УДК 681.518.5

© 2022 г. **В.В. Воронин**, д-р техн. наук
(Тихоокеанский государственный университет, Хабаровск)

АРХИТЕКТУРА ИНТЕГРИРОВАННЫХ СИСТЕМ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ЭКСПЛУАТАЦИОННОЙ НАДЕЖНОСТИ

Анализируется в общем виде система обеспечения эксплуатационной надежности в отношении определенного ряда показателей интегрированности этой системы. В данный ряд показателей включены: неоднородность эксплуатируемых технических объектов, перечень диагностических задач, множество возможных корпоративных ситуаций, разновидности инструментальных средств, необходимые виды субъектов деятельности и уровни интеллектуальности системы. Предлагается вариант архитектуры интегрированной системы обеспечения эксплуатационной надежности как необходимый сегмент архитектуры предприятия.

Ключевые слова: эксплуатационная надежность, технический объект, система технического обслуживания, архитектура системы, субъект деятельности, диагностическая экспертная система.

DOI: 10.22250/18142400_2022_72_2_24

Введение

Комплексное свойство «надежность» – одно из важнейших для технических систем. Оно имеет существенное значение для каждого этапа жизненного цикла, а именно: уровень надежности рассчитывается на этапе проектирования, обеспечивается производством и поддерживается при эксплуатации. Такая последовательность реализуется в определенной организационной системе, которую принято называть системой обеспечения надежности и выделять в ней в соответствии с жизненным циклом три подсистемы: проектирования надежности, технического контроля, технического обслуживания.

В данной работе акцент сделан на эксплуатационной надежности технических систем и, как следствие, основное внимание уделяется архитектуре систем технического обслуживания (СТО), а точнее, – свойству интегриро-

ванности таких систем.

Под архитектурой интегрированной системы обеспечения эксплуатационной надежности понимается общая точка зрения субъектов различных видов деятельности, оформленная в виде концептуальной схемы и описания к ней, где отражены во взаимозависимости все существенные элементы данной системы, их отношения с архитектурой предприятия и его информационными технологиями.

В данную схему закладываются фундаментальные принципы и решения, определяющие технологии, инструментальные средства разработки и реализации системы, а также возможные направления будущего ее развития. Существенной особенностью архитектуры считается положение о том, что заложенные в схему решения после их утверждения с трудом поддаются изменению на любом этапе жизненного цикла системы.

В работе [1] в качестве обобщающего варианта структуры СТО предложена четырехконтурная система, включающая следующие подсистемы: контроля и защиты, функционального диагностирования, тестового диагностирования, технического обслуживания и ремонта. Это предложение интегрировано частично в отношении диагностических задач (не предусматривается прогнозирование технического состояния), частично – в отношении обязательных субъектов деятельности предприятия (не включен субъект эксплуатационной деятельности и субъект, принимающий решение), и никак не интегрировано в отношении парка разнородных основных и обеспечивающих технических систем.

В статье [2] архитектура интегрированной системы обеспечения эксплуатационной надежности анализируется в рамках функционального подхода, без предложения какого-либо структурного решения. Основное функциональное назначение системы – минимизация численности постоянно присутствующего на объектах ремонтного персонала и оптимизация общей деятельности по ремонту и техническому обслуживанию технологического оборудования. Интеграционный аспект здесь представлен задачами мониторинга и диагностики для разнородных объектов ПАО «Газпром», в видовой деятельности не учитываются субъекты эксплуатационной деятельности и принимающий решения. Программно-аппаратное обеспечения системы характеризуется лишь перечнем необходимых корпоративных функций.

В [3] предложена общая архитектура экспериментальной программно-аппаратной системы мониторинга, диагностики и прогнозирования состояния таких уникальных объектов как космические аппараты. Корпоративная ситуация здесь обязывает принимать решения по обеспечению надежности в

режиме, близком к реальному времени. Содержательно представлена функциональная схема интеллектуальной системы, в основе которой лежит единственный нейросетевой подход. Такой подход снижает интеграционный уровень системы. По материалам статьи также сложно оценить этот уровень в отношении субъектов деятельности.

Статья [4] описывает методику для оценки степени интеллектуальности сложных технических систем (интеллектуальные транспортные системы, интеллектуальные энергосистемы, «умные города» и др.) на относительно высоком уровне абстрактности. Здесь утверждается важное положение о том, что целевое состояние создаваемых «с нуля» или интеллектуализируемых систем – это взаимодополняемость высокого уровня интеллектуальности и высокого качества функциональности. В отношении системы обеспечения эксплуатационной надежности данное положение характеризует еще один показатель степени интегрированности системы.

В работе [5] исследуются особенности технологии контроля и диагностирования сложных технических систем на примере бортовых автоматизированных систем управления летательных аппаратов. Предлагается концепции «быстрого прототипа», базирующаяся на интеграции встроенных и внешних программно-аппаратных средств диагностирования с типовой интеллектуальной системой поддержки принятия решений посредством специализированных интерфейсных блоков.

Таким образом, свойство интегрированности систем обеспечения эксплуатационной надежности – это многоаспектное понятие, характеризуемое целым рядом показателей.

Постановка задачи

В большинстве архитектурных решений систем обеспечения эксплуатационной надежности различных технических объектов недостаточно полно отражаются элементы множества возможных показателей интегрированности этих систем. В работе [1] в данное множество включены не в полном объеме только два показателя.

Основная задача данной работы – исследовать и раскрыть содержание комплексного свойства интегрированности в рамках архитектуры системы обеспечения эксплуатационной надежности в отношении ряда показателей: неоднородность объектных технических систем, множество диагностических задач, множество возможных корпоративных ситуаций, множество программно-аппаратных инструментальных средств, множество необходимых видов субъектов деятельности и уровень интеллектуальности системы.

Интеграция по многообразию технических систем и корпоративных ситуаций

Любая техническая система существует в пределах ограниченного временного интервала. Для фиксации этого интервала следует различать такие объектные понятия как: экземпляр технической системы (отдельный, сегодня реально существующий технический объект); серия технических объектов (множество “подобных“ экземпляров); вид технических объектов (множество “подобных” серий); тип технических объектов (множество “подобных” видов) и т.д.

Например, автомобиль LADA Granta с определенным идентификационным номером – экземпляр; все автомобили LADA Granta с определенной модификацией кузова – серия; все автомобили ВАЗ – вид; совокупность всех легковых автомобилей – тип. Иерархию понятий можно продолжить (автомобильные транспортные средства, летательные аппараты, железнодорожный транспорт и т.д.), ее конечная точка в рамках анализа архитектуры интегрированных систем обеспечения эксплуатационной надежности определяется существующей корпоративной ситуацией.

Каждой корпоративной ситуации соответствует своя конкретная иерархия объектных понятий. Причем она может быть шире или уже, чем в рассмотренном выше примере. Так, если объект уникальный, то он существует и эксплуатируется в определенной организации в единственном экземпляре (например, конкретный экземпляр атомного ледокольного флота). С другой стороны, есть предприятия, в которых эксплуатируются множества экземпляров различных видов разнородных технических систем. Такой корпоративной ситуацией характеризуются, например, предприятия автомобильного, воздушного и железнодорожного транспорта. Более того, существуют корпорации, в которых система управления производственными активами является типовой для целой совокупности предприятий (например, система технического диагностирования электросетевого оборудования группы компаний ПАО "РОССЕТИ") [6].

Очевидно, каждое объектное понятие определяет свои временные границы существования соответствующих технических объектов, взаимоотношение которых иллюстрируется на рис. 1, где представлены временные шкалы отдельно для экземпляра (рис. 1.4а), серии (рис. 1.4б) и вида (рис. 1.4в).

Отрезки $[t_1, t_2]$ и $[t_2, t_3]$ для каждого экземпляра являются уникальными на универсальной шкале времени в отношении значений t_1, t_2 и t_3 и в отношении их длительности на этой шкале.

Для множественных объектных понятий (серии и вида) или уникаль-

ных экземпляров следует учитывать также момент t_0 – начало этапа проектирования. На этапе проектирования конструкторы и технологи обязаны обеспечить будущую возможность управления эксплуатационной надежностью (решать проблемы контролепригодности, ремонтопригодности, долговечности и др.).

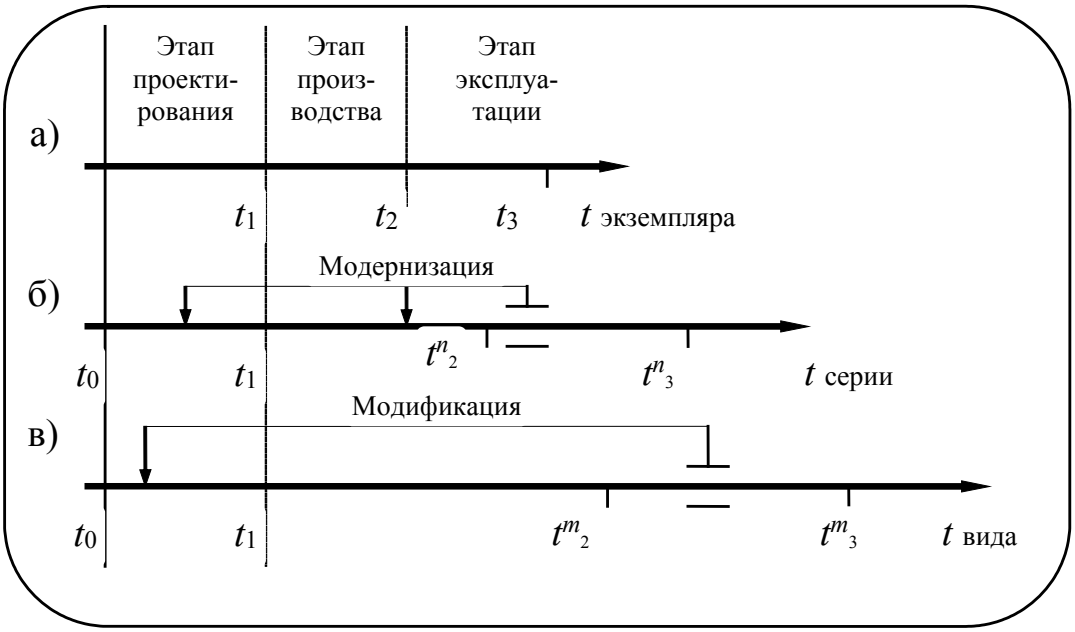

Рис. 1. Этапы жизненного цикла технических систем.

Отрезок $[t_0, t_1]$ для экземпляра серии нет смысла учитывать. Длины отрезков $[t_1, t_2]$ и $[t_2, t_3]$ у экземпляра и у серии различны. Для серии t_1 – это момент начала производства первого экземпляра серии, а t_2 – момент, соответствующий производству последнего экземпляра серии. Условно данная ситуация обозначена на рис. 1.4б показателем степени n, значение которого зависит от числа экземпляров в серии. Аналогичная ситуация имеет место и для этапа эксплуатации. Такое определение временного отрезка этапа ведет к пониманию того, что для серии этапы жизненного цикла взаимоувязаны в итерационный процесс, который принято называть модернизацией.

Проектные решения, реализованные на этапе производства, в процессе эксплуатации находят подтверждения степени их соответствия реальным характеристикам. При определенных отклонениях в установленном порядке (например, возврат эксплуатируемых автомобилей на завод-изготовитель) эти отклонения устраняются модернизацией текущих экземпляров данной серии. Модернизация обусловлена недостатками технологии производства или ошибками в отдельных проектных решениях. Она может быть связана также с улучшением характеристик технических средств управления деградационными процессами (см. рис. 1.4б).

Конкуренция и ряд других экономических и социальных факторов яв-

ляются причиной другого, более глубокого итерационного процесса. Его принято называть модификацией, и он является причиной появления новых видов технических систем. Очевидно, моменты t_1 для экземпляра, серии и вида совпадают. Длины временных отрезков этапов производства и эксплуатации у серии и вида различаются. На рис. 1.4в этот факт обозначен условно показателем степени m, где $m > n$. Значения m зависят от числа серий, числа экземпляров в каждой серии и других факторов.

Модификация обычно затрагивает важные конструкторские решения, но все-таки она не выходит за рамки существующего проекта. Она не имеет непосредственной обратной связи с этапом производства и может также охватывать технические средства управления деградационными процессами. Конечно, нельзя провести четких границ между модернизацией и модификацией, но очевидно, что итерационный возврат для модификации происходит на более ранние стадии проектирования и затрагивает более ранние стадии производства.

Объектное понятие типа технической системы рассмотрено прежде всего для того, чтобы при разработке архитектуры интегрированных систем обеспечения эксплуатационной надежности учитывать опыт проектирования, производства и эксплуатации однотипных технических систем.

Объектные понятия (экземпляр, серия, вид и др.) в конкретной корпоративной ситуации характеризуют один из важных показателей степени интегрированности системы обеспечения эксплуатационной надежности – списочный состав экземпляров в каждом классе объектов, а также распределение экземпляров в каждом классе по возрастным (деградационным) категориям.

Например, для односерийных и одновидовых экземпляров объекта архитектура системы обеспечения эксплуатационной надежности в отношении конструктивных особенностей практически будет неизменной, а в отношении текущих корпоративных особенностей может существенно варьировать.

Еще одна важная характеристика корпоративной ситуации – это состав бизнес-процессов. Она делит все технические системы предприятия на основные и обеспечивающие. Требования к уровню эксплуатационной надежности первых существенно выше, чем вторых.

Объектные понятия и корпоративная ситуация обусловливают важное положение для интегрированных систем обеспечения эксплуатационной надежности, заключающееся в том, что каждый экземпляр каждого класса объектов предприятия в этой системе – единица учета текущего уровня эксплуатационной надежности.

Архитектура интегрированной системы обеспечения эксплуатационной надежности

В настоящее время в связи с повсеместным внедрением современных информационных технологий наметилась тенденция существенного повышения культуры эксплуатации технических объектов. Это в полной мере касается систем обеспечения их эксплуатационной надежности.

В самом общем виде интегрированная система обеспечения эксплуатационной надежности технических объектов предприятия – это трехкомпонентный комплекс, включающий совокупность внешних и внутренних по отношению к данным объектам инструментальных программно-аппаратных средств, множество самих эксплуатируемых объектов, коллектив специалистов-исполнителей и их руководителей.

Компоненты комплекса объединены в автоматизированные информационные подсистемы, взаимодействующие между собой либо по принципу «точка - точка», либо через общее информационное пространство посредством интерфейсов единой интеграционной платформы.

Данный комплекс обеспечивает заданный уровень эксплуатационной надежности каждого объекта, установленный в нормативной документации, и его рекомендуется исследовать как с позиции информационной, так и с позиции ресурсной системы.

В плане развития систем обеспечения эксплуатационной надежности условно будем различать ряд исторических эпох, а именно: примитивную, индустриальную, информационную и интеграционную.

Примитивная эпоха характеризуется тем, что относительно простые технические объекты использует по назначению и поддерживает их техническое состояние один и тот же субъект деятельности без каких-либо специальных средств.

Последующие две эпохи связаны с усложнением технических систем, с появлением специальных средств для поддержания технического состояния на требуемом уровне, с развитием автоматизированных информационных и информационно-измерительных систем, с дифференсацией по объектам обслуживания и по субъектам деятельности. Например, в процессе эксплуатации сложных технических систем единственный субъект деятельности эволюционирует в следующую совокупность: субъект эксплуатационной деятельности (СЭД), субъект диагностической деятельности (СДД) и субъект обслуживающей деятельности (СОД).

Последней эпохе соответствуют интегрированные системы обеспечения эксплуатационной надежности – это текущее состояние, в котором инте-

грированы все эволюционные достижения информационно-измерительных, автоматизированных и интеллектуальных систем, включая диагностические экспертные системы (ДЭС), в рамках общего информационного пространства. Здесь, например, интеграция по субъектам деятельности предполагает наличие субъекта принимающего решения (СПР) – это руководители исполнителей других субъектов деятельности, принимающие ответственные решения.

Таким образом, архитектура интегрированных систем обеспечения эксплуатационной надежности варьирует в весьма широких границах, но базовый набор ее функциональных элементов достаточно стабильный и включает набор типовых блоков (рис. 2).

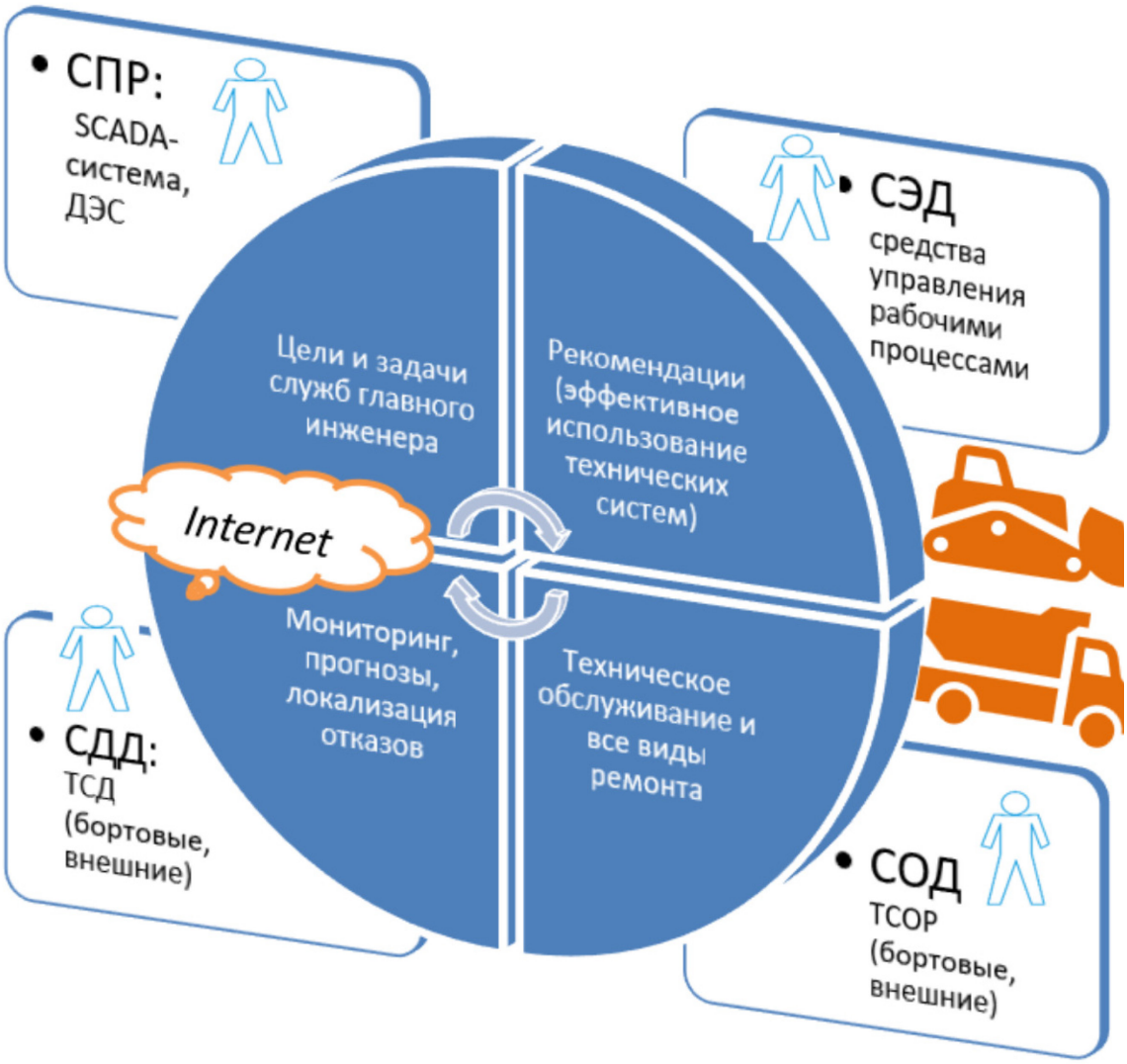

Рис. 2. Архитектура интегрированной системы обеспечения эксплуатационной надежности технологических объектов предприятия.

Объектные блоки – отдельные экземпляры, однородные или разнородные множества экземпляров, эксплуатируемых в составе основных и обеспечивающих бизнес-процессов.

Субъектные блоки – коллективы исполнителей и их руководители по четырем видам деятельности (СЭД, СДД, СОД, СРД).

Сегменты, фиксирующие интеграцию в отношении целей, методов и задач субъектов различных видов деятельности.

Встроенные (бортовые) и внешние технические средства диагностирования (ТСД), средства технического обслуживания и ремонта (ТСОР), а также средства управления эффективностью рабочих процессов технологического и обеспечивающего оборудования предприятия.

Интерфейсные и коммуникационные блоки, формирующие единое информационное пространство.

Различным вопросам разработки архитектуры систем обеспечения эксплуатационной надежности стало уделяться внимание достаточно давно. Так, в работе [7] уже использовались такие понятия как «архитектура подсистемы генерации методов диагностирования» и «архитектура базы знаний процедурного типа».

В частных корпоративных ситуациях набор элементов архитектуры модифицируется или расширяется. Например, в [6] архитектура системы управления производственными активами дополнительно к типовым стратегиям – управление по нормативной периодичности и управление по состоянию – обеспечивает возможность перехода к риск-ориентированной модели управления, включая аварийную стратегию. Более того, в [8] сформулирована идея об архитектуре с функционально неопределенной структурой и предложена ее реализация для системы обеспечения эксплуатационной надежности локальных вычислительных систем.

Использование интеллектуальных систем поддержки принятия решений в системах технического обслуживания – это уже обычная практика. Чаще всего она реализуется в виде диагностических экспертных систем и подразумевает наличие процесса формального представления знаний в области эксплуатации технических систем, конечной целью которого является концептуальная модель в типовой форме.

На рынке коммерческих информационно-интеграционных инструментальных средств для систем обеспечения эксплуатационной надежности на текущем этапе конкурируют в основном две русскоязычных платформы – это «Галактика *EAM*» и «*1C:RCM* Управление надежностью» [9, 10]. Сравнительный анализ этих платформ позволил сформулировать следующие утверждения.

Объектная ориентация обеих платформ однотипная – они предназначены для *СТО* технологического оборудования сравнительно крупных пред-

приятий различных отраслей.

Их целевое назначение также практически совпадает, и оно соответствует основному принципу *RCM*, а именно: сформировать и сопровождать оптимальную программу обслуживания и ремонта, обеспечивающую заданный уровень надежности технологического оборудования при минимальных эксплуатационных затратах.

Заключение

В данной работе предложен обобщенный вариант архитектуры интегрированной системы обеспечения эксплуатационной надежности. Акцентируется положение о том, что этот вариант является архитектурным сегментом архитектуры предприятия [11]. Он пересекается с другими сегментами, в частности с архитектурой корпоративной информационной системы, используя у последней программно-аппаратное обеспечение.

Диагностическая экспертная система как элемент архитектуры существенно расширяет возможности различных субъектов деятельности, в частности помогает субъекту диагностической деятельности обоснованно принимать решение о текущем техническом состоянии разнородного парка технологических и обеспечивающих объектов предприятия. Поэтому ее база знаний с необходимостью должна содержать знания о типовых алгоритмах диагностирования, включая такие, которые не требуют разрыва в объекте обратных связей [12].

Платформы «Галактика *EAM*» и «*1C:RCM* Управление надежностью» имеют весьма широкий функционал, который позволяет организовать и эффективно эксплуатировать СТО на основе современных информационных технологий для широкого класса технических систем.

В дальнейших исследованиях планируется систематизировать программно-аппаратные средства интерфейсных и коммуникационных элементов архитектуры СТО – таких, которые формируют единое информационное пространство предприятия.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Воронин В.В*. Технология управления системой технического обслуживания //Вестник Тихоокеанского государственного университета. – 2021. – №. 3. – С. 9-16.
2. *Бувалый Г.Е., Завершинский В.С.* Методы построения систем мониторинга и диагностики оборудования и средств автоматизации газовых промыслов с учетом требований нормативной документации ПАО «ГАЗПРОМ» // Газовая промышленность. – 2017. – № 3. – С. 85–91.
3. *Абрамов Н.С.* и др. Архитектура системы мониторинга и прогнозирования состояния

космического аппарата // Программные системы: теория и приложения. – 2015. – Т. 6, №. 2 (25). – С. 85-99.
4. *Мохов А. И.* и др. Методика оценки степени интеллектуальности технических и социотехнических систем // Миссия журнала. – 2019. – С. 24-33.
5. *Смирнов В. А.* Современный подход к совершенствованию технологических систем контроля и диагностирования сложных технических объектов //I-methods. – 2012. – Т. 4, №. 1. – С. 17-21.
6. Применение риск-ориентированного подхода при планировании производственных программ ПАО «РОССЕТИ». [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.ti-ees.ru/fileadmin/f/Conference/2018/present/02_Gvozdev_ D.B. _Prezentacija_Konferencija _EHS-2018.pdf. (Дата обращения: 23.02.2022).
7. *Микони С. В.* Общие диагностические базы знаний вычислительных систем. – СПб.: СПИИРАН. – 1992.
8. *Воронин В. В., Давыдов О. А*. Система мониторинга технического состояния локальной вычислительной сети //Электротехнические и информационные комплексы и системы. – 2014. – Т. 10, №. 1. – С. 73-77.
9. 1С:RCM Управление надежностью. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://solutions.1c.ru/catalog/eam-rcm. (Дата обращения: 12.01.2022).
10. Автоматизированное управление ремонтами оборудования, EAM, управление ТОиР. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://galaktika.ua/eam/category/ sistema. (Дата обращения: 23.01.2022).
11. *Зиндер Е. З.* Архитектурный подход на пространстве от политики и стратегии до тактики // Управленческий консультант. Настольная книга руководителя. – Киев: Изд-во «БУК». – 2005. – С. 44-71.
12. *Шалобанов С В., Шалобанов С.С.* Диагностирование непрерывных динамических систем с использованием смены позиции входного сигнала // Информатика и системы управления. – 2016. – №. 2. – С. 91-96.

Статья представлена к публикации членом редколлегии Чье Ен Уном.

E-mail:
Воронин Владимир Викторович - 004183@pnu.edu.ru