i-methods

том 12. № 3. 2020
http://intech-spb.com/i-methods/

ВОЕННЫЕ НАУКИ

Автоматизированное управление стратегиями обслуживания технических средств службы горючего

Багаев Леонид Александрович,
начальник отдела 25-го Государственного научно-исследовательского института химмотологии Министерства обороны Российской Федерации,
г. Москва, Россия, gosniihim@mil.ru

Ерёмин Владимир Николаевич,
к.т.н., снс, старший научный сотрудник 25-го Государственного научно-исследовательского института химмотологии Министерства обороны Российской Федерации,
г. Москва, Россия, gosniihim@mil.ru

Инютин Сергей Арнольдович,
д.т.н., профессор, ведущий научный сотрудник 25-го Государственного научно-исследовательского института химмотологии Министерства обороны Российской Федерации,
г. Москва, Россия, inyutin_sa@mail.ru

АННОТАЦИЯ

Первичным процессом в деятельности службы горючего является - поставка, учет, распределение и заправка горюче-смазочными материалами технических средств специальной и военной техники. Вторичным процессом является техническое обслуживание специального оборудования первичного процесса. Анализируется модель автоматизированной системы управления, основной задачей которой является оптимальное управление вторичным процессом. Поставлена проблема оптимального управления стратегией и режимами вторичного процесса, что влияет на управление детерминированными и вероятностными компонентами первичного процесса. Средства управления реляционной базой данных позволяют работать с первой компонентой. Для управления вероятностной компонентой используются модели Марковских дискретных процессов. Под управлением режимами технического обслуживания технических средств понимается последовательность вывода оборудования первичного процесса из состояния номинальной эксплуатации на диагностику и профилактический ремонт, а также временные параметры и затраты ресурсов для процедур технического обслуживания оборудования первичного процесса, подлежащего регламентному техническому обслуживанию или на основе выявленных неисправностей. Разработанные организационно-технические решения позволяют достичь необходимых временных параметров вторичного процесса и нормативной эффективности, что обеспечивает достаточный уровень функциональной надёжности первичного процесса.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: сложный объект; первичный и вторичный процессы; модель системы управления; детерминированный и вероятностный процессы; интегральный показатель эффективности; функциональная надежность; целевая функция.

Введение

В деятельности Службы горючего Вооруженных Сил выделим два процесса. Первичный процесс – снабжение, учёт, распределение, доставка и заправка горюче-смазочными материалами военной техники, что обеспечивает её полноценное функционирование в различные периоды. Это базовый процесс. Вторичный процесс обеспечивает диагностику, техническое обслуживание и ремонт технических средств поддержки первичного процесса. Он является вспомогательным. Этими двумя процессами необходимо эффективно и оперативно управлять. Рассмотрим взаимосвязи показателей первичного и вторичного процессов.

Проблема управление процедурами технического обслуживания

Результаты исследований показывают, что суммарная трудоемкость ремонтно-профилактических работ при техническом обслуживании средств первичного процесса распределяется следующим образом: 15–25% — составляют обязательные регламентные работы определенной номенклатуры, 8–12% — диагностика технических средств, 65–75% — устранение выявленных неисправностей, текущий ремонт специального оборудования. Причём, проявляется явная тенденция — по мере совершенствования методов и средств диагностирования, сокращается объем обязательных регламентных работ и обслуживание выполняется в основном по выявленным дефектам оборудования первичного процесса[1] [1]. Представляет интерес анализ влияния вторичного процесса на эффективность первичного.

Управление любой сложной технической системой имеет целью нахождение оптимальных режимов её работы. Для формирования многокритериальной задачи условной оптимизации необходимо решить следующие проблемы: определить общие границы оптимизируемого процесса; выбрать количественные показатели, которые необходимо оптимизировать и установить ограничения, если таковые имеются; выбрать внутрисистемные переменные и критерии, которые используются для определения оптимального решения; построить модели, отражающей взаимосвязи между переменными; выбрать методы и процедуры оптимизации[2,3].

Не углубляясь в детали первичного процесса можно утверждать, что целью вторичного процесса является минимизация времени простоя оборудования первичного процесса при соблюдении определенной экономичности его процедур.

Традиционные виды технического обслуживания разделим на три группы работ:

– контрольно-диагностические или тестовые процедуры, выполняемые по графику или по наличию отказов оборудования;

– текущее регламентное обслуживание, выполняемое по графику;

– текущий ремонт по выявленным неисправностям и для модернизации оборудования.

Из классификации видно, что при техническом обслуживании специального оборудования первичного процесса возникают два типа событий — детерминированные (регламентные) и случайные. Для управления событиями первого типа создаётся распределённая реляционная база данных, её основное назначение программное отслеживание событий, происходящих

---

[1]Атовмян И.О. , Вайрадян А.С. , Руднев Ю.П. и др. Надежность автоматизированных систем управления: Учеб. пособие для вузов по спец. «АСУ» / Под ред. Я.А. Хетагурова. М.: Высшая школа, 1979. 287 с.

[2]Гнеденко Б.В. Введение в теорию массового обслуживания. М.: Наука, 2001. 239 с.

[3]Воронов А.А. Элементы теории автоматического управления. М.: Воениздат, 1954. 472 с.

по регламенту (графику) или по выработке фиксированного нормативного ресурса (например, в мотто-часах, километрах). На каждый образец специального оборудования для первичного процесса заполняются для мониторинга и учета плановых технических обслуживаний входные бумажные и экранные формы, ориентированные на применение вычислительных систем. Отдельные единицы агрегируются в блоковые и многоканальные ансамбли однотипного оборудования, что позволяет выделить комплексы оборудования, необходимые для достижения заданных целей первичного процесса. В учётных формах реляционной базы данных, относящихся к единице оборудования, относящиеся к первичному процессу, включаются следующие таблицы со структурированной информацией:

– регистрационно-учётные данные оборудования;
– регистрационно-технические данные;
– планово- регламентная информация;
– история мониторинга технических параметров;
– данные текущего мониторинга технических параметров;
– прогнозные значения технических параметров.

Для управления событиями второго типа, т.е. случайным потоком заявок на обслуживание и процессом обслуживаний разработаны стохастические модели, по которым выполняются расчеты[4] [2].

Для выполнения вышеуказанного необходимо рассмотреть рабочий механизм и процедуры оптимизации режимов технического обслуживания.

Сформулируем ряд опорных утверждений и введем следующие понятия. Будем различать стратегии технического обслуживания, так техническое обслуживание может выполняться по результатам диагностирования состояния оборудования первичного процесса, по нормативному времени, по фактической наработке или выработки нормативного ресурса, например, учитываемого в моточасах или километрах пробега.

Процедуры технического обслуживания требуют затраты временных, материальных и финансовых ресурсов. На затратах отражается степень износа оборудования основного процесса. Вектор d_{ij} с тремя компонентами отражает затраты на i-техническое обслуживание j–оборудования первичного процесса:

$$d_i = k_{ij} (t_i, m_i, f_i),$$

где k_{ij} — коэффициент, учитывающий степень износа j-оборудования первичного процесса;

t_i — время, затрачиваемое на процедуры i-техническое обслуживание;

m_i — суммарные материальные затраты на i-техническое обслуживание;

f_i — финансовые затраты на i-техническое обслуживание.

Под режимами технического обслуживания технических средств будем понимать последовательность вывода оборудования первичного процесса из состояния номинальной эксплуатации на диагностику и профилактический ремонт, а также временные параметры

[4]Богуславский Л.Б., Дрожжинов В. И. Основы построения вычислительных сетей для автоматизированных систем управления. М.: Энергоатомиздат, 1990. 253 с.

и затраты ресурсов для процедур технического обслуживания выбранного оборудования первичного процесса.

При расчете временных затрат на техническое обслуживание необходимо учитывать многоканальность и возможность параллельного выполнения процедур технического обслуживания для разных образцов технологического оборудования первичного процесса [3, 4].

В первом приближении, учитывая дублирование, будем считать оборудование вторичного процесса не меняющим своих свойств, т.е. работоспособном в течение всего жизненного цикла [4, 5].

Коэффициенты, учитывающие степень износа образцов оборудования первичного процесса вычисляются на основе данных о предыдущих ремонтах, накапливаемых в базе данных, а также методом экспертных оценок.

Накопленный опыт исследований в области управления на основе применения различных стратегий и режимов технического обслуживания показывает, что идея определения оптимальных вариантов техническое обслуживания состоит в следующем[5] [6]. Существующий процесс технического обслуживания оборудования первичного процесса (эксплуатации объекта), основанный на применении стратегии обслуживания по наработке и выбранных режимов, принимается в качестве исходного. В качестве целевой функции, подлежащей минимизации, выбрано время технического обслуживания, на которое выводится из эксплуатации оборудование первичного процесса. Суммарное время в этом случае в некотором смысле определяет качество исходной стратегии. Затем рассматриваются варианты применения стратегий и режимов обслуживания, учитывающие техническое состояние образцов оборудования, и находится новое значение целевой функции. Если окажется, что оно меньше, чем у исходной стратегии, то можно утверждать, что вторая стратегия технического обслуживания предпочтительней первой. Далее, используя полученную стратегию в качестве исходной, определяется новая стратегия и варьируются режимы обслуживания, более полно или полностью учитывающая технические состояния объектов. Если эта стратегия технического обслуживания будет предпочтительнее второй, то из трех рассмотренных стратегий и режимов обслуживания найдена условно оптимальная. Такой эвристический процесс позволяет получить упорядоченную последовательность стратегий и соответствующих режимов, в которой одна окажется предпочтительнее других [7, 8].

Во второй и третьей стратегиях технического обслуживания в свою очередь выделяют следующие виды:

– без учета технического состояния систем и агрегатов;
– с учетом технического состояния систем и агрегатов;
– с учетом технического состояния базовых деталей агрегатов.

Информация о техническом состоянии образцов оборудования первичного процесса накапливается в соответствующих таблицах реляционной базы данных на магнитных носителях.

Образцы оборудование первичного процесса могут находиться в следующих состояниях:

– номинальной эксплуатации;

---

[5] *Гнеденко Б.В.* Курс теории вероятностей: учебник. 8-е изд., испр. и доп. М.: Едиториал УРСС, 2005. 448 с.

– диагностики в процессе эксплуатации;
– автономной диагностики;
– обнаружение неисправности, прекращение эксплуатации и ожидание ремонта;
– текущий ремонт;
– послеремонтной диагностики.

Рассмотрим совместно механизмы управления процессами эксплуатации и технического обслуживания оборудования. В качестве расчетной модели целесообразно использовать марковский процесс, описания переходов между состояниями образцов первичного процесса

Управление вложенной марковской цепью возможно через матрицы вероятностей управляемых и неуправляемых переходов между состояниями:

$$P = \left\| p_{ij} \right\|, \qquad \overline{P} = \left\| \overline{p}_{ij} \right\|,$$

где P, $\overline{P}$ — соответственно неуправляемая и управляемая матрицы переходных вероятностей.

Фактически из переходных вероятностей следуют, прежде всего, оптимальные частоты выполнения диагностических процедур в режимах «on-line» или «off-line» и последующих связанные с этим процедуры технического обслуживания. Управляя вторичным процессом, меняя частоту применение диагностических процедур и тем самым меняя переходные вероятности можно фактически управлять первичным процессом[6] [9].

Анализ содержания работ по техническому обслуживанию и ремонту технических средств, показывает возможность их разделения на постоянную и переменную составляющие. К постоянной составляющей относится совокупность работ, объем которых не зависит от технического состояния (диагностирование, смазка, заправка и т.п.) к переменной составляющей относятся работы, объем которых зависит от технического состояния объектов (регулировочные, профилактическая замена элементов и т.п.).

Работы первой группы сохраняют постоянные характеристики (продолжительность, трудоемкость, стоимость), а работы второй группы имеют различные характеристики, зависящие от объема и глубины диагностирования, что требует разные объёмы реализаций стратегии обслуживания по состоянию объекта.

Для уменьшения количества сравниваемых вариантов в задаче оптимизации режимов технического обслуживания следует заранее исключить неприемлемые варианты. Анализ методов формирования режимов техническое обслуживание показал, что наиболее приемлемыми являются методы, основанные на анализе конструктивно-эксплуатационных свойств элементов объекта.

К основным конструктивно-эксплуатационным свойствам, отражающим приспособленность элементов объекта к различным стратегиям и режимам технического обслуживания, относятся:

– структурно-следственные связи отказов элементов и их влияние на работоспособность объекта;

---

[6]Шандров Б.В., Чудаков А.Д. Технические средства автоматизации: учебник для студентов вузов. М.: Издательский центр «Академия», 2007. 368с.

– характер возникновения отказов (постепенные и внезапные) и изменения показателей безотказности (интенсивности отказов) от наработки;

– уровень эксплуатационной технологичности, ремонтопригодности и контролепригодности элементов объекта, затраты на техническое обслуживание и ремонт, разработку и внедрение различных стратегий технического обслуживания.

Остановимся более подробно на формировании вариантов режимов техническое обслуживание технических средств, для которых накоплен определенный опыт эксплуатации.

На первом этапе на основе изучения и анализа исходного процесса технической эксплуатации, эксплуатационной и ремонтной документации строится структурно-следственная модель объекта обслуживания, ранжируются его элементы (агрегаты, узлы, системы) и выполняемые виды работ техническое обслуживание и ремонта по их влиянию на показатели безотказности, эффективности использования, трудоемкости и стоимости техническое обслуживание и ремонта. При этом выделяются доминирующие элементы объекта и виды работ, которые оказывают наибольшее влияние на показатели эффективности процесс технической эксплуатации машин.

На основе анализа и оценки конструктивно-эксплуатационных свойств, для выделенных элементов можно рекомендовать ту или иную стратегию обслуживания или же их совокупность. В конечном итоге для каждого конкретного образца можно путем перебора всех возможных сочетаний стратегий сформировать некоторое множество вариантов режимов техническое обслуживание первого уровня.

Во всех вариантах каждому элементу (операции) будет однозначно соответствовать одна стратегия обслуживания. Каждый сформированный вариант первого уровня будет иметь установленные входные переменные и служить базой формирования подмножества вариантов режимов техническое обслуживание второго уровня.

Отбор вариантов на втором уровне выполняется с использованием технико-экономических показателей. На третьем уровне ищется оптимальный вариант режимов техническое обслуживание применительно к заданным условиям эксплуатации.

Структура проводимых исследований по оптимизации режимов техническое обслуживание представлена в виде блок-схемы, изображенной на рис. 1.

С учетом вышеизложенного, возможны варианты постановки задачи оптимизации процесса технического обслуживания, с выводом оборудования из эксплуатации, с использованием ранее выбранных критериев. При применении однокритериального метода оптимизации в зависимости от решаемой задачи возникает ряд вариантов.

Введем, опираясь на существующие стандарты, следующие коэффициенты, характеризующие состояние готовности оборудования первичного процесса[7,8].

Коэффициент готовности есть вероятность того, что объект окажется в работоспособном состоянии в произвольный момент времени, кроме планируемых периодов, в течение которых применение объекта по назначению не предусматривается.

---

[7]Гнеденко Б.В. Введение в теорию массового обслуживания. М.: Наука, 2001. 239 с.

[8]Деменков Н.П. Программные средства оптимизации настройки системы управления: учебное пособие. М.: Изд-во МГТУ им Н.Э. Баумана, 2006. 244 с.

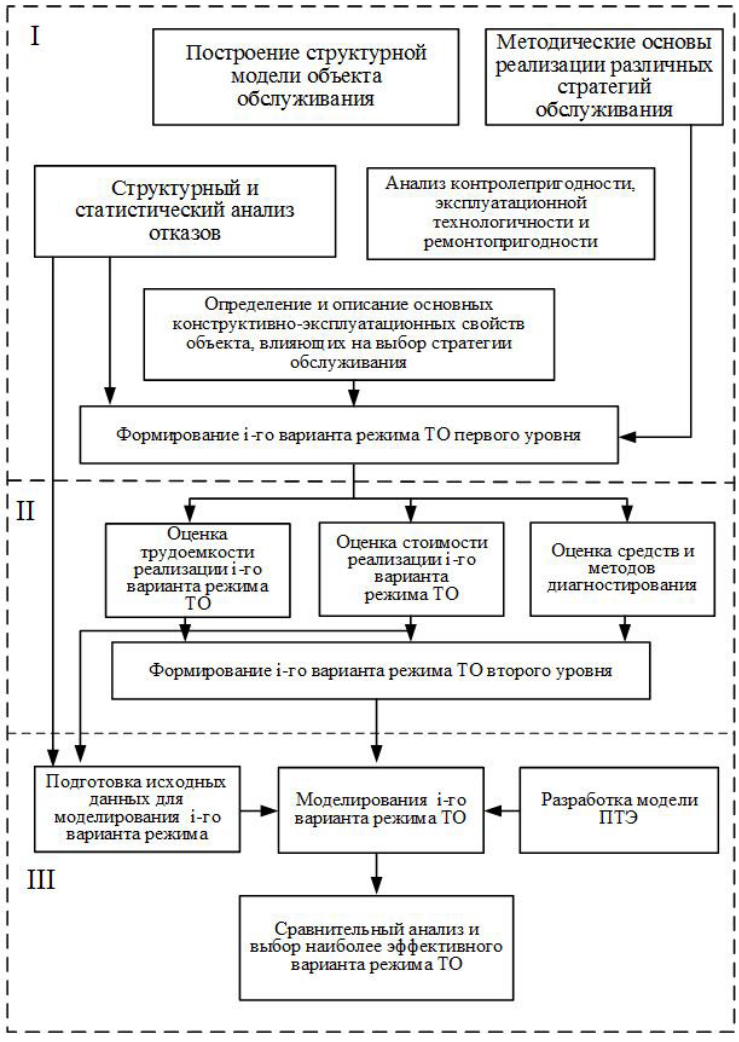

Рис 1. Схема процесса оптимизации режимов технического обслуживания

$$K_g = \frac{T_o}{T_o + T_b},$$

где T_o — средняя наработка на отказ;
$T_в$ — среднее время восстановления объекта.

Коэффициент оперативной готовности есть вероятность того, что объект окажется в работоспособном состоянии в произвольный момент времени, кроме планируемых периодов, в течение которых применение объекта по назначению не предусматривается и, начиная с этого момента, будет работать безотказно в течение заданного интервала времени:

$$K_g = K_g p(t),$$

где $p(t)$ — вероятность безотказной работы объекта в течение заданного интервала времени.

Коэффициент технической готовности есть отношение количества работоспособных объектов к их списочному количеству:

$$K_{tg} = \frac{N_u}{N_{cn}},$$

где N_u — число исправных образцов оборудования в момент контроля;
N_{cn} — списочное число образцов оборудования.

Заключение

В современных условиях требуется экономное расходование финансов, выделяемых для Вооруженных Сил. Ввиду трудностей с определением и прогнозированием стоимостных затрат, подверженных быстрому изменению во времени (инфляции), в качестве целевой функции целесообразно использовать коэффициент возможного технического использования специального оборудования, а на остальные показатели наложить ограничения.

В качестве первого варианта можно предложить вести минимизацию финансовых затрат на номинальную эксплуатацию технических средств службы горючего при обеспечении нормативного уровня готовности и ограничениях на удельные трудозатраты на техническое обслуживание и текущий ремонт и коэффициент технического использования.

Выбор в качестве целевой функции коэффициента технического использования требует учета времени ожидания технического обслуживания и ремонта, а также простоев в ремонте из-за отсутствия запасных частей, нерациональной организации работ, занятости рабочих постов, нехватки необходимого оборудования и инструмента.

Целесообразнее вести оптимизацию с опорой на коэффициент возможного использования, который предполагает, что такие потери отсутствуют. Можно при формировании целевой функции опираться на удельные трудозатраты на техническое обслуживание и ремонт, но в этом случае не будет учитываться технологическая последовательность выполнения работ и количество работающих специалистов. Это влияет на продолжительность нахождения технических средств первичного процесса в обслуживании и ремонте, но практически не влияет на трудозатраты на выполнение работ.

Сформулированные задачи поиска условного однокритериального оптимума решается стандартным методом математического программирования.

Процесс оптимизации только по одному из критериев не обеспечивает нахождения наиболее оптимального варианта, так как улучшение одних показателей влечет за собой ухудшение других. Поэтому для более точной оценки может быть рекомендована совокупность эвристических методов.

Литература

1. *Инютин С. А.* Метод оценки параметров в системе управления специальной аппаратурой // T-comm: Телекоммуникация и транспорт. 2015. № 1. С. 75–78.

2. *Инютин С. А.* Концептуальная модель системы автоматизированного управления обслуживанием технических средств заправки топливом // Сб. докладов научно-технической конф. «Теоретические и прикладные проблемы развития и совершенствования АСУ специального назначения» (Москва, 30 октября 2018 г.). Москва, 2018. С. 17–21.

3. *Dubois D.* Fuzz sets and systems: Theory and applications // Mathematics in Sciences and Engineering. 1980. Vol. 144. No. 7. Pp. 345–352.

4. *Пирогов Ю. Н.* Математическое моделирование процессов функционирования объектов и технических средств обеспечения горючим. М.: Неография, 2016. 228 с.

5. *Инютин С. А.* Метод целевого изменения параметров системы управления специальной аппаратурой // Сб. докладов III Всероссийской научно-технической конф. «Теоретические и прикладные проблемы развития и совершенствования АСУ военного назначения» (Санкт-Петербург, 22 ноября 2017 г.). СПб.: Изд-во ВКА им. А. Ф. Можайского, 2017. С. 314–318.

6. *Дрейпер Н., Смит Г.* Прикладной регрессионный анализ. 3-е изд.: пер. с англ. М.: Вильямс, 2007. 912 с.

7. *Федоров Ю. Н.* Порядок создания, модернизации и сопровождения АСУТП. М.: Инфра-Инженерия, 2011. 576 с.

8. *Fox M.* AIP and expert system // IEEE Expert. 2009. No. 2. Pp. 8–20.

9. *Самойлова Е. М.* Информационная интеграция интеллектуального мониторинга технологических систем на уровне АСУТП // ИТпортал. 2017. № 2(14). URL: http://ITportal.ru/science/tech/informatsionnaya-integratsiya-intel/ (дата обращения 20.10.2019).

AUTOMATED CONTROL STRATEGIESMAINTENANCE OF TECHNICAL MEANS OF FUEL SERVICE

LEONID A. BAGAEV,
Head of Department of 25 state research Institute of the Ministry of Defense of Russia, Moscow, Russia, gosniihim@mil.ru

VLADIMIR N. EREMIN,
PhD., Docent, Senior Research Officer of 25 state research Institute of the Ministry of Defense of Russia, Moscow, Russia, gosniihim@mil.ru

SERGEY A. INYUTIN,
PhD, Full professor, Leading Research Officer of 25 state research Institute of the Ministry of Defense of Russia, Moscow, Russia, inyutin_sa@mail.ru

ABSTRACT

The primary process in the activities of the fuel service is the supply, accounting, distribution and refueling of technical means of special and military equipment with fuel and lubricants. The secondary process is the maintenance of the special equipment of the primary process. The model of an automated control system is analyzed, the main task of which is optimal control of the secondary process. The problem of optimal control of the strategy and modes of the secondary process is posed, which affects the control of the deterministic and probabilistic components of the primary process. Relational database management tools allow you to work with the first component. Models of Markov discrete processes are used to control the probabilistic component. The management of maintenance modes of technical

means is understood as the sequence of withdrawal of the primary process equipment from the state of nominal operation for diagnostics and preventive maintenance, as well as the time parameters and resource costs for maintenance procedures for the primary process equipment subject to routine maintenance or based on identified faults. The developed organizational and technical solutions allow achieving the required time parameters of the secondary process and regulatory efficiency, which ensures a sufficient level of functional reliability of the primary process.

Keywords: complex object; primary and secondary processes control system model; deterministic and probabilistic processes; integral efficiency index; functional reliability; objective function.

REFERENCES

1. Inyutin S. A. The integral indicator – criterion for enterprise resource control system at the complexity object. *T-Comm.* 2015. No.1. Pp. 75–78. (In Rus)
2. Inyutin S. A. *Konceptual'naya model' sistemy avtomatizirovannogo upravleniya obsluzhivaniem tekhnicheskih sredstv zapravki toplivom* [Conceptual model of the automated control system for servicing technical means of refueling]. *Sbornik dokladov nauchno-tekhnicheskoj konferencii "Teoreticheskie i prikladnye problemy razvitiya i sovershenstvovaniya ASU special'nogo naznacheniya"* [Proc. of the scientific and technical conference "Theoretical and applied problems of development and improvement of special-purpose automated control systems", Moscow, October 30, 2018]. Moscow, 2018. Pp. 17–21. (In Rus)
3. Dubois D. Fuzz sets and systems: Theory and applications. *Mathematics in Sciences and Engineering*. 1980. Vol. 144. No. 7. Pp. 345–352.
4. Pirogov YU.N. *Matematicheskoe modelirovanie processov funkcionirovaniya ob"ektov i tekhnicheskih sredstv obespecheniya goryuchim*. [Mathematical modeling of the processes of functioning of objects and technical means of providing fuel]. Moscow: Neografiya, 2016. 228 p. (In Rus)
5. Inyutin S. A. Metod celevogo izmeneniya parametrov sistemy upravleniya special'noj apparaturoj [Method of targeted change of parameters of the control system for special equipment]. *Sbornik dokladov III Vserossijskoj nauchno-tekhnicheskoj konferencii "Teoretich. i prikl. probl. razvitiya i soversh. ASU voennogo naznacheniya"* [Proc. of the scientific and technical conference " Theoretical and applied problems of development and improvement of military automated control systems", St. Petersburg, 22 November 2017]. St. Petersburg: Mozhaisky Military Space Academy Publ., 2017. Pp. 314–318. (In Rus)
6. Draper N. R. Smith H. *Applied Regression Analysis*. 3rd Edition. New York etc.: John Wiley & sons, Inc., 1998. 736 p.
7. Fedorov Y. N. *Poryadok sozdaniya, modernizacii i soprovozhdeniya ASUTP* [The order of creation, modernization and maintenance of the process control system]. Moscow: Infra-Inzheneriya, 2011. 576 p. (In Rus)
8. Fox M. AIP and expert system. *IEEE Expert*. 2009. No. 2. Pp.8–20.
9. Samoylova E. M. Information integration intelligent monitoring of technological systems at the level of APCS. *ITportal*. 2017. No. 2(14). URL: https://itportal.ru/science/tech/informatsionnaya-integ. (In Rus)