АНАЛИЗ МЕТОДОВ ДИАГНОСТИРОВАНИЯ И ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ГАЗОТУРБИННОЙ УСТАНОВКИ

Потехин Вячеслав Витальевич,
кандидат технических наук, доцент, Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого, e-mail: Slava.Potekhin@mail.ru

Лудищев Ярослав Вадимович,
Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого, АО «НПФ «Система-Сервис», e-mail: ludishevyarik@mail.ru

Болотов Сергей Владимирович,
Межгосударственное образовательное учреждение высшего образования «Белорусско-Российский университет» (Республика Беларусь)

Введение

Целью настоящей работы является анализ способов прогнозирования состояния работоспособности газовой турбины.

Технология диагностики неисправностей может выгодно обеспечить безопасную эксплуатацию газовой турбины, оценить рабочее состояние газовой турбины, определить местоположение неисправности и предложить рекомендации по техническому обслуживанию в зависимости от ситуации. Это может не только повысить безопасность системы, но и принести огромные экономические выгоды. С момента разработки диагностики неисправностей газовых турбин совместными усилиями большинства научно-технических работников и преподавателей было достигнуто большое количество результатов исследований в области теоретических исследований и инженерных приложений, так что эта технология получила широкое применение. Это касается не только принципа и характеристик корпуса газовой турбины, но и широкого применения междисциплинарных интеграционных технологий, таких как тепловые, механические, электрические и информационные

технологии, особенно быстрое развитие и применение искусственного интеллекта, который вывел технологию диагностики неисправностей газовых турбин на новый уровень.

Обзор методов диагностики

Комплексная оценка технического состояния потенциально опасных элементов технической системы в период эксплуатации в основном базируется на структурном анализе надежности ее компонентов, динамических безразборных методах контроля (диагностика по параметрам вибрации и термогазодинамическим характеристикам) и анализе загрязнений. Успех диагностирования в значительной мере обусловлен правильностью выбора информативных компонент для построения принципиальных диагностических моделей объекта и моделей распознавания и идентификации сигналов измерительных систем. Однако далеко еще не решен вопрос распознавания трудноразличимых неисправностей по количественной и качественной оценке параметров колебательных процессов. В целом, комплексное использование методов технической диагностики, обеспечивает возможность (при наличии современных универсальных аппаратных средств) эффективного контроля работоспособности энергетических установок, совершенствования системы обслуживания, снижения затрат на ремонтные операции, увеличения ресурса и оптимизации управления компрессорными станциями в составе АСУ газопроводов. Оценка технического состояния основывается на системе показателей, конфигурация которой связана со структурой оборудования. Для расчета этих показателей используются разнородные данные – как объективного (инструментального), так и субъективного (результаты осмотров, инспекций, экспертных оценок состояния) контроля. На основе данной информации формируется единая база данных, служащая платформой для комплексной оценки состояния, которая учитывает влияние разнородных параметров и различных структурных единиц на оборудование в целом.

Для газовых турбин, если состояние работоспособности газотурбинной системы может быть предсказано более точно, вероятность отказа системы может быть предсказана на основе ее состояния работоспособности. Тенденция развития отказа может быть предсказана заранее, так что потери, вызванные катастрофическими отказами системы, могут быть предотвращены или значительно уменьшены.

Одним из методов диагностики газотурбинной установки (ГТУ) является прогнозирование состояния работоспособности газовой турбины с использованием анализа входных параметров двигателя.

В реальном производственном процессе часто условия эксплуатации газовых турбин являются более жёсткими, и при отказе любой его части будут возникать достаточно серьезные последствия. Поэтому САУ газовой турбины имеет аварийную сигнализацию и некоторые отказоустойчивые функции управления. Однако сигнализация может только определить, что текущие условия эксплуатации превысили рабочий предел, и она не имеет возможности прогнозировать и диагностировать. В условиях работы системы управления газовой турбиной без предупреждения ГТУ может уже находиться в опасной рабочей зоне. В это время оператору трудно восстановить условия работы системы до нормальной зоны, это также может спровоцировать производственный простой. Из опыта эксплуатации компрессорных станций (КС) можно выделить основные факторы, способствующие выходу из строя: дефекты, возникающие в ходе строительно-монтажных работ; повреждения изоляции; вибрация, способствующая образованию трещин; подвижки грунта, приводящие к

повышенным напряжениям в трубопроводах, следствием которых является потеря устойчивости; дефекты как изготовления оборудования, так и износ оборудования, вызванный различными отказами. Схема влияния возможных факторов воздействия на реальную техническую систему и методы их обнаружения показаны на примере центробежного нагнетателя ГПА (рис. 1).

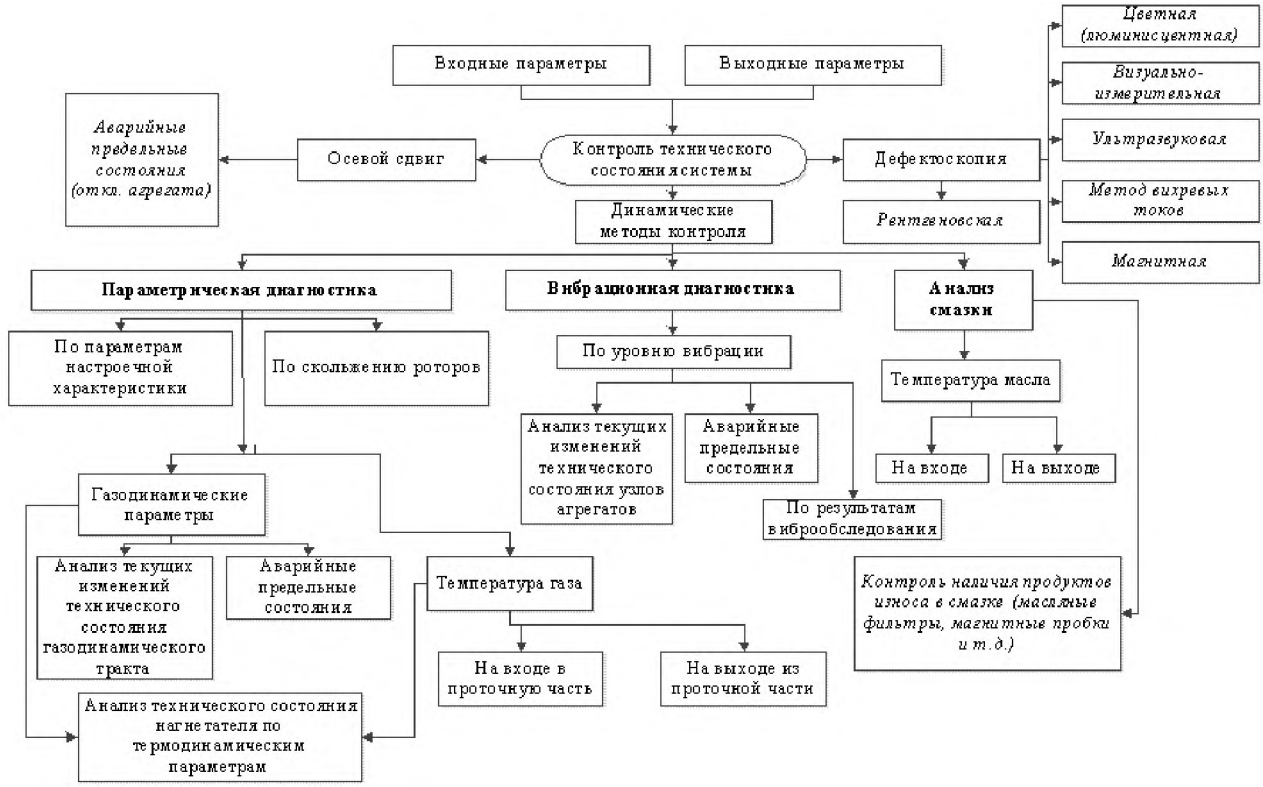

Рис. 1. Структурная схема интеллектуальной системы принятия решения по диагностике неисправностей ГПА

Оценка технического состояния образуется на основе показателей качества. Для их расчета используются различные данные – как объективного (инструментального), так и субъективного контроля (осмотры, экспертные оценки состояния). На основе данной информации строится база данных, которая определяет комплексную оценку состояния.

Оценка технического состояния оборудования включает в себя несколько этапов, представленных в виде схемы (рис. 2).

Количественной оценкой технического состояния оборудования является безразмерная числовая величина, которая называется Индексом Технического Состояния (ИТС) и получается в результате выполнения определенного алгоритма. Величина ИТС характеризует состояние объекта с точки зрения соответствия его параметров нормативным значениям с учетом значимости (веса) каждого параметра.

Среди методов инструментального контроля технического состояния агрегата применительно к стационарным ГТУ более предпочтителен детерминистский метод, заключающийся в непосредственном определении физических явлений, служащих объективными признаками возникновения конкретных неисправностей и дефектов (это обусловлено прежде всего индивидуальным и мелкосерийным характером производства стационарных ГТУ).

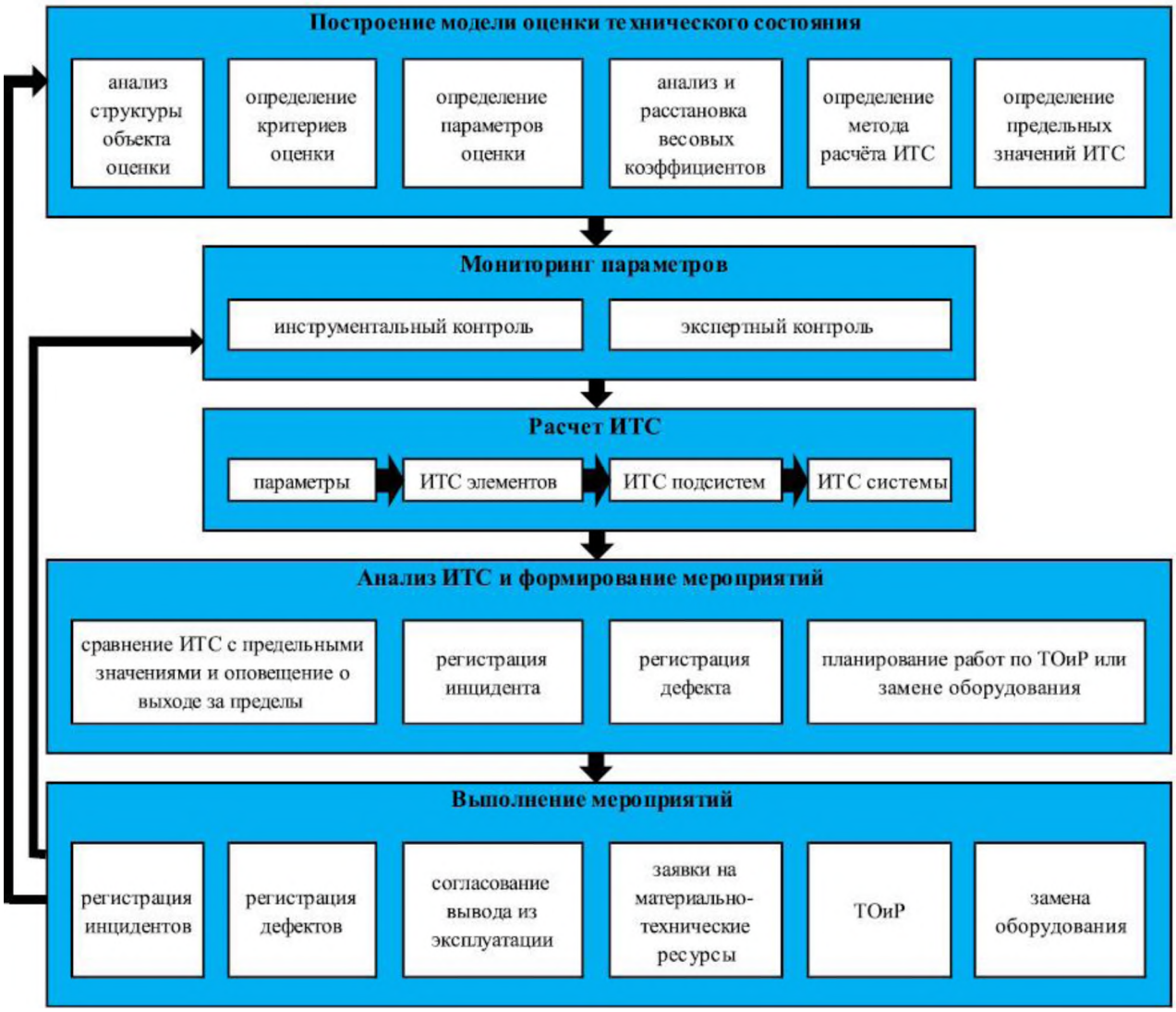

Рис. 2. Анализ структуры объекта оценки

В качестве диагностических средств обнаружения таких физических явлений, хорошо показавших себя применительно к авиационным ГТД, могут быть рекомендованы нижеследующие:

1. устройства виброакустической диагностики (объект может быть представлен в виде колебательной системы и спектра вибросигнала, стимулированного либо тестом, либо функциональными возмущениями, содержащих информацию о техническом состоянии, дефектах и качестве объекта), микрофоны для измерения акустических колебаний, действие которых основано на электрических или пьезоэлектрических эффектах;
2. ультразвуковые (неразрушающее исследование внутренней структуры различных объектов и протекающих в них процессов с помощью ультразвуковых волн) и токовихревые приборы (изменяющийся магнитный поток) для обнаружения дефектов и повреждений лопаточного аппарата турбомашин;
3. оптические приборы и системы визуального осмотра деталей (обнаружение поверхностных дефектов, взаимодействие светового излучения с поверхностью контролируемого излучения) проточных частей как в период эксплуатации, так и при проведении профилактических работ (с частичной разборкой агрегата).

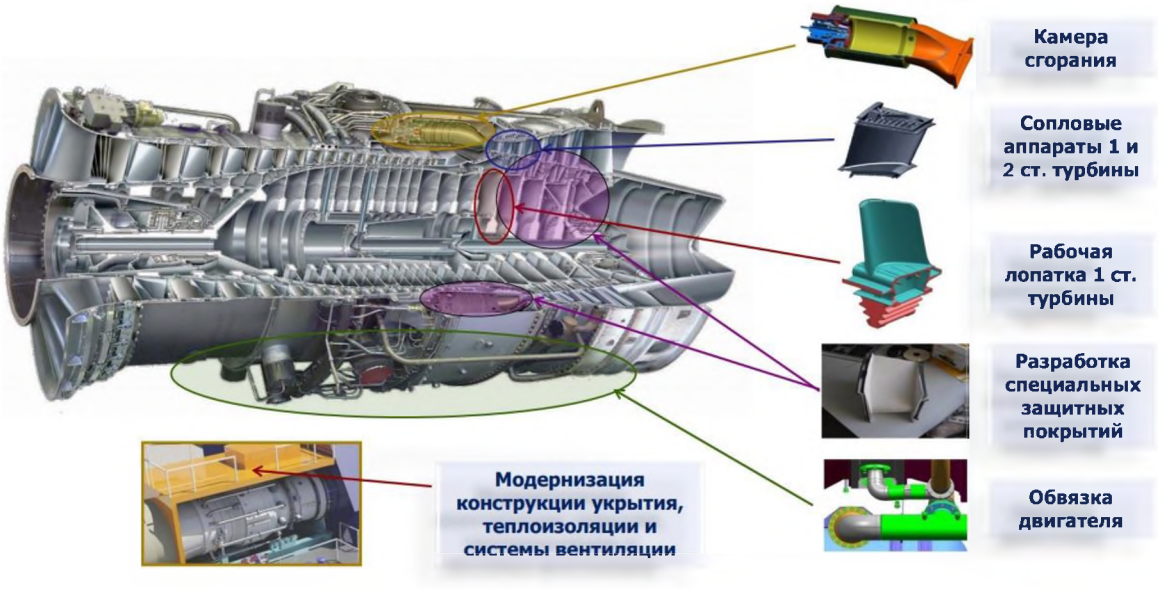

Рис. 3. ГТУ в разрезе

В условиях широкого внедрения в энергетике газотурбинных установок, особую актуальность приобретает обеспечение высокой надежности ГТУ на этапе их эксплуатации. Эта задача решается применением аппаратных комплексов мониторинга и диагностики технического состояния установок, при этом, основу таких систем составляют методы и средства вибродиагностики. Это, во-первых, определяется высокой информативностью вибрационных сигналов, их способностью нести в себе информацию о наличии и развитии большинства важнейших дефектов, во-вторых, возможностью проведения непрерывного процесса диагностирования на работающем агрегате без его останова и разборки.

Методы контроля и технической диагностики электрооборудования:

- акустический контроль;
- тепловизионный контроль;
- оптический контроль;
- вибрационный контроль;
- ультразвуковой контроль;
- эмиссионный контроль;
- радиолокационный контроль;
- импульсный контроль;
- ХАРГ в масле;
- контроль электрических параметров и анализ гармоник тока и напряжения;
- физико-химический анализ масла;
- контроль по интенсивности частичных разрядов.

Для прогнозирования состояния работоспособности газовой турбины можно сделать следующее:

1. Установить датчики скорости, температуры выхлопных газов, частоты вращения пускового двигателя, температуры смазочного масла, давления топлива и подключить всех датчиков к интерфейсу полевой шины;
2. Сбор параметров состояния ГТУ и их предварительная обработка с дальнейшим выделением необходимых признаков качества состояния турбины;

3. Анализ работоспособности с помощью наборов выборок в модуле базы данных, выбора метода анализа работоспособности для интеллектуального анализа данных и прогнозирования уровня работоспособности газовой турбины;
4. Отображение прогнозируемого уровня работоспособности с дальнейшим сохранением результата в базе данных.

Перспективная концепция для управления сложными распределенными сетевыми структурами, характеризующаяся принципами открытости, самоорганизации, слабой иерархией в цикле принятия решений и способностью генерировать цели внутри себя, создавая поток данных:

- формирование единого координатно-временного поля и привязка к нему всех элементов системы, информационных агентов, событий и фактических данных;
- сбор и интеграция разнородной информации (в едином координатно-временном поле), полученной из различных источников, с перекрестным уточнением и дополнением;
- анализ и прогнозирование развития ситуации на стратегическом, тактическом и оперативном уровнях;
- формирование единого информационного и управляющего поля;
- формирование среды поддержки принятия решений;
- трансляция и доставка информации и команд управления потребителям и исполнителям;
- документирование всех событий и команд управления.

Из анализа работ, посвященных диагностике и мониторингу, можно отметить рост внедрения интеллектуальных систем диагностирования для электроприводных ГПА (ЭГПА). Эффективность применения прогнозных моделей с помощью искусственных нейронных сетей показана в ряде исследований, проведенных по диагностике оборудования. В результате появляется возможность использовать непрерывное наблюдение (мониторинг) с учетом программного обеспечения, способного на ранних стадиях обнаружить некоторые виды дефектов и неисправностей в процессе эксплуатации и выработки управляющих воздействий для нормальной эксплуатации.

Способ прогнозирования состояния работоспособности газовой турбины возможно реализовать при помощи следующих средств:

1. Установка датчиков скорости, температуры выхлопных газов, частоты вращения пускового двигателя, температуры смазочного масла, давления топлива и подключение всех датчиков к интерфейсу полевой шины;
2. Сбор параметров состояния ГТУ и их предварительная обработка с дальнейшим выделением необходимых признаков качества состояния турбины;
3. Анализ работоспособности с помощью наборов выборок в модуле базы данных, выбора метода анализа работоспособности для интеллектуального анализа данных и прогнозирования уровня работоспособности газовой турбины;
4. Отображение прогнозируемого уровня работоспособности через человеко-машинный интерфейс с дальнейшим сохранением результата в базе данных.

Устройство прогнозирования состояния работоспособности газовой турбины включает в себя интерфейс полевой шины, модуль обработки сигналов, модуль базы данных, модуль анализа работоспособности и человеко-машинный интерфейс.

Различные датчики, установленные на каждой газовой турбине, такие как скорость, температура выхлопных газов, частота вращения пускового двигателя, температура смазочного масла, давление топлива и другие сигналы, подключаются к устройству прогнозирования состояния работоспособности газовой турбины через полевую шину.

Модуль обработки сигналов реализует сбор параметров рабочего состояния газовой турбины, выполняет предварительную обработку сигнала и извлечение количества признаков из собранных данных и сохраняет их в модуле базы данных в соответствии с определенным форматом хранения.

Модуль базы данных реализует хранение исторических данных, текущих данных и результатов прогнозирования работоспособности.

Модуль анализа работоспособности вызывает обработанный набор выборок в модуле базы данных и автоматически выбирает метод анализа работоспособности для интеллектуального анализа данных на основе характеристик выборки и прогнозирует уровень работоспособности газовой турбины в реальном времени или не в реальном времени.

Оценка вклада каждого из методов в изучение текущего состояния компрессорной установки ведет к тому, что большая часть дефектов и неисправностей, примерно 60%, может быть установлена методами вибродиагностики, пригодными для обнаружения дефектов практически во всех элементах агрегата; около 20% неисправностей компрессора и примерно половина опасных режимов работы проточной части нагнетателя (или осевого компрессора) обнаруживается только анализом термогазодинамических параметров (параметрическая диагностика), примерно 20% неисправностей элементов компрессора, обнаруженных методами вибродиагностики можно подтвердить анализом термогазодинамических параметров машины и около 20% неисправностей (в основном для пар трения) можно зарегистрировать по изменению температуры, состава, уровню загрязнений смазочного масла.

Заключение

Исследованы и систематизированы все основные методы и способы контроля технического состояния ГПА. Произведен анализ динамических методов диагностики ГПА, позволяющий утверждать о необходимости разработки расширенных методов идентификации неисправностей на ранней стадии их развития с использованием средств параметрической и виброакустической диагностики.

Исследованы методы оценки работоспособности ГПА, основанные на идентификации возможных неисправностей и прогнозировании остаточного ресурса, что дает возможность перейти от стратегии планово-предупредительного ремонта (не полностью удовлетворяет задачи надежной транспортировки газа) к эксплуатации агрегатов по их фактическому техническому состоянию. Но использование системы технического обслуживания и ремонта по техническому состоянию на базе диагностики для всего оборудования компрессорной станции экономически нецелесообразно, в связи с чем система должна быть смешанной: для систем и оборудования, которые по соображениям безотказной работы всей КС не могут быть допущены к эксплуатации до отказа, – по техническому состоянию.

Список литературы:

1. Стребков А., Басманов М., Меньшиков С., Морозов И. Система параметрической диагностики газоперекачивающих агрегатов: современный подход // Деловая Россия: промышленность, транспорт, социальная жизнь. 2011. № 7. С. 42-43.

2. Калинин А.Ф., Кичатов В.В., Торопов А.Ю. Оценка эффективности работы систем компримирования компрессорных станций // Труды Российского Государственного Университета им. И.М. Губкина. – 2009. – № 4 (257). – С. 85- 95.
3. Н. А. Батаев, Б. А. Сулейменов, Д. Ф. Ахметов Прогнозирование и диагностика параметров газотурбинной установки // Вестник КазНИТУ. – 2019. – Т. 4, № 134. – С. 198–203.
4. Канунников, И.П. Газоперекачивающий агрегат ГПА-Ц-16 [Текст]: учеб. пособие / И.П. Канунников, С.Д. Стенгач, Б.А. Углов. – Самара: Изд-во СГАУ, 2011.
5. Байков И.Р., Путенихин А.Ю., Юкин А.Ф., Юкин Г.А. Потенциал повышения энергоэффективности работы компрессорных станций // 3-й Российский энергетический форум: Сборник докладов. – Уфа, 2003. – С. 63 – 13. Пашин С.Т., Байков И.Р., Юкин А.Ф., Юкин Г.А. Потенциал энергосбережения в ООО «Баштрансгаз» // 3-й Российский энергетический форум: Сборник докладов. – Уфа, 2003. – С. 49.
6. Круг П. Г., Нейронные сети и нейрокомпьютеры: Учебное пособие по курсу «Микропроцессоры». – М.: Издательство МЭИ, 2002. – 176 с.
7. Грешилов А. А., Стакун В. А., Стакун А. А. Математические методы построения прогнозов. – М.: Радио и связь, 1997. – 112 с.
8. Кудашев Э.Р. Идентификация неисправностей газоперекачивающего агрегата методом «слабых резонансов» / Э.Р. Кудашев, В.А. Иванов, А.С. Семенов // Сб. науч. тр. «Мегапаскаль. Выпуск 1». – Тюмень: ТюмГНГУ, 2005.-С. 57-61
9. Микаэлян Э.А. Повышение качества, обеспечение надежности и безопасности магистральных газонефтепроводов для совершенствования эксплуатационной пригодности / под ред. Маргулова Г.Д. – М.: Топливо и энергетика, 2001. – 640 с
10. Кудашев Э.Р. Идентификация неисправностей газоперекачивающего агрегата методом «слабых резонансов» / Э.Р. Кудашев, В.А. Иванов, А.С. Семенов // Сб. науч. тр. «Мегапаскаль. Выпуск 1». – Тюмень: ТюмГНГУ, 2005. – С. 57-61.