

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

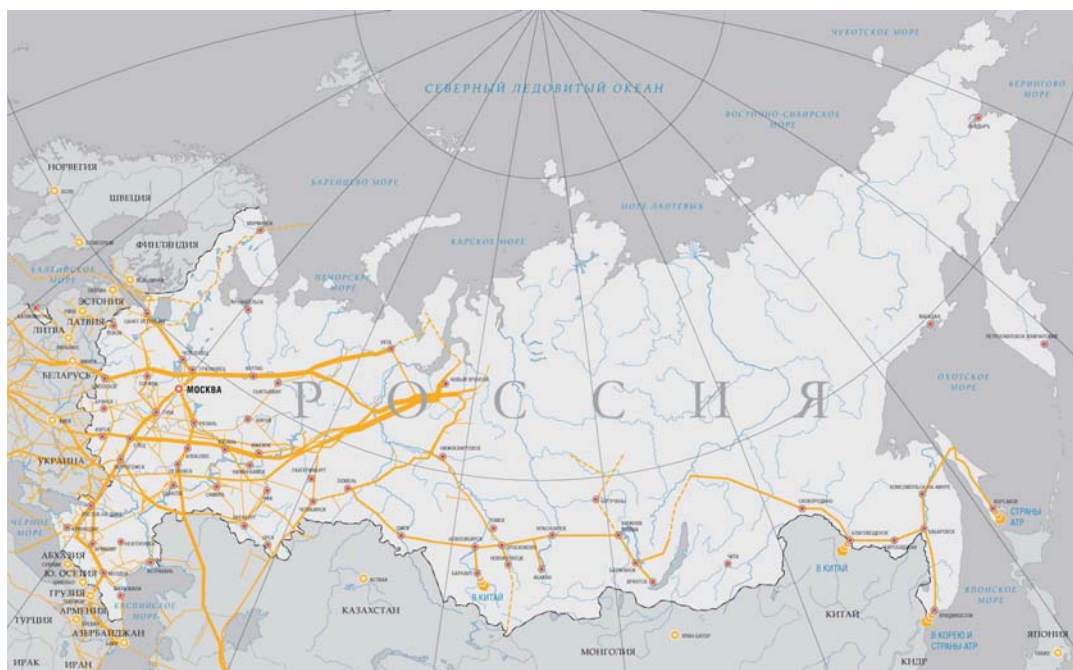
узлов, деталей, покрытий, а также периодичность выполнения ТОиР и их зависимость от режимов работы и видов топлива [97].

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 остановки 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 ТОиР на всех стадиях жизненного цикла изделий
Конструкторское	Волчеквич И. Л.	Методы предварительной селекции номенклатуры деталей, планирующих к изготовлению на проектируемом 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]
	Щипаков 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 агрегатов ГППА линейных компрессорных станций [8]	Спроектированы ступени сжатия с повышенными значениями КПД для агрегатов нового поколения ГППА [8]
	Кожуховская Л. Я.	Научно обоснована единая научно-методическая база повышения эффективности многономенклатурного производства [9]	Произведена критерияльная 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]
Автоматизация управления, информационные технологии	Белобородов С. М.	Методы подготовки, осуществления и коррекции результатов сборки [13]	Адаптация 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]
	Долгий И. Д.	Разработан новый класс интеллектуальных гибридных моделей поддержки процессов логического 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 ТП ТЮиР 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]
	Квашнин Б. С.	Концепция обеспечения показателей качества, безопасности технических средств хранения нефтепродуктов при эксплуатации [21]	Комплекс технических устройств и подходов к эксплуатации технических средств, используемых в нефтепродуктообеспечении в условиях рисков [21]
	Мамонтов В. А.	Созданы научные основы восстановления работоспособности главных передач при ремонте [22]	Методика прогнозирования остаточной долговечности судовых валов [22]
Эксплуатационное	Богачев А. В.	Методология расчетно-экспериментального подхода к диагностированию остаточного ресурса оборудования [23]	Алгоритмы оценки остаточного ресурса по различным механизмам повреждения с использованием нормативных методов (ядерные энергетические установки) [23]
	Варнаков Д. В.	Метод оптимального выбора объектов технического сервиса (механизация сельского хозяйства) [24]	Система оперативного контроля параметрической надежности автотранспортных средств [24]
	Асоян А. Р.	Методология повышения долговечности автомобильных двигателей [25]	Разработаны методология и комплекс измерительных средств для оценки показателей технического состояния основных элементов двигателей внутреннего сгорания и оборудования для их восстановления [25]
	Евдокимов В. Г.	Создана теория и методы синтеза мониторинга безопасности авиационных систем, а также построения рациональных структур авиационных систем [26]	Создана структура адаптивного управления процессом обеспечения безопасности, учитывающей изменение функциональных свойств авиационной системы и факторов риска [26]
	Кудашев Э. Р.	Научно обоснованы принципы и предложены методы качественного анализа работоспособности ГПА, позволяющие воздействовать на характеристики последних при отсутствии точных данных о количественных значениях параметров отдельных компонентов [27]	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 устранении 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 & Kjær 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 & Kjær 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 (виброскорость, 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 ГППА будет следующей:

$$\Xi(x) = f(V_p^k + V_n^k + V_3^k) \rightarrow \min, \quad (1)$$

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 Φ — область факторов, не влияющих значительно на ТОиР ГППА; 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) ГППА связаны с тем, что информация (или частота получения информации), получаемая технологической службой непосредственно с мест эксплуатации, недостаточна. Также на ряде ГППА 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 ГППА. Возникает необходимость интеграции всех субъектов отношений в области разработки, эксплуатации, модернизации и утилизации ГППА для обеспечения эффективности ТОиР ГППА 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 ГППА.

Современная наука не располагает достаточной базой знаний о системе, методах и моделях прогнозирования технического состояния ГППА, а, с другой стороны, потребность в поставке ГППА 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 инструментальный, с помощью которого можно было бы осуществить прогноз на этапе поставки ГППА 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.: Стандартиформ, 2006. 223 с.
3. Микаэлян Э. А. Обследование оборудования газонефтепроводных 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 газоперекачивающих 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. Мещеряков 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., Квашин 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 поверхностей // 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. Подольск, 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); Vibro-Meter (www.vibro-meter.com); Manner sensor telemetrie (www.sensortelemetrie.de); SPM Instrument (www.spminstrument.com); Metrix (США) (www.metrix1.ru); Metallscan (www.metallscan.fr); Bentley Nevada (США) (www.bentley-nevada.com); Armatury Group, ООО «Сименс» (www.siemens.com); Bruel & Kjaer Sound & Vibration Measurements (Дания) (www.bkvibro.com); PCB Piezotronics Inc. (США) (www.pcb.com); Weidmuller (www.weidmuller.com); ENEFTECH Innovation SA (Франция).

References

1. STO Gazprom 2-3.5-138–2007. Standart organizatsii. Dokumenty normativnye dlya proektirovaniya, stroitelstva i ehkspluatatsii 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. Mikaehlyan Eh. A. *Obsledovanie oborudovaniya gazoneftetransportnykh sistem* [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 ehlektromagnitno-akusticheskogo sposoba vzbuzhdeniya 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 chastey nagnetateley gazoperekachivayushchikh agregatov, primenyaemykh 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 ehffektivnosti mnogonomenklaturnogo 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. Mikaehlyan Eh. A. *Tekhnicheskoe obsluzhivanie i diagnostika sostoyaniya ehnergotekhnologicheskogo oborudovaniya* [Maintenance and diagnostics of power technology equipment status]. *Promyshlennyy servis – Industrial service*, 2010, no. 4, pp. 14–18.

11. Mikaehlyan Eh. A. *Sovershenstvovanie 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. Mikaehlyan Eh. A. *Opredelenie kharakteristik i tekhnicheskogo sostoyaniya gazoturbinnnykh gazoperekachivayushchikh agregatov kompressornykh stantsiy* [Determination of characteristics and technical condition of gas-turbine gas-distributing aggregates of compressor stations]. *Tekhnologii nef'ti i gaza – Technologies of oil and gas*, 2009, no. 3, pp. 51–57.

13. Beloborodov S. M. *Metodologiya obespecheniya dinamicheskoy ustoychivosti valoprovodov vysokoskorostnykh gazoturbinnnykh 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 gazoturbinnnykh 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 dispetcherskogo 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 ehffektivnoy 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. *Modelirovanie biznes-protsessov 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 ehffektivnosti 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 neopredelennost'yu*. *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 tselestremlennogo 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 reaktornykh ustanovok 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 prognozirovanii parametricheskoy nadezhnosti dvigateley avtotransportnykh sredstv* [Use of diagnostic parameters at assessment and forecasting of parametrical reliability of engines of vehicles]. Ulyanovsk, UISU Publ., 2013, 124 p.

25. Asoyan A. R., Yudin V. M., Denisov A. S. *Teoreticheskie predposylki 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 riska 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 tekhnicheskimi soderzhaniami infrastruktury zheleznodorozhnogo 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' diagnostirovaniyagazoturbinnnykhgazoperekachivayushchikh 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); Vibro-Meter (www.vibrometer.com); Manner sensor telemetrie (Available at: www.sensortelemetrie.de); SPM Instrument (Available at: www.spminstrument.com); Metrix (USA) (Available at: www.metrix1.ru); Metallsan (Available at: www.metalscan.fr); Bentley Nevada (USA) (Available at: www.bentley-nevada.com); Armatury Group, OOO Siemens (Available at: www.siemens.com); Bruel & Kjaer Sound & Vibration Measurements (Denmark) (www.bkvb.com); PCB Piezotronics Inc. (USA) (Available at: www.pcb.com); Weidmuller (Available at: www.weidmuller.com); ENEFTECH Innovation SA (France).