A(\omega, t) = A_j(F_i(\omega, t))$, где A_j – j -й вид адаптации. При измерении и контроле адаптация заключается в изменении точности, чувствительности и быстродействия, смене диапазонов входящих в него средств измерений в зависимости от условий функционирования объекта КИИ. При оценке показателей функционирования объекта КИИ адаптация реализуется в виде выбора метода оценки локальных характеристик моделируемого параметризованного эволюционного уравнения на основе совокупности имеющейся информации, формирования набора локальных характеристик, наиболее важных для решаемой задачи, и точности их оценки; назначения требуемого набора показателей функционирования объекта исходя из

условий и установления точность их оценки. При синтезе управления адаптируется вид и уровень управляющего воздействия на объекте КИИ с целью ликвидации аварийной ситуации, обеспечения нормальной эксплуатации и оптимального функционирования объекта.

Блок выработки рекомендаций сравнивает полученные показатели функционирования и прогноз их изменения с набором допустимых значений, а затем формирует виды и уровни возможных воздействий на объект [1, 2, 16] для восстановления его нормального функционирования $B(x, \omega) = F_{AB}(C(x, \omega))|_{\bar{A}, \bar{A}}$.

Блок оценки возможных последствий выбранного воздействия на объект моделирует поведение объекта КИИ после реализации возможных воздействий на него по устранению аварийной ситуации или последствий аварии $X(\omega, t_{AC}) = F_{AI}(X(\omega, t), U(\omega, t), t)$, оценивает (прогнозирует) последствия воздействия и выбирает оптимальные вид и уровень $B^*(x, \omega)$ воздействий из всей совокупности возможных видов воздействия $B(x, \omega)$. Работа данного блока происходит с учетом общих критериев «Д» и «Б» и функционала качества

$$J = M\{X^T(T | X_0, \omega)GX(T | X_0, \omega) + \int_0^T [X^T(t | X_0, \omega)Q(t)X(t | X_0, \omega) + U^T(t, X | X_0, \omega)U(t, X | X_0, \omega)]dt\},$$

где $U = U(\omega, t, X | X_0) \in R^k$ – вектор управляющих воздействий, минимизирующий приведенный выше функционал, $G \in R^{r \times r}$, $Q(t) \in R^{r \times r}$ – заданные положительно определенные матрицы.

И, наконец, при синтезе управления реализуется выбранное квазиоптимальное управляющее воздействие $U = F_0(X(\omega, t), Z(x, \omega), R(x, \omega))$ и доводится до исполнительных механизмов и устройств на объекте управления, которым является критический процесс.

Функционирование объекта КИИ. Функционирование объекта КИИ будем рассматривать во время реализации управления критическим процессом. Считаем, что в текущий момент времени проведены подготовительные мероприятия: определены коэффициенты сноса и диффузии эволюционных уравнений (локальные характеристики модели исследуемого объекта КИИ) и сформированы аналитико-параметрические решения соответствующих диффузионных уравнений. В базе данных хранятся опорные решения диффузионных уравнений, правила и алгоритмы для оценки состояния объекта КИИ, а также варианты возможных рекомендаций для синтеза управления критическим процессом в различных условиях и другая информация, необходимая для обеспечения устойчивого функционирования объекта КИИ и управляемого им критического процесса. Управляющее ядро на базе анализа дополнительной (текущей) измерительной информации уточняет опорные решения и корректирует алгоритмы выработки рекомендаций. Объект КИИ реализует свои функции как при нормальных условиях эксплуатации, так и при возникновении предпосылок к развитию аварийной ситуации, вызванной деструктивным ИВ.

В нормальных условиях эксплуатации объект КИИ обеспечивает оптимальность реализации критического процесса в соответствии с его предназначением. Определяющим показателем качества функционирования объекта КИИ в этих условиях является точность, характеризуемая критерием «Д». При этом должны быть соблюдены ограничения на скорость получения измерительной информации, определяемую критерием «Б». Ограничения обусловлены быстроедействием средств измерений, входящих в состав объекта КИИ, и необходимостью обеспечения измерения параметров функционирования объекта в статическом режиме. В условиях нормального функционирования объект КИИ накапливает статистическую информацию для корректировки математической модели. При нормальных условиях эксплуатации объект КИИ, в зависимости от конкретных значений вектора параметров $\omega \in \Omega$ с использованием опорных решений, оценивает необходимые показатели функционирования [11, 13, 17]. Такое рассмотрение задачи оценки показателей функционирования объекта позволяет перенести основные временные затраты на этап подготовительных мероприятий и тем самым существенно повысить быстроедействие объекта КИИ [11]. Полученная оценка показателей функционирования служит базой для выработки рекомендаций по поддержанию объекта в работоспособном состоянии с последующим синтезом управления.

Метод синтеза параметризованных эволюционных уравнений, моделирующих объект КИИ, на основе априорной информации описан в работах [11–13]. Решения названных уравнений синтезируются сразу в параметрическом (зависящем от вектора параметров ω) виде. Полученные параметризованные решения являются опорными, хранятся в базе данных управляющего ядра и ис-

пользуются для оперативной выработки управляющих воздействий при обнаружении деструктивного воздействия и возникновении аварийной ситуации. Уточнение модели объекта и опорных решений производится в процессе штатной эксплуатации по мере накопления статистической информации. Адаптация с учетом выбранного критерия осуществляется путем изменения передаточных функций измерительных устройств, блоков оценки показателей функционирования критического процесса и формирования управляющего воздействия. Объект КИИ в нормальных условиях реализует функцию прогноза основных параметров функционирования и технического состояния (показателей функционирования) объекта. Прогноз названных показателей обеспечивает оптимальный режим функционирования объекта КИИ в соответствии с его назначением, а также позволяет оптимизировать процессы эксплуатации, в частности – определить периодичность и объем технического обслуживания и ремонта. Это позволяет сократить затраты на техническое обслуживание и устранение неисправностей, снизить вероятность возникновения внезапных отказов.

Особенности функционирования объекта КИИ, вызванные деструктивным ИВ и последующим развитием аварийной ситуации, связаны с дефицитом времени на определение текущего технического состояния, оценку его изменения во времени и принятием управленческого решения. Признак деструктивного воздействия может поступать от обслуживающего персонала, системы высшего уровня или выявляется соответствующими измерительными системами и транслируется в блок, осуществляющий оценку основных свойств и характеристик деструктивного информационного воздействия. Для выявления деструктивного воздействия в объекте КИИ может создаваться отдельный канал. Одновременно в качестве приоритетного вводится критерий быстрого действия «Б», изменяя тем самым основной показатель качества функционирования объекта КИИ. В этом режиме качество объекта КИИ определяется скоростью выработки и доведения до исполнительных устройств управляющих воздействий при заданных ограничениях на точность. Ограничения связаны с достоверностью оценки вектора технического состояния, т. е. значение критерия точности «Д» должно обеспечить минимизацию ошибок первого и второго рода.

Определив значение параметра $\omega \in \Omega$ (измерив или получив от смежной системы) и хранящиеся в базе базовые решения эволюционных уравнений, оперативно вычисляются показатели функционирования объекта, на основе которых объект КИИ выдает рекомендации по формированию управления критическим процессом. Далее происходит оценивание (моделирование) возможных последствий их реализации, и в случае неудовлетворительного результата последствий выработанных рекомендаций принимаются новые рекомендации [11, 12, 17]. Оценка последствий реализации рекомендаций производится на базе заранее сформированного набора возможных аварийных ситуаций и модели как самого объекта КИИ, так и управляемого критического процесса. Синтезированное на основе выбранного решения квазиоптимальное управляющее воздействие доводится до соответствующего критического процесса.

Заключение. В работе проанализированы основные свойства объекта КИИ и на этой основе сформулированы основные требования к системам диагностики и управления таких объектов. Рассмотрены особенности функционирования объекта КИИ в условиях развития аварийной ситуации, обусловленной деструктивным информационным воздействием на объект. Для моделирования объекта КИИ предложено использование аппарата параметризованных диффузионных марковских процессов. Синтезирован вариант структурной схемы объекта КИИ, обеспечивающий реализацию предъявленных требований, рассмотрена ее работа в различных условиях функционирования объекта.

Предложенный в работе подход к синтезу структуры применим для перспективных объектов КИИ, осуществляющих управление критическими процессами. Синтезированная в ходе исследования структура объекта КИИ предназначена для работы как в нормальных условиях, так и при возникновении аварийной ситуации, связанной с деструктивными воздействиями на объект и выходом параметров функционирования за пределы области допустимых значений. Реализация разработанного объекта КИИ в штатных условиях эксплуатации дает возможность оптимизации основных эксплуатационных процессов, в том числе объема и времени профилактических мероприятий на объекте.

Максимальный эффект от внедрения разрабатываемой системы следует ожидать при угрозе возникновения аварийной ситуации. При деструктивном воздействии объект КИИ позволяет получать оперативную оценку показателей функционирования на основе определения значения информативного параметра в реальном масштабе времени. В этих условиях синтезированная система обеспечивает повышение безопасности критического процесса за счет снижения вероятности принятия персоналом ошибочных управленческих решений при минимуме времени на оценку обстановки.

Предлагаемый подход может быть использован для формирования технических требований к автоматизированным системам управления техническими процессами вновь создаваемых и мо-

дернизируемых технических систем субъектов КИИ. Указанные в работе особенности эксплуатации объектов КИИ и основные требования к ним учитывались в Государственном научно-исследовательском институте приборостроения при составлении технического задания на модернизацию такой системы.

Объекты КИИ с предложенной в работе структурой применимы в любых сложных экономических, социальных, экологических и им подобным системах, поведение которых возможно моделировать уравнениями эволюции.

Библиографический список

1. Абзалов, А. В. Методика анализа предаварийных ситуаций на технологических объектах управления / А. В. Абзалов, Р. Р. Жедунов // Прикаспийский журнал: управление и высокие технологии. – 2013. – № 4. – С. 50–59.
2. Аль-Бусаиди, С. С. С. К вопросу о поддержке процесса принятия решения об улучшении деятельности в испытательной лаборатории / С. С. С. Аль-Бусаиди, Ю. Н. Воякина, С. В. Пономарев // Прикаспийский журнал: управление и высокие технологии. – 2021. – № 1. – С. 27–45.
3. Артеменков, С. Л. Марковские модели в задачах диагностики и прогнозирования / С. Л. Артеменков, В. И. Алхимов, С. Н. Баранов, О. Б. Беляева, П. Н. Думин, П. А. Корниенко, Л. С. Куравский, С. Б. Малых, А. А. Марголис, П. А. Мармалюк, А. С. Панфилова, С. И. Попков, Г. А. Юрьев, Н. Е. Юрьева ; под ред. Л. С. Куравского. – Москва : Изд-во МГППУ, 2017. – 203 с.
4. Бачманов, Д. А. Исследование вопросов совершенствования систем защиты от DDos-атак на основе комплексного анализа современных механизмов противодействия / Д. А. Бачманов, А. Р. Очередыко, М. М. Путято, А. С. Макарян // Прикаспийский журнал: управление и высокие технологии. – 2021. – № 1. – С. 63–74.
5. Бугайченко, П. Ю. Динамическая модель оценивания качества подготовки и применения сложной технической системы / П. Ю. Бугайченко, А. И. Данилов, А. М. Зубачев // Труды военно-космической академии им. А.Ф. Можайского. – 2018. – № 664. – С. 20–26.
6. Бункин, Н. Ф. Стохастические системы в физике и технике / Н. Ф. Бункин. – Москва : МГТУ им. Баумана. – 2011. – 366 с.
7. Володин, И. В. Классификация механизмов атак и исследование методов защиты систем с использованием алгоритмов машинного обучения и искусственного интеллекта / И. В. Володин, М. М. Путято, А. С. Макарян, В. Ю. Евглевский // Прикаспийский журнал: управление и высокие технологии. – 2021. – № 2. – С. 91–98.
8. Данилов, А. И. Методика численного анализа эффективности подготовки и применения сложной технической системы / А. И. Данилов, А. М. Зубачев, А. А. Данилов // Известия тульского государственного университета. Технические науки. – 2018. – № 8. – С. 186–199.
9. Ирадж, Эльяси Комари. Анализ задач разработки и реинжиниринга компьютерных сетей для критических приложений / Ирадж Эльяси Комари, А. В. Горбенко // Радиотехника и компьютерные системы. – 2006. – № 7 (19). – С. 32–35.
10. Кляцкин, В. И. Очерки по динамике стохастических систем / В. И. Кляцкин. – Москва : Крассанд, 2012. – 448 с.
11. Кочнев, С. В. Параметрический подход к оценке состояния сложных технических объектов на основе эволюционных уравнений / С. В. Кочнев, А. П. Лапсарь // Прикаспийский журнал: управление и высокие технологии. – 2017. – № 2. – С. 10–18.
12. Кубарев, А. В. Параметрическое моделирование состояния объектов критической инфраструктуры в условиях деструктивного воздействия / А. В. Кубарев, А. П. Лапсарь, С. А. Назарян // Вопросы кибербезопасности. – 2021. – № 3. – С. 58–67.
13. Кубарев, А. В. Повышение безопасности эксплуатации значимых объектов критической инфраструктуры с использованием параметрических моделей эволюции / А. В. Кубарев, А. П. Лапсарь, Я. В. Федорова // Вопросы кибербезопасности. – 2020 – № 1. – С. 8–17.
14. Курейчик, В. М. Особенности построения систем поддержки принятия решений / В. М. Курейчик // Известия Южного федерального университета. Технические науки. – 2012. – Тематический выпуск. – С. 92–98.
15. Максименко, В. Н. Основные подходы к анализу и оценке рисков информационной безопасности / В. Н. Максименко, Е. В. Ясюк // Экономика и качество систем связи. – 2017. – № 2. – С. 42–48.
16. Михеев, М. Ю. Математические и информационно-структурные модели прогнозирования состояния технически сложных объектов / М. Ю. Михеев, О. В. Прокофьев, А. Е. Савочкин, М. А. Линкова // Прикаспийский журнал: управление и высокие технологии. – 2015. – № 4. – С. 232–249.
17. Николаев, А. Б. Автоматизация поддержки управленческих решений при организации наукоемкого производства на основе гибкой обратной связи / А. Б. Николаев, П. С. Якунин, Ю. А. Краснов // Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет. – 2013. – № 4. – С. 3–13.
18. Оксендаль, Б. Стохастические дифференциальные уравнения. Введение в теорию и приложения / Б. Оксендаль. – Москва : Мир ; АСТ, 2003. – 408 с.
19. Острейковский, В. А. Вероятностное прогнозирование работоспособности элементов ЯЭУ / В. А. Острейковский, Н. Л. Сальников. – Москва : Энергоатомиздат, 1990. – 416 с.
20. Пугачев, В. С. Стохастические дифференциальные системы / В. С. Пугачев, И. Н. Сеницын. – Москва : Наука, 2000. – 1000 с.

21. Савочкин, А. Е. Алгоритмизация работы системы мониторинга и контроля для решения задач идентификации степени повреждения технически сложных объектов / А. Е. Савочкин // Прикаспийский журнал: управление и высокие технологии. – 2014. – № 2. – С. 23–35.
22. Сибиряков, М. А. Модификация и моделирование алгоритмов обработки данных в кэш-памяти систем хранения данных / М. А. Сибиряков, Е. С. Васяева // Кибернетика и программирование. – 2016. – № 4. – С. 44–57.
23. Тарасов, Е. С. Методологические основы принятия решений с использованием автоматизации неформальных процедур / Е. С. Тарасов, В. С. Симанков, М. М. Пулято // Естественные и технические науки. – 2010. – № 4 (49). – С. 292–297.
24. Тюкин, Ю. А. Адаптация в нелинейных динамических системах / Ю. А. Тюкин, В. А. Терехов. – Санкт-Петербург : ЛКИ. – 2008. – С. 384.
25. Учаев, Д. Ю. Анализ и управление рисками, связанными с информационным обеспечением человеко-машинных АСУ технологическими процессами в реальном времени / Д. Ю. Учаев, Ю. М. Брумштейн, И. М. Ажмухаедов, О. М. Князева, И. А. Дюдилов // Прикаспийский журнал: управление и высокие технологии. – 2016. – № 2. – С. 82–95.
26. Харченко, В.С. Оценка надежности информационно-управляющих систем на основе иерархических функций-таблиц и марковских цепей: модели, методика и информационная технология / В. С. Харченко, И. Э. Комари, А. В. Горбенко // Научные ведомости белгородского государственного университета. Серия: экономика, информатика. – 2011. – № 19 (114). – С. 162–171.
27. Юрков, Н. К. К проблеме моделирования риска отказа электронной аппаратуры длительного функционирования / Н. К. Юрков, И. И. Кочегаров, Д. Л. Петрянин // Прикаспийский журнал: управление и высокие технологии. – 2015. – № 4. – С. 220–231.

References

1. Abzalov, A. V., Zhedunov, R. R. Metodika analiza predavariynykh situatsiy na tekhnologicheskikh obektakh upravleniya [Methodology of analysis of pre emergency situations at technological control facilities]. *Prikaspiyskiy zhurnal: upravlenie i vysokie tekhnologii* [Caspian Journal: Management and High Technologies], 2013, no. 4, pp. 50–59.
2. Al-Busaidi, S. S. S., Voyakina, Yu. N., Ponomarev, S. V. K voprosu o podderzhke protsessa prinyatiya resheniya ob uluchshenii deyatelnosti v ispytatelnoy laboratorii [To the question of supporting the decision-making process on performance improvement in the testing laboratory]. *Prikaspiyskiy zhurnal: upravlenie i vysokie tekhnologii* [Caspian Journal: Management and High Technologies], 2021, no. 1, pp. 27–45.
3. Artemenkov, S. L., Alkhimov, V. I., Baranov, S. N., Belyaeva, O. B., Dumin, P. N., Kornienko, P. A., Kuravskiy, L. S. (ed.), Malykh, S. B., Margolis, A. A., Marmalyuk, P. A., Panfilova, A. S., Popkov, S. I., Yurev, G. A. *Markovskie modeli v zadachakh diagnostiki i prognozirovaniya* [Markov models in diagnostic and forecasting tasks]. Moscow, Publishing House of the Moscow State Psychological and Pedagogical University, 2017. 203 p.
4. Bachmanov, D. A., Ocheredko, A. R., Putyato, M. M., Makaryan, A. S. Issledovanie voprosov sovershenstvovaniya sistem zashchity ot DDoS-atak na osnove kompleksnogo analiza sovremennykh mekhanizmov protivodeystviya [Research of the issues of improvement of protection systems against DDoS-attacks based on the comprehensive analysis of modern interaction mechanisms]. *Prikaspiyskiy zhurnal: upravlenie i vysokie tekhnologii* [Caspian Journal: Control and High Technologies], 2021, no. 1, pp. 63–74. DOI: 10.21672/2074-1707.2021.53.1.063-074.
5. Bugaychenko, P. Yu., Danilov, A. I., Zubachev, A. M. Dinamicheskaya model otsenivaniya kachestva podgotovki i primeneniya slozhnoy tekhnicheskoy sistemy [Dynamic model for assessing the quality of preparation and application of a complex technical system]. *Trudy voenno-kosmicheskoy akademii im. A.F. Mozhayskogo* [Proceedings of the Military Space Academy named after A.F. Mozhaysky], 2018, no. 664, pp. 20–26.
6. Bunkin, N. F. *Stokhasticheskie sistemy v fizike i tekhnike* [Stochastic systems in physics and engineering]. Moscow, Publishing House of Bauman Moscow State Technical University, 2011. 366 p.
7. Volodin, I. V., Putyato, M. M., Makaryan, A. S., Evglevskiy, V. Yu. Klassifikatsiya mekhanizmov atak i issledovanie metodov zashchity sistem s ispolzovaniem algoritmov mashinnogo obucheniya i iskusstvennogo intellekta [Classification of attack mechanisms and investigation of system protection methods using machine learning and artificial intelligence algorithms]. *Prikaspiyskiy zhurnal: upravlenie i vysokie tekhnologii* [Caspian Journal: Control and High Technologies], 2021, no. 2, pp. 91–98. DOI: 10.21672/2074-1707.2021.53.1.090-098.
8. Danilov, A. I., Zubachev, A. M., Danilov, A. A. Metodika chislennogo analiza effektivnosti podgotovki i primeneniya slozhnoy tekhnicheskoy sistemy [Methodology of numerical analysis of the effectiveness of preparation and application of a complex technical system]. *Izvestiya Tul'skogo gosudarstvennogo universiteta. Tekhnicheskie nauki* [Proceedings of Tula State University. Technical sciences], 2018, no. 8, pp. 186–199.
9. Iradzh, Elyasi Komari, Gorbenko, A. V. Analiz zadach razrabotki i reinzhiniringa kompyuternykh setey dlya kriticheskikh prilozheniy [Analysis of computer network development and reengineering tasks for critical applications]. *Radyuelektrom i kompyuternykh sistem* [Radyoelectron i Computer Systems], 2006, no. 7 (19), pp. 32–35.
10. Klyatskin, V. I. *Ocherki po dinamike stokhasticheskikh sistem* [Essays on the dynamics of stochastic systems]. Moscow, Krassand Publ., 2012. 448 p.
11. Kochnev, S. V., Lapsar, A. P. Parametricheskii podkhod k otsenke sostoyaniya slozhnykh tekhnicheskikh obektov na osnove evolyutsionnykh uravneniy [Parametric approach to assessing the state of complex technical objects based on evolutionary equations]. *Prikaspiyskiy zhurnal: upravlenie i vysokie tekhnologii* [Caspian Journal: Control and High Technologies], 2017, no. 2, pp. 10–18.

12. Kubarev, A. V., Lapsar, A. P., Nazaryan, S. A. Parametricheskoe modelirovanie sostoyaniya obektov kriticheskoy infrastruktury v usloviyakh destruktivnogo vozdeystviya [Parametric modeling of the state of critical infrastructure objects in conditions of destructive impact]. *Voprosy kiberbezopasnosti* [Cybersecurity Issues], 2021, no. 3, pp. 58–67. DOI: 10.21681/2311-3456-2021-3-58-67.
13. Kubarev, A. V., Lapsar, A. P., Fedorova, Ya. V. Povyshenie bezopasnosti ekspluatatsii znachimyykh obektov kriticheskoy infrastruktury s ispolzovaniem parametricheskikh modeley evolyutsii [Improving the safety of operation of significant critical infrastructure facilities using parametric models of evolution]. *Voprosy kiberbezopasnosti* [Cybersecurity Issues], 2020, no. 1, pp. 8–17. DOI: 10.21681/2311-3456-2020-01-08-17.
14. Kureychik, V. M. Osobennosti postroyeniya sistem podderzhki prinyatiya resheniy [Features of building decision support systems]. *Izvestiya Yuzhnogo federalnogo universiteta. Tekhnicheskie nauki* [Bulletin of the Southern Federal University. Technical Sciences], 2012, Thematic issue, pp. 92–98.
15. Maksimenko, V. N., Yasyuk, E. V. Osnovnye podkhody k analizu i otsenke riskov informatsionnoy bezopasnosti [The main approaches to the analysis and assessment of information security risks]. *Ekonomika i kachestvo sistem svyazi* [Economics and Quality of Communication Systems], 2017, no. 2, pp. 42–48.
16. Mikheev, M. Yu., Prokofev, O. V., Savochkin, A. E., Linkova, M. A. Matematicheskie i informatsionno-strukturnye modeli prognozirovaniya sostoyaniya tekhnicheskikh slozhnykh obektov [Mathematical and information-structural prediction models state of technically complex objects]. *Prikaspiyskiy zhurnal: upravlenie i vysokie tekhnologii* [Caspian Journal: Control and High Technologies], 2015, no. 4, pp. 232–249.
17. Nikolaev, A. B., Yakunin, P. S., Krasnov, Yu. A. Avtomatizatsiya podderzhki upravlencheskikh resheniy pri organizatsii naukoemkogo proizvodstva na osnove gibkoy obratnoy svyazi [Automation of management decision support in the organization of knowledge-intensive production based on flexible feedback]. *Moskovskiy avtomobilno-dorozhnyy gosudarstvennyy tekhnicheskii universitet*. [Moscow Automobile and Highway State Technical University], 2013, no. 4, pp. 3–13.
18. Oksendal, B. *Stokhasticheskie differentsialnye uravneniya. Vvedenie v teoriyu i prilozheniya* [Stochastic differential equations. Introduction to theory and applications]. Moscow, Mir Publ. ; AST Publ., 2003. 408 p.
19. Ostreykovskiy, V. A., Salnikov, N. L. *Veroyatnostnoye prognozirovaniye rabotosposobnosti elementov YaEU* [Probabilistic prediction of the operability of elements YAU]. Moscow, Energoatomizdat Publ., 1990. 416 p.
20. Pugachev, V.S., Sinitsyn, I.N. *Stokhasticheskie differentsialnye sistemy* [Stochastic differential systems]. Moscow, Nauka Publ., 2000. 1000 p.
21. Savochkin, A. E. Algoritmizatsiya raboty sistemy monitoringa i kontrolya dlya resheniya zadach identifikatsii stepeni povrezhdeniya tekhnicheskikh slozhnykh obektov [Algorithmization of system operation of monitoring and control for solution of identification tasks of damage level of technically complex objects]. *Prikaspiyskiy zhurnal: upravlenie i vysokie tekhnologii* [Caspian Journal: Control and High Technologies], 2014, no. 2, pp. 23–35.
22. Sibiryakov, M. A., Vasyaeva, E. S. Modifikatsiya i modelirovanie algoritmov obrabotki dannykh v keshpamyati sistem khraneniya dannykh [Modification and modeling of data processing algorithms in the cache memory of data storage systems]. *Kibernetika i programmirovaniye* [Cybernetics and programming], 2016, no. 4, pp. 44–57. DOI: 10.7256/2306-4196.2016.4.18058.
23. Tarasov, E. S., Simankov, V. S., Putyato, M. M. Metodologicheskie osnovy prinyatiya resheniy s ispolzovaniem avtomatizatsii neformalnykh protsedur [Methodological foundations for decision-making using the automation of informal procedures]. *Estestvennye i tekhnicheskie nauki* [Natural and Technical Sciences], 2010, no. 4 (49), pp. 292–297.
24. Tyukin, Yu. A., Terekhov, V. A. *Adaptatsiya v nelineynykh dinamicheskikh sistemakh* [Adaptation in nonlinear dynamical systems]. Saint Petersburg, LKI Publ., 2008. 384 p.
25. Uchaev, D. Yu., Brumshteyn, Yu. M., Azhmukhadedov, I. M., Knyazeva, O. M., Dyudikov, I. A. Analiz i upravlenie riskami, svyazannymi s informatsionnym obespecheniem cheloveko-mashinnykh ASU tekhnologicheskimi protsessami v realnom vremeni [Analysis and management of risks, concerned with information support of human-machine automated control systems, operating in real time]. *Prikaspiyskiy zhurnal: upravlenie i vysokie tekhnologii* [Caspian Journal: Control and High Technologies], 2016, no. 2, pp. 82–95.
26. Kharchenko, V. S., Komari, I. E., Gorbenko, A. V. Otsenka nadezhnosti informatsionno-upravlyayushchikh sistem na osnove ierarchicheskikh fmeicia-tablits i markovskikh tsepey: modeli, metodika i informatsionnaya tekhnologiya [Reliability assessment of information and control systems based on hierarchical fmeicia-tables and Markov chains: models, methodology and information technology]. *Nauchnye vedomosti Belgorodskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: ekonomika. Informatika* [Scientific Bulletin of Belgorod State University. Series: Economics. Informatics.], 2011, no. 19 (114), pp. 162–171.
27. Yurkov, N. K., Kochegarov, I. I., Petryanin, D. L. K probleme modelirovaniya riska otkaza elektronnoy apparatury dlitel'nogo funktsionirovaniya [Model for risk estimation of failure of electronic means, intended for long-term performance]. *Prikaspiyskiy zhurnal: upravlenie i vysokie tekhnologii* [Caspian Journal: Control and High Technologies], 2015, no. 4, pp. 220–231.