

УДК 621.6

© С. Н. Панов, канд. воен. наук, доцент  
(Санкт-Петербургский государственный  
архитектурно-строительный университет)  
*E-mail: panovsn-73@mail.ru*  
© Д. М. Цимберов, канд. воен. наук, доцент,  
начальник кафедры (Пермский военный институт  
войск национальной гвардии)  
*E-mail: katana6@narod.ru*

DOI 10.23968/1999-5571-2017-14-4-230-238  
© S. N. Panov, PhD in Sci. Mil., Associate Professor  
(Saint Petersburg State University of Architecture  
and Civil Engineering)  
*E-mail: panovsn-73@mail.ru*  
© D. M. Tsimberov, PhD in Sci. Mil., Associate Professor,  
Department Head  
(Perm Military Institute of National Guard Troops)  
*E-mail: katana6@narod.ru*

## АНАЛИЗ ПРОБЛЕМ В СИСТЕМЕ ТЕХНИЧЕСКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ И РЕМОНТА В ТРУБОПРОВОДНОМ ТРАНСПОРТЕ (на примере газотурбинных газоперекачивающих агрегатов)

### ANALYSIS OF PROBLEMS IN THE SYSTEM OF TECHNICAL SERVICE AND REPAIR IN THE PIPELINE TRANSPORT (on the example of gas-turbine gas-compressor units)

На современном этапе строительства трубопроводов, предназначенных для транзита газа, возникает острая необходимость интенсификации эксплуатации магистральных газоперекачивающих агрегатов. Исследовано современное состояние системы технического обслуживания и ремонта газотурбинных газоперекачивающих агрегатов, освещены проблемы повышения эффективности эксплуатации турбоагрегатов, сделана попытка математической постановки проблемы.

**Ключевые слова:** управление, газотурбинные газоперекачивающие агрегаты, объем технического обслуживания и ремонта.

At the modern stage of building of pipelines intended for gas transit, there arises an urgent necessity of intensifying the exploitation of main gas-compressor units' operation. The article presents the results of research of the current state of the technical service and repair system of gas-turbine gas-compressor units and highlights the tasks of increasing the efficiency of gas units' operation. There has been made an attempt to set the problem in the mathematical language.

**Keywords:** management, gas-turbine gas-compressor units, technical service and repair volume.

В настоящее время интенсивно идет строительство газопроводов на фоне ужесточения экономических санкций против Российской Федерации очень остро стоит вопрос импортозамещения. В связи с этим на первый план выходит комплекс проблем, связанных с техническим сервисом зданий, сооружений, оборудования. Как правило, трубопроводы проходят по местности со сложными природно-климатическими условиями, что на производителя работ и оборудования налагает особую ответственность.

На всех этапах применения газотурбинных газоперекачивающих агрегатов (ГГПА) в узлах происходят изменения, вызванные механическим износом и (или) расходом эксплуатацион-

ных материалов, неправильной эксплуатацией.

Для поддержания ГГПА в исправном состоянии организуются и проводятся мероприятия по их техническому обслуживанию и ремонту в соответствии с нормативной документацией [1].

По российскому законодательству [2] одним из основных показателей эксплуатационной технологичности и эксплуатации ГГПА является коэффициент оперативной готовности.

В системе ОАО «Газпром» [1] он принят не менее 0,98 при средней наработке на отказ не менее 3500 ч, среднем ресурсе агрегата не менее 25 тыс. ч.

В соответствии с современными требованиями изготовитель должен указывать ресурсы для

узлов, деталей, покрытий, а также периодичность выполнения ТОиР и их зависимость от режимов работы и видов топлива [97].

ОАО «Газпром» совместно с изготовителями создана система мониторинга технического состояния. В идеале мониторинг должен производиться непрерывно, с современными методами обработки информации и прогноза, возможностью диагностики вероятных отказов.

Карта газопроводов ОАО «Газпром» представлена на рисунке. На всей территории использования системы транспорта газа в газопроводах и газохранилищах теплоэнергетической отрасли российской промышленности массово применяются турбоагрегаты. В настоящее время с перемещением полей добычи газа на северные территории, в пустынную местность на первый план ставится задача создать условия стабильной работы ГГПА. Сложность транспортировки, значительная удаленность от производства и линейных производственных управлений магистральных трубопроводов (ЛУМГ) требует как от производителя, так и от заказчика серьезной проработки технического соглашения между поставщиком и потребителем [28].

Анализ практического применения ГГПА показывает, что основу этих соглашений со-

ставляет планово-предупредительная система технического обслуживания и ремонта. И на первый план выходит ТОиР с периодическим контролем, предполагающие контроль технического состояния с установленными в технической документации объемом и сроками, а объем остальных операций определяется состоянием агрегатов при оперативной технической диагностике [28]. Такой вид ТОиР обусловлен опытом эксплуатации ГГПА. Так, например, компрессор типа 295ГЦ-2 предполагает проведение ближайшего ТО и Р через 12 000 ч наработки [3], однако практический опыт показывает, что зачастую аварийные остановы происходят гораздо раньше — спустя 1000–2000 ч наработки, причем такое случается и на оборудовании иностранных фирм. Существует система автоматического управления ГГПА, в функции которой входят: проверка защит маслосистемы, проверка силового блока, комплексная проверка кранов, холодная прокрутка, промывка, пуск на кольцо, пуск в магистраль, останов. Согласно нормативной документации ООО «Газпром» [4] необходимы телекоммуникационные системы, которые должны контролировать основные параметры газа, но чаще всё ограничивается контролем давления газа и температур на входе и выходе.



Трубопроводный транспорт РФ (газовая составляющая). Источник: <http://www.eegas.com>

## Анализ научных трудов в области исследования

Направления	Авторы	Научные и практические приложения	Повышение показателей системы управления ТП ГОиР на всех стадиях жизненного цикла изделия
Конструкторское	Волчевич И. Л.	Методы предварительной селекции номенклатуры деталей, планирующихся к изготовлению на производственном технологическом комплексе из станков с ЧПУ [6]	Выявлены закономерности формирования решений, связанных с выбором оборудования для проектируемого технологического комплекса из станков с числовым программным управлением с учетом фактической работоспособности оборудования и других факторов производства [6]
	Шипаков Н. А.	Значительно повышена достоверность определения механических напряжений в основном металле магистральных трубопроводов акустическим методом [7]	Разработана методика, позволяющая повысить качество диагностики трубопроводов [7]
	Шайхутдинов А. З.	Разработан системный подход к проектированию нагнетательной ГППА линейных компрессорных станций [8]	Спроектированы ступени сжатия с повышенными значениями КПД для нагнетателей нового поколения ГППА [8]
Технологическое	Кожуховская Л. Я.	Научно обоснована единая научно-методическая база повышения эффективности многономенклатурного производства [9]	Произведена критериальная оценка выбора структур технологических процессов на основе теории принятия решений [9]
	Микаэлян Э. А.	Методика определения характеристик и технического состояния ГППА на базе упрощенной термодинамической модели [10–12]	Разработан комплекс мероприятий по совершенствованию эксплуатационной пригодности, повышению качества, обеспечению надежности ГППА [10–12]
	Белобородов С. М.	Методы подготовки, осуществления и коррекции результатов сборки [13]	Адаптационная сборка роторов и валопроводов [13]
	Непомилуев В. В.	Методы оптимизации относительного положения деталей роторов при сборке [14]	Технологические основы сборки газотурбинных двигателей в условиях производства, обеспечивающие полное использование информационного ресурса [14]
Автоматизация управления, информационные технологии	Долгий И. Д.	Разработан новый класс интеллектуальных гибридных моделей поддержки процессов логистического контроля [15]	Предложена новая технология создания систем первичного сбора информации [15]
	Мещеряков С. В.	Разработана концепция создания информационной модели для задач технического обслуживания объектов производства, которая является обобщением и дополнением уже существующих моделей [16]	Предложена новая формализованная методика проектирования информационно-управляющих моделей производственных объектов любой степени сложности для решения задачи обслуживания всего парка технологического оборудования [16]
	Тимофеев П. А.	Сформированы научно-методические основы формирования организационных структур в системе поддержки управленческой деятельности на макроуровне [17]	Решена задача построения системы оперативной поддержки управленческих решений как тактического, так и стратегического характера [17]
	Бобырь М. В.	Создана математическая модель процессов контроля и адаптивного управления технологическими процессами [18]	Комплекс алгоритмов управления конкретными технологическими процессами с учетом базы данных. Используется только на производстве [18]
	Сергин М. Ю.	Методы и алгоритмы выбора оптимальных структур систем управления ТП [19]	Комплекс математических описаний и алгоритмов решений задач по построению системы управления ТП в условиях производства [19]

Направления	Авторы	Научные и практические приложения	Повышение показателей системы управления ГП ТОиР на всех стадиях жизненного цикла изделий
Организационно-технологическое и организационно-экономическое	Виноградов Г. П.	Концепция решения проблемы построения модели принятия индивидуальных решений [20]	Разработано программное обеспечение, позволяющее учитывать при принятии решения субъективность оценки ситуации, особенности химического производства в условиях неопределенности [20]
Эксплуатационное	Квашнин Б. С. Мамонтов В. А. Богачев А. В. Варнаков Д. В. Асоян А. Р. Евдокимов В. Г. Кудашев Э. Р.	Концепция обеспечения показателей качества безопасности технических средств хранения нефтепродуктов при эксплуатации [21] Созданы научные основы восстановления работоспособности главных передач при ремонте [22] Методология расчетно-экспериментального подхода к диагностированию остаточного ресурса оборудования [23] Метод оптимального выбора объектов технического сервиса (механизация сельского хозяйства) [24] Методология повышения долговечности автомобильных двигателей [25]  Создана теория и методы синтеза мониторинга безопасности авиационных систем, а также построения рациональных структур авиационных систем [26] Научно обоснованы принципы и предложены методы качественного анализа работоспособности ГПА, позволяющие воздействовать на характеристики последних при отсутствии точных данных о количественных значимых параметров отдельных компонентов [27]	Комплекс технических устройств и подходов к эксплуатации технических средств, используемых в нефтепродуктообеспечении в условиях рисков [21] Методика прогнозирования остаточной долговечности судовых валов [22] Алгоритмы оценки остаточного ресурса по различным механизмам повреждения с использованием нормативных методов (блочные энергетические установки) [23] Система оперативного контроля параметрической надежности автотранспортных средств [24] Разработаны методология и комплекс измерительных средств для оценки показателей технического состояния основных элементов двигателей внутреннего сгорания и оборудование для их восстановления [25] Создана структура адаптивного управления процессом обесцвечивания безопасности, учитывающей изменение функциональных свойств авиационной системы и факторов риска [26] Создана унифицированная методика математического моделирования идентификации технического состояния газового тракта центробежного нагнетателя по термогазодинамическим параметрам [27]

Однако проводятся работы по совершенствованию такой системы.

Организация ТОиР с периодическим контролем заключается, прежде всего, в устраниении и (или) предотвращении производственного брака, возникающего на всех доэксплуатационных этапах жизненного цикла изделия.

Для сужения предмета исследования были проанализированы работы последних 20 лет с целью определения проблем в системе ТОиР ГГПА (см. таблицу).

Оперативную готовность объекта значительно повысит анализ технологической службой возможности возникновения дефекта. Существует множество разрозненных баз данных о таких дефектах ГГПА, над этим успешно работают научные подразделения ОАО «Газпром», НПО «Сатурн» (г. Ярославль), Уральский государственный технический университет — УПИ (Екатеринбург), Казанский государственный технологический университет, НПО «Искра» (г. Пермь), ПАО «Сумское НПО им. Фрунзе», Brüel & Kjaer Vibro и др. Такие базы данных, как правило, отражают изменения в технических условиях узлов, которые часто плохо проклассифицированы и неудобны в использовании или нет конкретного блока таких технических условий. Таким образом, эти системы отвечают требованиям отдельных тактических потребностей. Чтобы не потерять значимую информацию и избежать лишней информации, создаются системы параметрической диагностики. ООО «Турбоконтроль» — крупнейший производитель таких систем [29]. Разработанный этой фирмой модуль является стационарной системой, состоящей из блока получения информации от штатных датчиков и блока отображения информации с сервером и автоматическими рабочими местами. Разработано специализированное программное обеспечение.

Подобные системы разработаны и за пределами России [30].

SKF (СКФ) (Швеция) создала концепцию поддержки жизненного цикла изделий. Она позволяет интенсифицировать процесс технического обслуживания, оперативно изменять конструкцию, понизить себестоимость. Созданная система технического обслуживания благодаря удаленному мониторингу через интернет ана-

лизирует параметры, и специалисты компании принимают решение о необходимости ТОиР.

Brüel & Kjaer Vibro GmbH (Германия, Дания). Концепция, разработанная фирмой, заключается в мониторинге безопасности путем диагностики параметров и устранения критических сбоев; мониторинга состояния агрегатов; философия производства направлена на уважение к клиентам и бережное отношение к ресурсам за счет максимальной экономической отдачи промышленного агрегата с учетом ресурса узлов и плановой их замены.

Siemens (Германия) создает широкий спектр оборудования системы «машина – человек». Создана система совместимого общего управления данными, позволяющая интегрировать продукты, созданные фирмой, в единый процесс. Аппаратура позволяет работать в сложных климатических условиях.

Metrix (США) создала систему Setpoint, представляющую собой многоканальную систему, которая измеряет параметры вибрации (вибrouскорение, виброскорость и виброперемещение).

Основные европейские фирмы интегрированы между собой и производят совместимое оборудование. Так, Servomex (Великобритания) производит анализаторы процессов, происходящих в промышленных агрегатах, вся продукция имеет комплексные решения обеспечения сервисного обслуживания; Bühler Technologies GmbH (Германия) производит специальное оборудование: пробоотборные фильтры, зонды, компрессоры.

Одними из ведущих организаций, работающих в области предмета исследования, являются Харбинский институт котлов и турбин (КНР), Харбинский технологический институт (КНР). Ведется работа над комплексными системами управления, включающими комплектующие из России и Европы.

Анализ возможностей существующих подходов и оборудования говорит о том, что необходимо создавать из традиционных систем управления комплексы, позволяющие опираться на все многообразие продукции, существующей в мире.

В результате проведения исследований в системе ТОиР ГГПА можно говорить о совокупности объема монтажных работ  $V_p^k$ , объема пуско-

наладочных работ  $V_n^k$  и объема других работ по обеспечению бесперебойной эксплуатации  $V_3^k$ .

Целевая функция решения проблемы интенсификации ТО и Р ГГПА будет следующая:

$$\mathcal{E}(x) = f(V_p^k + V_n^k + V_3^k) \rightarrow \min, \quad (1)$$

тогда условия технологического равновесия будут иметь вид:

$$(V_{wi}^k + V_{cl}^k = V_{si}^k + V_{wi}^{k+1}) \quad (2)$$

при ограничениях:  $V_p^k \geq 0, V_n^k \geq 0, V_3^k \geq 0$ ,

$$V_i^k = (V_p^k + V_n^k + V_3^k), \quad (3)$$

$$V_i^k \notin \Phi, \quad (4)$$

где  $\Phi$  — область факторов, не влияющих значительно на ТОиР ГГПА;  $V_{wi}^k$  — объем ТОиР на начало месяца;  $V_{cl}^k$  — объем ТОиР, появляющийся в течение месяца;  $V_{si}^k$  — объем проведенного ТОиР;  $k$  — месяц проведения ТОиР;  $i$  — конкретный технологический процесс.

Таким образом, основные проблемы выходов из строя (аварийных остановок) ГГПА связаны с тем, что информация (или частота получения информации), получаемая технологической службой непосредственно с мест эксплуатации, недостаточна. Также на ряде ГГПА технические показатели, и особенно показатели виброустойчивости, значительно превышают требуемые в соответствии с технической документацией, и выход из строя агрегатов происходит намного раньше сроков, предполагаемых заводом-изготовителем.

Создавшаяся технико-управленческая ситуация требует разработки новых подходов в управлении ТОиР ГГПА. Возникает необходимость интеграции всех субъектов отношений в области разработки, эксплуатации, модернизации и утилизации ГГПА для обеспечения эффективности ТОиР ГГПА с целью обеспечения устойчивости процессов ТОиР. По этой причине необходимо создать методический аппарат, позволяющий вырабатывать аналитические частные решения, которые могут быть использованы должностными лицами в местах непосредственной эксплуатации ГГПА.

Современная наука не располагает достаточной базой знаний о системе, методах и моделях прогнозирования технического состояния ГГПА, а, с другой стороны, потребность в поставке ГГПА в регионы с различными климатическими условиями и возможностями местной промышленной базы возрастает.

Дальнейшая интенсификация технологических процессов ТОиР требует формирования технологического и информационного обеспечения ТОиР, в которое должен войти методический инструментарий, с помощью которого можно было бы осуществить прогноз на этапе поставки ГГПА по существующим техническим условиям, техническим возможностям потребителя, обосновать затраты на ТОиР конкретного агрегата.

## Библиографический список

1. СТО Газпром 2-3.5-138-2007. Стандарт организации. Документы нормативные для проектирования, строительства и эксплуатации объектов ОАО «Газпром». Типовые технические требования к газотурбинным ГПА и их системам (утв. Распоряжением ОАО «Газпром» от 8 июня 2007 г. № 151).
2. ГОСТ Р 52527-2006 (ИСО 3977-9:1999). Установки газотурбинные. Надежность, готовность, эксплуатационная технологичность и безопасность. М.: Стандартинформ, 2006. 223 с.
3. Микаэлян Э. А. Обследование оборудования газонефтетранспортных систем // Тяжелое машиностроение. 2014. № 4–5. С. 32–38.
4. ВРД 39-1.10-069-2002. Положение по технической эксплуатации газораспределительных станций магистральных трубопроводов. М.: ОАО «Газпром», 2002. 68 с.
5. Кузнецов П. М., Схиртладзе А. Г. Автоматизация производственных процессов в машиностроении. М.: Высшая школа, 2004. 415 с.
6. Volchkevich I. Estimation of the industrial uncertainty factors on selecting equipment configuration for designing machinery manufacturing production facilities // Advanced composite materials and technologies for aerospace applications: Proceedings of the first international workshop. Wrexham, 2011. Pp. 89–95.
7. Щипаков Н. А. Применение электромагнитно-акустического способа возбуждения ультразвука для контроля механических напряжений // Сварка и диагностика. 2010. № 4. С. 55–56.
8. Шайхутдинов А. З. Повышение энергетических показателей проточных частей нагнетателей газопрекачивающих агрегатов, применяемых на предприятиях ОАО «Газпром»: дис. ... канд. техн. наук. Казань, 2000. 223 с.
9. Кожуховская Л. Я. Обеспечение эффективности многономенклатурного производства на основе ситуационного управления формированием структур технологических процессов: дис. ... д-ра техн. наук. Саратов, 2003. 436 с.

10. Микаэлян Э. А. Техническое обслуживание и диагностика состояния энерготехнологического оборудования // Промышленный сервис. 2010. № 4. С. 14–18.
11. Микаэлян Э. А. Совершенствование эксплуатационной пригодности газоперекачивающих агрегатов // Управление качеством в нефтегазовом комплексе. 2010. Т. 3. С. 31–34.
12. Микаэлян Э. А. Определение характеристик и технического состояния газотурбинных газоперекачивающих агрегатов компрессорных станций // Технологии нефти и газа. 2009. № 3. С. 51–57.
13. Белобородов С. М. Методология обеспечения динамической устойчивости валопроводов высокоскоростных газотурбинных агрегатов на основе адаптационной сборки роторов: дис. ... д-ра техн. наук. Пермь, 2011. 163 с.
14. Непомилуев В. В. Разработка технологических основ обеспечения качества сборки высокоточных узлов газотурбинных двигателей: дис. ... д-ра техн. наук. Рыбинск, 2000. 138 с.
15. Долгий И. Д. Теоретические основы, методы и средства разработки интегрированных систем диспетчерского управления на базе интеллектуальных технологий: дис. ... д-ра техн. наук. Ростов н/Д, 2011. 280 с.
16. Мецеряков С. В. Методы эффективной организации баз данных и их приложений в промышленных системах: дис. ... д-ра техн. наук. СПб., 2012. 295 с.
17. Тимофеев П. Л. Моделирование бизнес-процессов и автоматизация формирования организационных структур в системе поддержки управленческой деятельности промышленных объединений: дис. ... д-ра техн. наук. М., 2012. 270 с.
18. Бобырь М. В. Методы, модели и алгоритмы создания автоматизированных систем контроля и управления для повышения эффективности механической обработки изделий: дис. ... д-ра техн. наук. Ростов н/Д, 2012. 335 с.
19. Сергин М. Ю. Принципы, методы и алгоритмы построения систем управления технологическими процессами со структурной неопределенностью: дис. ... д-ра техн. наук. Тамбов, 2004. 305 с.
20. Виноградов Г. П. Индивидуальное принятие решений: поведение целеустремленного агента. Тверь: ТГТУ, 2011. 163 с.
21. Поляков А. С., Квашнин Б. С., Климантов А. А. Концептуальные основы оптимизации надежности резервуаров для нефтепродуктов с учетом требований промышленной безопасности // Проблемы управления рисками в техносфере. 2008. Т. 6. № 2. С. 11–15.
22. Мамонтов В. А., Синельщикова О. Н. Методика оценки долговечности коленчатого вала судового ДВС по реальному профилю микронеровностей его поверхности // Вестник Астрахан. гос. техн. ун-та. 2008. № 5 (46). С. 50–53.
23. Богачев А. В. Методология контроля остаточного ресурса оборудования и трубопроводов реакторных установок ВВЭР с использованием автоматизированной системы: дис. ... д-ра техн. наук. Поздольск, 2012. 280 с.
24. Варнаков Д. В. Использование диагностических параметров при оценке и прогнозировании параметрической надежности двигателей автотранспортных средств. Ульяновск: УлГУ, 2013. 124 с.
25. Асоян А. Р., Юдин В. М., Денисов А. С. Теоретические предпосылки изменения технического состояния шатунов автотракторных двигателей в процессе эксплуатации // Вестник Саратовск. гос. техн. ун-та. 2008. № 3. Вып. 2. С. 47–54.
26. Евдокимов В. Г. Мониторинг и обеспечение безопасности полетов с учетом изменения свойств и факторов риска сложных технических систем (авиационных систем): дис. ... д-ра техн. наук. М., 2013. 326 с.
27. Кудашев Э. Р. Автоматизация процессов комплексного управления техническим содержанием инфраструктуры железнодорожного транспорта: дис. ... канд. техн. наук. Тюмень, 2005. 220 с.
28. Цимберов В. М. Информационная модель диагностирования газотурбинных газоперекачивающих агрегатов // Транспортное дело России. 2014. № 4. С. 52–53.
29. Стребков А., Басманов М., Меньшиков С., Морозов И. Система параметрической диагностики газоперекачивающих агрегатов // Деловая Россия: промышленность, транспорт, социальная жизнь. 2011. № 7. С. 42–43.
30. Рекламно-информационные материалы: SKF (СКФ) (Швеция) ([www.skf.com](http://www.skf.com)); Vibro-Meter ([www.vibro-meter.com](http://www.vibro-meter.com)); Manner sensor telemetrie ([www.sensortelemetrie.de](http://www.sensortelemetrie.de)); SPM Instrument ([www.spminstrument.com](http://www.spminstrument.com)); Metrix (США) ([www.metrix1.ru](http://www.metrix1.ru)); Metallscan ([www.metalscan.fr](http://www.metalscan.fr)); Bentley Nevada (США) ([www.bentley-nevada.com](http://www.bentley-nevada.com)); Armatury Group, ООО «Сименс» ([www.siemens.com](http://www.siemens.com)); Brüel & Kjaer Sound & Vibration Measurements (Дания) ([www.bkvibro.com](http://www.bkvibro.com)); PCB Piezotronics Inc. (США) ([wwwpcb.com](http://wwwpcb.com)); Weidmuller ([www.weidmuller.com](http://www.weidmuller.com)); ENEFTECH Innovation SA (Франция).

## References

1. STO Gazprom 2-3.5-138-2007. Standart organizatsii. Dokumenty normativnye dlya proektirovaniya, stroitel'stva i eksploatatsii ob'ektov OAO "Gazprom". Tipovye tekhnicheskie trebovaniya k gazoturbinnym GPA i ikh

sistemam (utv. Rasporyazheniem OAO «Gazprom» ot 8 iyunya 2007 g. no. 151). [STO Gazprom 2-3.5-138-2007. Standard of the organization. Normative documents for design, construction and maintenance of objects of JSC Gazprom. Standard technical requirements to gas-turbine GPA and their systems (enforced by the Instruction of JSC Gazprom, June 8, 2007 no. 151)].

2. GOST R 52527-2006 (ISO 3977-9:1999). Ustanovki gazoturbinnye. Nadezhnost', gotovnost', ehkspluatatsionnaya tekhnologichnost' i bezopasnost' [GOST P 52527-2006 (ISO 3977-9:1999). Gas-turbine installations. Reliability, readiness, operational technological effectiveness and safety]. Moscow, Standartinform Publ., 2006, 223 p.

3. Mikaelyan Eh. A. Obsledovanie oborudovaniya gazoneftetransportnykh system [Survey of the equipment of gas and oil transport systems]. Tyazheloe mashinostroenie – Heavy mechanical engineering, 2014, no. 4–5, pp. 32–38.

4. VRD 39-1.10-069-2002. Polozhenie po tekhnicheskoy ehkspluatatsii gazoraspredelitel'nykh stantsiy magistral'nykh truboprovodov [VRD 39-1.10-069-2002. Situation on technical maintenance of gas distribution stations of trunk pipelines]. Moscow, Gazprom Publ., 2002, 68 p.

5. Kuznetsov P. M., Skhirtladze A. G. Avtomatizatsiya proizvodstvennykh protsessov v mashinostroenii [Automation of production processes in mechanical engineering]. Moscow, Vysshaya shkola Publ., 2004, 415 p.

6. Volchkevich I. Estimation of the industrial uncertainty factors on selecting equipment configuration for designing machinery manufacturing production facilities. Proc. of the I Int. workshop “Advanced composite materials and technologies for aerospace applications”. Wrexham Publ., 2011, pp. 89–95.

7. Shchipakov N. A. Primenenie elektromagnitno-akusticheskogo sposoba vozbuždeniya ul'trazvuka dlya kontrolya mekhanicheskikh napryazheniy [Application of the electromagnetic and acoustic method of excitation of ultrasound for monitoring of mechanical stresses]. Svarka i diagnostika – Welding and diagnostics, 2010, no. 4, pp. 55–56.

8. Shaykhutdinov A. Z. Povyshenie ehnergeticheskikh pokazateley protochnykh chastej nagнетateley gazoperekachivayushchikh agregatov, primenyemiyh na predpriyatiyakh OAO «Gazprom». Diss. kand. tekhn. nauk [Increasing energetic indices of flowing parts of superchargers of the gas-distributing aggregates used at the enterprises of JSC Gazprom. PhD in Sci. Tech. diss.]. Kazan, 2000, 223 p.

9. Kozhukhovskaya L. Ya. Obespechenie effektivnosti mnogonomenklatural'nogo proizvodstva na osnove situatsionnogo upravleniya formirovaniem struktur tekhnologicheskikh protsessov. Diss. dokt. tekhn. nauk [Providing the efficiency of multi-nomenclature production on the basis of situation-dependent control of technological processes structures formation. Dr. Sci. Tech. diss.]. Saratov, 2003, 436 p.

10. Mikaelyan Eh. A. Tekhnicheskoe obsluzhivanie i diagnostika sostoyaniya ehnergotekhnologicheskogo oborudovaniya [Maintenance and diagnostics of power technology equipment status]. Promyshlenny servis – Industrial service, 2010, no. 4, pp. 14–18.

11. Mikaelyan Eh. A. Sovremenstvovanie ehkspluatatsionnoy prigodnosti gazoperekachivayushchikh agregatov [Perfecting the operational suitability of gas-distributing aggregates]. Upravlenie kachestvom v neftegazovom komplekse – Quality management in an oil and gas complex, 2010, vol. 3, pp. 31–34.

12. Mikaelyan Eh. A. Opredelenie kharakteristik i tekhnicheskogo sostoyaniya gazoturbinnikh gazoperekachivayushchikh agregatov kompressornykh stantsiy [Determination of characteristics and technical condition of gas-turbine gas-distributing aggregates of compressor stations]. Tekhnologii nefti i gaza – Technologies of oil and gas, 2009, no. 3, pp. 51–57.

13. Beloborodov S. M. Metodologiya obespecheniya dinamicheskoy ustoychivosti valoprovodov vysokoskorostnykh gazoturbinnikh agregatov na osnove adaptatsionnoy sborki rotorov. Diss. dokt. tekhn. nauk [Methodology of providing the dynamic stability of shaft lines of high speed gas-turbine aggregates on the basis of adaptive assembly of rotors. Dr. Sci. Tech. diss.]. Perm', 2011, 163 p.

14. Nepomiluev V. V. Razrabotka tekhnologicheskikh osnov obespecheniya kachestva sborki vysokotochnykh uzlov gazoturbinnikh dvigateley. Diss. dokt. tekhn. nauk [Development of technological bases of providing the quality of high-precision nodes of turbine jets assembly. Dr. Sci. Tech. diss.]. Rybinsk, 2000, 138 p.

15. Dolgiy I. D. Teoreticheskie osnovy, metody i sredstva razrabotki integrirovannykh sistem dispetcherckogo upravleniya na baze intellektual'nykh tekhnologiy. Diss. dokt. tekhn. nauk [Theoretical bases, methods and development tools of the integrated systems of the dispatcher control on the basis of intellectual technologies. Dr. Sci. Tech. diss.]. Rostov-on-Don, 2011, 280 p.

16. Meshcheryakov S. V. Metody effektivnoy organizatsii baz dannykh i ikh prilozheniy v promyshlennykh sistemakh. Diss. dokt. tekhn. nauk [Methods of effective organization of databases and their applications in industrial systems. Dr. Sci. Tech. diss.]. St. Petersburg, 2012, 295 p.

17. Timofeev P. L. Modelirovaniye biznes-protessov i avtomatizatsiya formirovaniya organizatsionnykh struktur v sisteme podderzhki upravlencheskoy deyatel'nosti promyshlennykh ob'edineniy. Diss. dokt. tekhn. nauk [Business process modeling and automation of organization structures formation in the support system of administrative activities of industrial associations. Dr. Sci. Tech. diss.]. Moscow, 2012, 270 p.

18. Bobyr' M. V. Metody, modeli i algoritmy sozdaniya avtomatizirovannykh sistem kontrolya i upravleniya dlya povysheniya effektivnosti mekhanicheskoy obrabotki izdeliy.

- Diss. dokt. tekhn. nauk [Methods, models and algorithms of creating automated control and management systems for increasing the efficiency of product processing]. Dr. Sci. Tech. diss.]. Rostov-on-Don, 2012, 335 p.
19. Sergin M. Yu. *Printsipy, metody i algoritmy postroeniya sistem upravleniya tekhnologicheskimi protsessami so strukturnoy neopredelennostyu*. Diss. dokt. tekhn. nauk [Principles, methods and algorithms of creating the process control systems with structural uncertainty]. Dr. Sci. Tech. diss.]. Tambov, 2004, 305 p.
20. Vinogradov G. P. *Individual'noe prinyatie resheniy: povedenie tseleustremennogo agenta* [Personal decision-making: behavior of the purposeful agent]. Tver', TSTU Publ., 2011, 163 p.
21. Polyakov A. S., Kvashnin B. S., Klimantov A. A. *Kontseptual'nye osnovy optimizatsii nadezhnosti rezervuarov dlya nefteproduktov s uchetom trebovaniy promyshlennoy bezopasnosti* [Conceptual bases of optimizing the reliability of tanks for oil products taking into account requirements of industrial safety]. *Problemy upravleniya riskami v tekhnosfere – Problem of risk management in a technosphere*, 2008, vol. 6, no. 2, pp. 11–15.
22. Mamontov V. A., Sinel'shchikova O. N. *Metodika otsenki dolgovechnosti kolenchatogo vala sudovogo DVS po real'nomu profilu mikronerovnostey ego poverkhnostey* [The crankshaft durability evaluation procedure of marine combustion motor in accordance with real profile of micro-roughness of its surfaces]. *Vestnik Astrakhan. gos. tekhn. un-ta – Bulletin of Astrakhan State Technical University*, 2008, no. 5 (46), pp. 50–53.
23. Bogachev A. V. *Metodologiya kontrolya ostatochnogo resursa oborudovaniya i truboprovodov reaktornych ustankov VVEhR s ispol'zovaniem avtomatizirovannoy sistemy*. Diss. dokt. tekhn. nauk [Methodology of control of residual service life and pipelines of the PWR reactor plants with the use of the automated system]. Dr. Sci. Tech. diss.]. Podol'sk, 2012, 280 p.
24. Varnakov D. V. *Ispol'zovanie diagnosticheskikh parametrov pri otsenke i prognozirovaniy parametricheskoy nadezhnosti dvigateley avtotransportnykh sredstv* [Use of diagnostic parameters at assessment and forecasting of parametrical reliability of engines of vehicles]. Ul'yanovsk, UlySU Publ., 2013, 124 p.
25. Asoyan A. R., Yudin V. M., Denisov A. S. *Teoreticheskie predposytki izmeneniya tekhnicheskogo sostoyaniya shatunov avtotraktornykh dvigateley v protsesse ehkspluatatsii* [Theoretical prerequisites of changing technical condition of connecting rods of auto-tractor engines in operation]. *Vestnik Saratovsk. gos. tekhn. un-ta – Bulletin of Saratov State Technical University*, 2008, no. 3, iss. 2, pp. 47–54.
26. Evdokimov V. G. *Monitoring i obespechenie bezopasnosti poletov s uchetom izmeneniya svoystv i faktorov risika slozhnykh tekhnicheskikh sistem. (aviatsionnykh sistem)*. Diss. dokt. tekhn. nauk [Monitoring and safety of flights taking into account change of properties and risk factors of difficult technical systems (aviation systems)]. Dr. Sci. Tech. diss.]. Moscow, 2013, 326 p.
27. Kudashev Eh. R. *Avtomatizatsiya protsessov kompleksnogo upravleniya tekhnicheskim soderzhaniem infrastruktury zheleznodorozhного transporta*. Diss. kand. tekhn. nauk [Automation of processes of integrated management of maintenance of infrastructure of railway transport. PhD in Sci. Tech. diss.]. Tyumen', 2005, 220 p.
28. Tsimberov V. M. *Informatsionnaya model' diagnostirovaniyazagazoturbinnikhgazoperekachivayushchikh agregatov* [Information model of diagnosing of gas-turbine gas-distributing units]. *Transportnoe delo Rossii – Transport business of Russia*, 2014, no. 4, pp. 52–53.
29. Strebkov A., Basmanov M., Men'shikov S., Morozov I. *Sistema parametricheskoy diagnostiki gazoperekachivayushchikh agregatov* [The system of parametrical diagnostics of gas-distributing units]. *Delovaya Rossiya: promyshlennost', transport, sotsial'naya zhizn'* – Business Russia: industry, transport, social life, 2011, no. 7, pp. 42–43.
30. *Reklamno-informatsionnye materialy* [Promotional and informational materials]: SKF (SKF) (Sweden) (Available at: [www.skf.com](http://www.skf.com)); Vibro-Meter ([www.vibrometer.com](http://www.vibrometer.com)); Manner sensor telemetrie (Available at: [www.sensortelemetrie.de](http://www.sensortelemetrie.de)); SPM Instrument (Available at: [www.spminstrument.com](http://www.spminstrument.com)); Metrix (USA) (Available at: [www.metrix1.ru](http://www.metrix1.ru)); Metallscan (Available at: [www.metalscan.fr](http://www.metalscan.fr)); Bentley Nevada (USA) (Available at: [www.bentley-nevada.com](http://www.bentley-nevada.com)); Armatury Group, OOO Simens (Available at: [www.siemens.com](http://www.siemens.com)); Brüel & Kjaer Sound & Vibration Measurements (Denmark) ([www.bkvibro.com](http://www.bkvibro.com)); PCB Piezotronics Inc. (USA) (Available at: [wwwpcb.com](http://wwwpcb.com)); Weidmuller (Available at: [www.weidmuller.com](http://www.weidmuller.com)); ENEFTECH Innovation SA (France).