УДК 681.518.5

© 2021 г. **В.В. Воронин**, д-р техн. наук
(Тихоокеанский государственный университет, Хабаровск)

ДИАГНОСТИЧЕСКИЕ ПРИНЦИПЫ В СИСТЕМАХ ТЕХНИЧЕСКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ

Анализируются особенности треугольника взаимовлияния базовых диагностических принципов в зависимости от известных стратегий технического обслуживания и ремонта с учетом современных информационных технологий. Исследуются два варианта взаимодействия диагностического обеспечения объекта с его системой технического обслуживания. Рассматриваются различные аспекты отношений деградационного представления объекта диагностирования и существующих стратегий технического обслуживания и ремонта. Оцениваются функциональные возможности двух информационных платформ для организации систем технического обслуживания («Галактика *EAM*» и «*IC:RCM* Управление надежностью») в отношении диагностических задач.

Ключевые слова: объект диагностирования, треугольник взаимовлияния диагностических принципов, системные представления объекта диагностирования, система технического обслуживания, стратегии обслуживания, стратегии ремонта, экспертная диагностическая система.

DOI: 10.22250/isu.2021.70.67-80

Введение

В общем случае при разработке диагностического обеспечения субъект диагностической деятельности явно или не явно вынужден использовать три вида фундаментальных знаний, а именно: знания о возможных дефектах, знания о возможных диагностических проверках и знания о структурной организации объекта диагностирования (*ОД*). В статье [1] каждый вид этих знаний преобразован в теоретический принцип и проведено их регулярное исследование в форме анализа треугольника взаимовлияния базовых диагностических принципов.

В данной работе в рамках вышеуказанного треугольника, элементы которого характеризуются множеством возможных дефектов, диагностическими моделями ОД и его системой технического обслуживания (СТО), приводятся результаты исследования особенностей диагностического треугольника в зависимости от известных стратегий технического обслуживания с учетом современных информационных технологий.

Вопросам использования знаний о стратегиях обслуживания и влияния этих стратегий на особенности диагностических приложений уделяется достаточно большое внимание в современных публикациях. В большинстве этих публикаций акцент делается на обосновании сроков проведения обслуживания элементов технических систем, эксплуатируемых по фактическому техническому состоянию [2, 3]. При этом явно не затрагиваются вопросы взаимосвязи стратегий обслуживания и используемых технологий диагностирования. Более того, в статье [3] в рамках гибких стратегий обслуживания исследуется проблема оценки риска потери работоспособности технических систем, ресурсно-ограничивающие параметры состояния которых не контролируются в процессе эксплуатации.

Вопросам эффективности систем технического обслуживания, а также совершенствованию стратегий обслуживания на основе современных информационных технологий уделяется огромное внимание в различных отраслях отечественной экономики.

В работе [4] исследуется объективный процесс технической эксплуатации воздушных судов гражданской авиации. Для повышения эффективности и безопасности в данном процессе рекомендуется учитывать взаимосвязи организационной структуры СТО, особенности воздушных судов, технические средства диагностирования, исполнителей работ по техническому обслуживанию и ремонту и нормативную документацию. Однако в явном виде здесь не затрагиваются характеристики множества возможных дефектов и их влияние на перечень диагностических операций в различных эксплуатационных ситуациях.

Результаты исследования эффективности СТО существенно дифференцированы по классам объектов диагностирования. Так, в статье [5] обсуждается методология организации СТО распределительных электрических сетей и систем электроснабжения объектов нефтепромыслов. Эта методология обеспечивает оптимальные решения в соответствии со стратегией обслуживания «по техническому состоянию». Кроме того, здесь в неявном виде (через дефектные ведомости) учитываются особенности множества возможных дефектов и технические средства диагностирования, позволяющие

фиксировать каждый элемент этого множества.

В работе [6, 7] исследуется задача анализа ключевых дефектов локомотивов и объектов транспортной инфраструктуры в контексте организации технического обслуживания и ремонта при переходе от классической планово-предупредительной системы на обслуживание по фактическому техническому состоянию. При этом внедрение диагностического и специального оборудования в явном виде не связывается с множеством возможных дефектов. Однако обуславливается необходимость широкого использования современных информационных технологий и специализированных комплексов автоматизации.

В практико-ориентированных методах диагностирования механических трансмиссий энергетических, транспортных и технологических машин [8] предлагается также ориентироваться на силовые узлы, которые являются блоками, лимитирующими показатели надежности объекта в целом. Акцентируется тот факт, что диагностирование таких объектов актуально для стратегий технического обслуживания по наработке. При этом не оговариваются особенности множества возможных дефектов, а обосновывается только одна из возможных диагностических технологий – метод термометрического контроля подшипниковых узлов на примере шарниров карданных передач.

Для улучшения надежностных и экономических показателей функционирования СТО во многих работах предлагается проводить предупредительное техническое обслуживание. Данную технологию часто называют проактивной, или технологией обслуживания в зависимости от возраста [9 – 11]. Здесь предусматриваются предупреждающие меры обслуживания, исходя из статистических результатов отказов ресурсо-ограничивающих блоков. Эта технология обеспечит требуемый уровень эффективности, если она будет базироваться на треугольнике взаимоотношений базовых диагностических принципов.

Оценивая основные функциональные возможности СТО в сочетании с современными информационными технологиями, приведем пример [12] совершенствования организационно-технологического обеспечения системы технического обслуживания, в рамках которой в различной степени глубины учитываются все взаимоотношения треугольника базовых диагностических принципов. Здесь описываются также характеристики отечественного системного программного обеспечения, позволяющего создавать системы технического обслуживания на основе методологии *RCM*.

Говоря об эффективности систем технического обслуживания, нельзя не затронуть проблему отсутствия и необходимости создания соответствую-

ющей нормативной базы. В статье [13] рассматриваются вопросы организации работ по созданию нормативно-технической документации с использованием единой терминологии при построении систем технического обслуживания для основных объектов энергетики. В то же время автор работы [14] представляет и характеризует ряд действующих отраслевых документов (например, «Правила организации технического обслуживания и ремонта объектов электроэнергетики»).

Постановка задачи

В данной работе необходимо провести углубленные исследования двух взаимосвязанных частных случаев, вытекающих из треугольника взаимоотношений базовых диагностических принципов.

Первый – влияние множества возможных дефектов в ОД и существующей системе технического обслуживания с фиксированной стратегией обслуживания на формирование системных представлений ОД, на основе которых синтезируются алгоритмы диагностирования (рис. 1).

Второй – влияние множества возможных дефектов в ОД и сформированной диагностической модели (системные представления объекта диагностирования) на особенности проектируемой СТО, включая стратегию об-

Рис. 1. Влияние существующей MS на DM.

Рис. 2 Влияние DM на проектируемую MS.

служивания и необходимый для системы обслуживания набор технологических операций или технических средств диагностирования (рис. 2).

На рис. 1 и 2 приняты следующие обозначения: D – множество возможных дефектов ОД; DM – диагностические модели ОД (системные представления ОД); MS – система технического обслуживания; AD – алгоритмы диагностирования; TO – технологические операции.

Деградационное представление объекта диагностирования и стратегии его технического обслуживания

Проблема организации систем технического обслуживания сложных объектов в общем случае состоит в том, чтобы при известных показателях надежности этих объектов, заданном уровне полноты и достоверности результатов их диагностирования, с учетом возможного спектра функциональных нагрузок и условий эксплуатационной среды, а также подготовленности обслуживающего персонала, обеспечить в результате синтеза такую *СТО*, которая обеспечивала бы требуемые показатели эффективности использования объектов по назначению при фиксированных затратах. В частном случае можно требовать минимизацию затрат на техническое обслуживание при обеспечении заданного уровня эффективности использования объекта по назначению.

Таким образом, процесс обоснования стратегии технического обслуживания является существенно многофакторной задачей. Фундаментальной основой при этом является принцип соответствия [15], а именно: обеспечить соответствие основных показателей *СТО* характеру изменения технического состояния данного объекта.

В настоящее время известны две основные стратегии технического обслуживания и ремонта:

планово-предупредительная (стратегия по текущей наработке), в которой фиксированный перечень операций по техническому обслуживанию и ремонту назначается с заранее определенной периодичностью, не зависящей от текущего технического состояния объекта;

по текущему техническому состоянию, в которой по результатам постоянного мониторинга параметров ресурсно-ограничивающих блоков объекта периодически активизируется условный алгоритм диагностирования, назначающий перечень необходимых операций по техническому обслуживанию и ремонту.

В технической литературе анализируются и другие стратегии технического обслуживания, являющиеся комплексом или модификацией основных стратегий, приведенных выше (например, стратегия технического обслуживания с контролем уровня надежности, при которой объект эксплуатируется до безопасного отказа или до уровня надежности, выбранного по какому-либо критерию [16]).

Исходя из треугольника взаимоотношений базовых диагностических принципов, предлагается рассмотреть два подхода к организации *СТО*, каждому из которых соответствует свой путь в этом треугольнике:

$$D \rightarrow MS \rightarrow DM, \quad (1)$$

$$D \rightarrow DM \rightarrow MS. \quad (2)$$

Последовательность (1) характеризует ситуацию (см. рис. 1), в которой диагностическое обеспечение – диагностическая модель или системные представления ОД, с одной стороны, напрямую доминируется множеством возможных дефектов, а с другой, – опосредованно должно учитывать особенности уже существующей СТО («новый» технический объект вводится в эксплуатацию в рамках существующей СТО). Как следствие, сопровождающие ОД алгоритмы диагностирования подлежат модификации с учетом технологических возможностей СТО.

Последовательность (2) характеризует ситуацию (см. рис. 2), в которой организация (проектирование) системы технического обслуживания, с одной стороны, напрямую доминируется множеством возможных дефектов, а с другой – опосредованно должна учитывать особенности уже существующих системных представлений ОД (для эксплуатируемого объекта проектируется «новая» СТО). Как следствие, перечень технологических операций СТО должен обеспечивать возможность реализации всех алгоритмов диагностирования.

В диагностическом обеспечении ОД одна из пяти частей его комплексной диагностической модели – деградиционное представление объекта [17] – в практической реализации этого представления в рамках системы технического обслуживания представляет собой, по сути, действующий вариант стратегии технического обслуживания.

Проанализируем последнее утверждение в отношении основных стратегий технического обслуживания.

В планово-предупредительной системе на основании обобщенной по ансамблю ресурсной модели однотипных ОД строится глобальный план проведения технических воздействий в форме дискретизации временной эксплуатационной шкалы, на которой отмечаются особые отрезки, фиксирующие последовательность плановых технических воздействий. Каждому из этих отрезков ставятся в соответствие дата и перечень необходимых технологических операций.

Таким образом, производственный процесс в СТО с технологической точки зрения заключается в мониторинге текущего времени («возраста») каждого экземпляра ОД и принятии решения о проведении очередного технического воздействия в соответствии с ранее определенным глобальным планом.

Организация мониторинга в алгоритмическом отношении может быть

построена следующим образом. По значению входного мониторингового параметра T определяется его принадлежность к особому отрезку эксплуатационной шкалы. Если результат *true*, то далее загружается соответствующий план текущего технического воздействия.

При этом вычисление принадлежности к особому отрезку предлагается построить в следующей форме. Разобьем эксплуатационную шкалу $[t_{\min}, t_{\max}]$ на n отрезков, число которых определяется мониторинговой частотой (рис. 3). Зададим конечное множество $V = \{v_1, v_2, \dots, v_n\}$. Число n элементов этого множества определяется числом отрезков разбиения эксплуатационной шкалы, а значение каждого элемента v_i в простейшем случае можно преобразовать, используя равенство $v_i = i$.

Рис. 3. Дискретизация мониторинговых показателей.

Такое преобразование можно выполнить, вычисляя значение следующей функции

$$V = f(t) = \sum_{i=1}^n [i \mathbf{1}(t - t_{i-1}) - i \mathbf{1}(t - t_{i+1})], \quad (3)$$

где $\mathbf{1}(z)$ – единичная функция, такая, что при $z \leq 0$, $\mathbf{1}(z) = 0$, а при $z > 0$, $\mathbf{1}(z) = 1$; t_{i-1} , t_i – соответственно нижняя и верхняя границы i -го отрезка разбиения исходного интервала $[t_{\min}, t_{\max}]$ (см. рис. 3). Функция (3) равна номеру отрезка разбиения, если значение мониторингового параметра находится внутри этого отрезка. Таким образом, мониторинговый параметр принимает целые значения от 1 до n . Теперь, если в преобразованном V выделить подмножество V_0 особых номеров, а в технологии СТО контролировать равенство текущего значения i с одним из элементов V_0 , то тем самым определится текущее плановое техническое обслуживание.

В СТО, использующей стратегию обслуживания по текущему техническому состоянию, глобальный план проведения технических воздействий отсутствует. Однако при этом необходимо организовать постоянный мониторинг диагностических показателей (ДП) ресурсо-ограничивающих блоков объекта. Организация мониторинга каждого ДП может быть построена аналогичным образом, а именно: дискретизируется диапазон изменения ДП (см. рис. 3) и по выражению (3), в котором $t = x$, а x – переменная фиксированного ДП, определяется принадлежность текущего значения данного ДП к области его недопустимых значений.

Количество ресурсно-ограничивающих блоков в объекте и количество

в каждом из них мониторинговых показателей определяют сложность проблемы по организации рассматриваемой стратегии. Эта сложность имеет, в общем случае, тот же порядок или выше в сравнении со сложностью разработки эффективного глобального плана для планово-предупредительной стратегии обслуживания.

Поэтому утверждение, что для планово-предупредительной системы технического обслуживания характерно резкое увеличение материальных, временных и трудовых затрат на эксплуатацию сложных систем, как минимум, требует отдельного исследования и обоснования.

Очевидно, что планово-предупредительная система в организационном отношении существенно затратная на подготовительном этапе, а система обслуживания по состоянию – на этапе эксплуатации. Поэтому возможный вариант комплексирования данных систем – использовать планово-предупредительную систему, но в технологии обслуживания диагностировать ресурсно-ограничивающие параметры и на этой основе назначать перечень необходимых операций и их трудоемкости.

Модификация глобального алгоритма диагностирования

Существенные отличия планово-предупредительной системы от системы обслуживания по состоянию проявляются при организации и практической их эксплуатации в части *подсистем технического обслуживания*, которые предназначаются, в первую очередь для реализации технологии по предупреждению (профилактике) деградационных изменений технического состояния. Кроме этой подсистемы, каждая СТО по необходимости включает *подсистему неплановых ремонтов*, обеспечивающую реализацию технологических операций по восстановлению технического состояния объекта.

Каждая подсистема неплановых ремонтов имеет свои особенности в зависимости от принятой стратегии восстановления технического состояния объекта и практически не зависит от стратегии обслуживания. А возможные стратегии восстановления оказывают существенное влияние на треугольник взаимоотношений базовых диагностических принципов.

В перечень возможных стратегий ремонта обычно включают следующие стратегии: ремонт заменой на исправный агрегат либо блок или деталь, восстановление в процессе ремонта, регулировка компенсационного механизма, экспертиза технического объекта с отбраковкой и др. В последнем случае подсистема восстановления не изменяет технического состояния объекта, а допускает или не допускает его к использованию по назначению [18].

Наличие двух подсистем в СТО обусловлено необходимостью соче-

тать в себе плановые и случайные события в эксплуатационной практике, а именно: диагностирование и обслуживание внутри интервала дискретизации мониторинговых показателей – нештатная ситуация; диагностирование и обслуживание на плановой границе интервала дискретизации мониторинговых показателей – штатная ситуация.

Наборы технологических операций в подсистемах обслуживания и подсистемах ремонта пересекаются, но при этом одни и те же операции обычно имеют разную трудоемкость. Например, диагностические операции в подсистемах ремонта обычно сложнее этих операций в подсистемах обслуживания. Более того, при планово-предупредительной системе в работе [4] предлагается два различных графа для технологии обслуживания самолетов в штатных и нештатных ситуациях. Другими словами, в глобальном алгоритме функционирования диагностических экспертных систем, в общем случае рекомендуется применять коммутатор по подсистемам обслуживания и подсистемам ремонта.

Расширение множества возможных дефектов в процессе эксплуатации происходит главным образом внутри интервала дискретизации мониторинговых показателей (в нештатных ситуациях), и вновь включаемые элементы множества D носят, как правило, существенно случайный характер. Следовательно, множество возможных дефектов по своей природе является потенциально открытым. Потенциальная открытость обусловлена следующими факторами: особенностями производства каждого отдельного экземпляра ОД, неограниченностью по количеству действующих экземпляров ОД, широким диапазоном изменения показателей эксплуатационной среды, различным спектром функциональных нагрузок и др.

Если поток нештатных ситуаций достаточно интенсивный, то предлагается осуществлять разбиение множества D на однородные классы и для каждого класса применять наиболее предпочтительную стратегию обслуживания или ремонта. Как следствие, при таком подходе при формализации диагностических знаний следует строить коммутатор по стратегиям обслуживания или стратегиям ремонта.

Как результат данного раздела предлагается модифицировать обобщенный алгоритм диагностирования, на котором Π строить структурную основу диагностических экспертных систем [19], включив в него следующие опции:

- 1) коммутатор по подсистемам технического обслуживания и подсистемам ремонта, процесс функционирования которого рекомендуется строить на основе деградиационного представления ОД;

2) коммутатор по стратегиям обслуживания и стратегиям ремонта в каждой из подсистем СТО (см. п. 1), обеспечивая тем самым переменную глубину поиска в конкретной диагностической ситуации;

3) подчиненный каждой стратегии обслуживания или ремонта коммутатор по системным представлениям, вследствие рекомендации п. 1, следует модифицировать, исключив из него ветвь деградиационного представления.

Предлагаемые изменения в глобальном алгоритме функционирования диагностической экспертной системы дадут возможность в каждой конкретной диагностической ситуации применять только необходимый и достаточный набор диагностических проверок, улучшая при этом эффективность системы диагностирования.

Коммерческое информационное обеспечение СТО

В настоящее время в связи с повсеместным внедрением современных информационных технологий наметилась тенденция повышения культуры эксплуатации и дисциплины технического обслуживания.

Это справедливо и в отношении диагностических задач. Появилась реальная возможность использования *on-line* технологий для управления техническим состоянием индивидуального экземпляра объекта диагностирования. В технической диагностике такие технологии принято называть мониторингом технического состояния. Обычно под мониторингом технического состояния понимают процесс, направленный на определение текущей возможности использования объекта по назначению без необходимости вывода его из эксплуатационного режима или специального обследования.

На рынке коммерческого информационного обеспечения для систем технического обслуживания на текущем этапе конкурируют в основном две русскоязычных платформы – это «Галактика *EAM*» и «*IC:RCM* Управление надежностью» [20, 21].

Сравнительный анализ этих платформ позволил сформулировать следующие утверждения.

Объектная ориентация обеих платформ однотипная – они предназначены для СТО технологического оборудования сравнительно крупных предприятий 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.

Одним из основных понятий в технической диагностике является понятие дефекта. Дефект, как недопустимое отклонение от нормы, имеющее пространственную и временную определенность, в процессе эксплуатации проявляется с различной степенью негативности (неисправность, отказ, повреждение, авария и др.) и характеризуется своими прямыми или косвенными диагностическими показателями.

В платформе «Галактика ЕАМ» представлены три взаимосвязанные опции – это *Журнал технических состояний*, *Журнал дефектов* и *Журнал наработки*, которые оперируют с понятием дефекта. При этом нет четкого различия между понятиями технического состояния, дефекта, физического и морального износа. Степени проявления дефектов явно не фиксируются, диагностические показатели в системе не используются. Множество возможных дефектов подменяется множеством дефектов, выявленных эксплуатационным персоналом.

В рамках платформы «*IC:RCM Управление надежностью*» понятие дефекта не используется, а оно и степени его проявления подменяется термином «отказ». Здесь определяются виды отказов и вероятности их возникновения, дается описание возможных последствий отказов, задаются показатели их критичности, а также рассчитываются параметры надежности различных видов объектов технологического оборудования.

В целом анализируемые системы позволяют сформировать достаточно представительное множество дефектов, данные по технологии обслуживания и ремонта, оптимальному времени реагирования ремонтных подразделений на различные типы дефектов и необходимым затратам на устранение дефектов этих типов, а также получить статистику «межаварийной» наработки и оценку последствий отказов различных видов обслуживаемого технологического оборудования.

В отношении комплексной (пять системных представлений) диагностической модели, предназначенной для синтеза алгоритмов диагностирования, характеризуемые платформы имеют широкий диапазон возможностей, но для использования этих возможностей необходима неоднородная интерфейсная адаптация каждого системного представления.

В частности, иерархическое представление ОД относительно просто может быть синтезировано с помощью естественной иерархии технологического оборудования на платформе «*IC:RCM Управление надежностью*»:

Система → *Функциональное место* → *Объект* → *Компоненты*;
аналогично на платформе «Галактика ЕАМ»:

Система → *Техническое место* → *Единица оборудования* → *Узел* → *Запчасть*.

Деградационное представление ОД на платформе «Галактика *EAM*» можно реализовать различными способами, комплектуя различные варианты следующих опций: картотека объектов ремонта, журнал технических состояний, журнал наработки, акты на передачу объектов в ремонт, дефектные ведомости, журнал простоев, акты аварий. Платформа «*IC:RCM* Управление надежностью» таких возможностей не имеет, но здесь реализованы такие опции как подсистема построения моделей надежности и многофакторный анализ рисков.

Возможность реализации остальных системных представлений ОД (внешнего, функционального и конструктивного) средствами анализируемых платформ затруднена.

Данные платформы позволяют организовать и эффективно эксплуатировать СТО на основе современных информационных технологий для большого класса сложных технических систем. Они имеют весьма широкий функционал, но он явно недостаточен для решения всех проблем технической диагностики, хотя определенная часть информационного обеспечения этих платформ может быть успешно использована в виде базы данных диагностических экспертных систем.

Однако, весь спектр существующих и широко используемых стратегий обслуживания и стратегий ремонта может быть реализован средствами обеих платформ в полном объеме в виде сформированной программы технических обслуживаний и ремонтов, передаваемой на исполнение в систему технического обслуживания.

Заключение

Диагностическая экспертная система – это инструмент, который помогает субъекту диагностической деятельности обоснованно принять решение о текущем техническом состоянии ОД. Поэтому база знаний экспертной системы с необходимостью должна содержать знания об используемых стратегиях технического обслуживания и ремонта.

Предложенное в данной статье утверждение, что множество возможных дефектов по своей природе является потенциально открытым, позволяет по аналогии сформулировать суждение о существовании в диагностических приложениях актуально закрытых множествах дефектов, в частности к таким множествам априори относится фиксированное множество модельных дефектов [22].

Основной вывод данной работы можно сформулировать следующим образом – каждая диагностическая задача должна рассматриваться в контек-

сте треугольника взаимовлияния базовых диагностических принципов, иначе она в значительной степени теряет свою прагматическую ценность.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Воронин В.В.* Взаимоотношения базовых принципов в технической диагностике // Вестник ТОГУ. – 2020. – № 3. – С. 17-24.
2. *Литвинова Н.Б., Тулицин Ю.Е., Шишкин Е.В.* Методика определения сроков проведения технического обслуживания оборудования технических систем специальных объектов при использовании гибких стратегий // Труды Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского. – 2020. – №675. – С. 317-323.
3. *Абрамов О.В.* Оценка техногенного риска неконтролируемых систем // Труды Международного симпозиума "Надежность и качество". – 2018. – № 1. – С. 5-7.
4. *Далецкий С.В., Далецкий С.С.* Графические модели процесса технической эксплуатации воздушных судов // Научный вестник Московского государственного технического университета гражданской авиации. – 2017. – Т. 20, № 1. – С. 36-44.
5. *Левин В.М., Гужов Н.П., Черненко Н.А., Яхья А.А.* Методология управления ремонтами оборудования в электрических сетях нефтепромыслов // Научный вестник Новосибирского государственного технического университета. – 2020. – № 2-3 (79). – С. 139-155.
6. *Пузина Е.Ю., Туйгунова А.Г., Худогов И.А.* Экономическая целесообразность системы многоканального мониторинга силовых маслонаполненных трансформаторов тяговых подстанций // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. – 2020. – № 2 (66). – С. 83-92.
7. *Давыдов Ю.А., Пляскин А.К., Кушнирук А.С.* Контроль фактического и технического состояния локомотивов на основе диагностики // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. – 2018. – № 3 (59). – С. 38-47.
8. *Пастухов А.Г., Тимашов Е.П.* Технология термометрического неразрушающего контроля агрегатов механических трансмиссий // Агроинженерия. – 2020. – № 2 (96). – С. 33-39.
9. *Сидоренков Н.В., Мартынов Б.Г., Тарабан М.В.* Обоснование проактивной стратегии профилактики гидроманипуляторов // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. – 2018. – № 224. – С. 247-255.
10. *Песчанский А.И.* Стационарные характеристики ненадежной системы с ветвящейся структурой и учетом технического обслуживания ее элементов // Инфокоммуникационные технологии. – 2019. – Т. 17, № 1. – С. 41-49.
11. *Шефер В.Э., Ядровская Н.В., Брыт А.В.* Модели оценки целесообразности и рациональной периодичности технического обслуживания и ремонта вооружения и военной техники // Наука и военная безопасность. – 2019. – № 4 (19). – С. 51-56.
12. *Измайлов М.К.* Стратегия предупреждения поломки основных средств предприятия на основе автоматизации процесса управления ими // Beneficium. – 2020. – № 3 (36). – С. 4-11.
13. *Панкин А.М., Коровкин Н.В.* Алгоритмы систем диагностирования новых энергетических объектов // Научно-технические ведомости Санкт-Петербургского государственного политехнического университета. – 2016. – № 4 (254). – С. 98-105.

14. *Гребчак Е.П.* Оценка технического состояния энергетического оборудования в условиях цифровой экономики // Надежность и безопасность энергетики. – 2017. – № 10 (4). – С. 268-274.
15. *Воронин В.В.* Система технического обслуживания в концептуальной модели технических объектов // Информатика и системы управления. – 2017. – №3. – С. 67-74.
16. *Григорьев С.Ю., Лебедев В.В., Казьменко А.В., Митрофанова С.В.* Прогнозирование технического состояния объекта с учетом стратегии технического обслуживания при эксплуатации сложных технических систем с периодическим контролем // Воздушно-космические силы. Теория и практика. – 2018. – № 8. – С. 108-118.
17. *Воронин В.В.* Деградационное представление объекта диагностирования в концептуальной модели // Информатика и системы управления. – 2019. – № 2. – С. 77-86.
18. *Добролюбов И.П.* Влияние измерительной экспертной системы на эффективность использования технических объектов // Вестник Новосибирского государственного аграрного университета. – 2010. – № 1 (13). – С. 44-49.
19. *Воронин В.В.* Информационное обеспечение процессов диагностирования в системах технического обслуживания // Вестник ТОГУ. – 2018. – № 2 (49). – С. 35-44.
20. 1С:RCM Управление надежностью. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://solutions.1c.ru/catalog/eam-rcm>. (Дата обращения: 23.09.2021).
21. Автоматизированное управление ремонтами оборудования, ЕАМ, управление ТОиР. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://galaktika.ua/eam/category/sistema>. (Дата обращения: 23.09.2021).
22. *Шалобанов С.В., Шалобанов С.С.* Алгоритм поиска дефектов в системах автоматического управления на основе пробных отклонений параметров и анализа знаков интегральных оценок сигналов // Информатика и системы управления. – 2018. – № 4. – С. 104-111.

Статья представлена к публикации членом редколлегии Чье Ен Уном.

E-mail:

Воронин Владимир Викторович – 004183@pnu.edu.ru.