

**АЗЕРБАЙДЖАНСКАЯ ГОСУДАРСТВЕННАЯ
НЕФТЯНАЯ АКАДЕМИЯ
НИИ «ГЕОТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ НЕФТИ, ГАЗА
И ХИМИЯ»**

На правах рукописи

ГАСАНОВА АРЗУ МОВМИН КЫЗЫ

**РАЗРАБОТКА МЕТОДОВ УПРАВЛЕНИЯ И
ОБЕСПЕЧЕНИЯ ЭКСПЛУАТАЦИОННОЙ
НАДЕЖНОСТИ КОМПРЕССОРНЫХ АГРЕГАТОВ**

3334.01 – Морские нефтегазопромысловые установки

А В Т О Р Е Ф Е Р А Т

диссертации представленной на соискание ученой степени доктора
философии по технике

БАКУ – 2014

Работа выполнена в Институте кибернетики им. акад. А.И.Гусейнова
Национальной Академии Наук Азербайджана

Научный руководитель:

доктор технических наук,
профессор

Шахбазов Э.К.

Официальные оппоненты:

доктор технических наук,
профессор

Бабаев С.Г.

кандидат физико-математических наук,
доцент

Дышин О.А.

Ведущая организация: АЗИНМАШ ОАО

Защита состоится *12 декабря 2014 г.* в 14⁰⁰ часов на заседании диссертационного совета Д 02.111 при НИИ «Геотехнологические проблемы нефти, газа и химия» при АГНА по адресу: AZ 1010, г.Баку, ул. Д.Алиевой, 227.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Азербайджанской Государственной Нефтяной Академии.

Автореферат разослан «11» ноября 2014 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета,
кандидат технических наук,
доцент

Г.К. Гаджиев

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. Проблема обеспечения народного хозяйства республики природным газом является одной из самых важных и актуальных, требующая научно-обоснованного подхода. Особую важность приобретают задачи рационального потребления и снижения потерь, повышения эффективности и надежности эксплуатации оборудования для компримирования попутного нефтяного газа.

Государственная программа развития топливно-энергетического комплекса в Азербайджане, принятая в феврале 2005 года стала важнейшей инициативой газового сектора и определила цели и задачи на 2005-2015 годы. Одной из главных проблем газовой промышленности Азербайджана является поиск путей повышения эффективности функционирования систем добычи, переработки и трубопроводного транспорта газа с учетом особенностей эксплуатации систем газоснабжения в осложненных условиях.

Это связано с ростом удельного веса природного газа в топливно-энергетическом комплексе республики, открытием новых газовых месторождений и прекращением поставок газа из-за рубежа, а также ограничением средств и ресурсов, выделяемых на реконструкцию и перевооружение газовой отрасли.

Обеспечение надежности эксплуатации и производственной безопасности объектов нефтегазовой отрасли в современном обществе является важнейшей задачей. Технологические процессы добычи, обработки и транспорта углеводородного сырья являются по своему характеру потенциально опасными.

Чрезвычайные ситуации, связанные с утечками и возгораниями газа, приводят к экологическим катастрофам, для ликвидации последствий которых необходимы значительные финансовые затраты, а на восстановление природной среды уходят многие годы.

Существенный вклад в применение вероятностно-статистических методов в теории и практике надежности газокompрессорных агрегатов внесли академики А.Х.Мирзаджанзаде, Т.А.Алиев, профессора С.Г.Бабаев, Э.К.Шахбазов, Т.И.Насирова, И.А.Габибов, В.И.Алиев, Р.М.Саттаров.

В теории и практике компрессоростроения и газоснабжения

широко известны работы В.Н.Александрова, С.Ф.Бармина, В.Ф.Рис, Е.И.Епифанова и многих других. В теории и практике надёжности компрессорных агрегатов известны также работы В.Г.Дубинского, А.А.Мифтахова, З.С.Седых и Г.К.Храпача

Несмотря на множество работ, в основном, исследована техническая сторона проблемы. Прогнозирование возможных осложнений в работе, возникновение дефектов и др. параметров, сильно влияющих на надёжность КС, требует проведения новых теоретических исследований, разработку новых эффективных расчетных методов и алгоритмов, позволяющих обеспечить надёжность на всех стадиях жизненного цикла компрессорных станций.

Цель работы: выявление причин низкой надёжности и физики отказов деталей, влияющих на безотказную работу дожимной компрессорной станции, исследование, анализ и оценка эксплуатационной надёжности турбогазокомпрессоров для компримирования попутного нефтяного газа, разработка прогрессивных научно обоснованных методов оценки показателей безотказности и долговечности новых и реставрированных турбогазокомпрессоров с целью повышения эффективности их эксплуатации.

В работе поставлены и решены следующие задачи:

- установление номенклатуры основных показателей надёжности ТГК;
- разработка методики сбора, учета, определения и оценки показателей надёжности газотурбинных компрессорных агрегатов для компримирования попутного газа;
- разработка метода оценки контролируемых показателей надёжности ТГК при приемочных испытаниях;
- оценка вероятности безотказной работы компрессоров в процессе эксплуатации;
- определение среднего значения времени работы до капитального ремонта компрессорных агрегатов;
- определение параметров закона распределения остаточного ресурса компрессорных агрегатов;
- оценка комплексного показателя надёжности коэффициента готовности K_r до и после внедрения научно технических мероприятий.

Методы решения поставленных задач. Поставленные в работе задачи решались с применением методов теории вероятностей, математической статистики, теории надежности, интегральных уравнений, дифференциальных уравнений в частных производных.

Научная новизна работы заключается в следующем:

1. Впервые осуществлен системный подход к управлению надёжности компрессорных станций, оснащенных агрегатами с газотурбинным приводом.

2. Разработан метод оценки граничных уровней контролируемых показателей надежности ТГК при приёмочных испытаниях.

3. Разработан метод оценки вероятности безотказной работы ТГК с применением диффузионного немонотонного распределения.

4. Получены аналитические выражения для определения средней наработки до капитального ремонта и остаточного ресурса ТГК.

Практическая ценность и реализация результатов работы.

В результате разработки и внедрения прогрессивных методов по исследованию и оценке показателей надежности компрессорных агрегатов, были рассчитаны реальные значения показателей надёжности в составе которых имелись новые и реставрированные узлы и детали.

Метод оценки граничных уровней, контролируемых показателей надежности ТГК при приемочных испытаниях позволяет установить факт пригодности агрегатов к эксплуатации в соответствии с его рабочими параметрами и гарантиями завода-поставщика.

Разработанные нами методы оценки вероятности безотказной работы ДКС-2 в процессе эксплуатации позволили снизить время непроизводительных простоев агрегатов и повысить коэффициент готовности K_T .

По итогам внедрения научных и практических рекомендаций работы средний срок службы до капитального ремонта и долговечность ТГК возросли соответственно в 1,4 - 2,1 раза, время простоя снизилось в 2,4 раза, а коэффициент готовности K_T вырос на 19,6% и достиг значения 0,996.

Апробация работы. Основные положения и результаты диссертационной работы докладывались на:

- республиканской научной конференции «Современные проблемы информатизации, кибернетики и информационных технологий», Баку, 2003 г;
- международной конференции «Проблемы кибернетики и информатики», Баку, 2006 г.;
- First International Conference on soft Computing Technologies in Economy. Proceedings. Baku, 2007;
- Збірник наукових праць за матеріалами Третьої Міжнародної наукової конференції. Кам'янець-Подільський, К-ПНУ, 2008 г.
- международной конференции «Проблемы кибернетики и информатики», Баку, 2010 г.;
- международной конференции, посвященной 100-летию юбилею академика З.И.Халилова. Функциональный анализ и его приложения. Баку, 2011.

Публикации. По материалам диссертации опубликованы 15 научных трудов.

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, 5 глав, выводов и рекомендаций, списка литературы и приложений. Общий объем работы составляет 155 страниц, в том числе 27 рисунков, 9 таблиц, 121 списка литературы.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность темы диссертационной работы, сформулированы цель и задачи проведенных исследований, показана научная новизна и определено практическое значение работы.

Первая глава диссертации посвящен анализу современного состояния проблемы обеспечения эксплуатационной надежности турбогазокомпрессоров (ТГК) для компримирования попутного газа, особенностей режимов работы компрессорных станций с газотурбинным приводом. Опыт эксплуатации показывает, что одного технического совершенства конструкции еще недостаточно для эффективного использования ТГК. Необходимо, чтобы все свойства, формирующие техническое совершенство ТГК, соответствовали заданным требованиям надежности.

На основе анализа работ в данной области, обобщены существующие результаты и показаны неотложные задачи

исследования, необходимые для обеспечения надёжной работы при эксплуатации.

Во второй главе рассмотрены существующие детерминированные и вероятностные методы исследования задач динамической надёжности сложных технических систем. Проведены длительные промысловые наблюдения за работой компрессорных агрегатов типа «Центавр» на ДКС-2.

Установлено, что статистика отказов и времени восстановления отдельных узлов подчиняются различным законам распределений. Определено, что статистика откзгов, отработавших несколько нормативных ресурсов деталей подчиняются экспоненциальному закону, для новых деталей имеют место усталостные отказы, подчиняющиеся закону Вейбулла. Данные обоих распределений свидетельствуют о том, что в периоды пуска-наладки-освоения преобладали длительные простои, связанные с серьёзными неполадками, отказами и выходами из строя составных частей, замена которых потребовала значительные затраты времени и средств (газовая турбина, ротор, компрессор и т.п.). Это доказывает гипотезу о наличии в составе агрегатов узлов с низкой работоспособностью и истощенными ресурсами. Следующий же за этим период описывается экспоненциальным законом, где наличествуют преимущественно простои небольшой продолжительности до 275 час. (~ 70%), но также приходится констатировать, что остальное время, где простои в среднем доходили до 600 и более час были связаны также со значительными перерывами в работе отдельных агрегатов. Этот факт говорит о том, что, несмотря на мероприятия, связанные с ремонтом и заменой наиболее крупных и капитальных составных частей, вновь появившиеся отказы и простои, связаны с выходом из строя уже других частей, которые были на грани исчерпания ресурса в предыдущем периоде.

Оценка эксплуатационной надёжности ДКС-2 показала, что отдельные узлы и блоки обладают безотказностью и временем восстановления, подчиняющимся различным законам распределений. Так, анализ физики отказов деталей, отработавших несколько нормативных ресурсов и приведших к потере работоспособности показывает, что из-за истощения ресурсов, по сравнению с новыми деталями, имеющими нулевой ресурс, имеют законы распределений, резко отличающихся друг от друга. Если отказы детали, например, лопасти компрессора газовой турбины на начальном периоде

эксплуатации новых компрессоров обуславливаются недоработкой конструкции или технологией изготовления и подчиняются экспоненциальному закону, то во втором случае имеют место преимущественно усталостные отказы, подчиняющиеся законам распределения Вейбулла. Что касается времени восстановления, то статистический анализ показывает, что время восстановления подчиняется экспоненциальному закону.

Проблема управления и обеспечения надежности компрессорных станций требует обособленного подхода, методология исследования которых до сих пор не существовала. При создании нового поколения ТК необходимо разработать новые подходы и математические модели, обеспечивающие безопасную эксплуатацию КС. Таким образом, проведенный анализ статистики эксплуатационной надежности ДКС-2 позволил сформулировать последовательность и логику дальнейших исследований.

Третья глава посвящена исследованию методологии и методов управления и обеспечения надежности ТК на стадиях проектирования, производства и эксплуатации.

В качестве теоретической модели распределения наработки до отказа предложено использовать немонотонное диффузионное распределение (DN -распределение).

Получены аналитические выражения для оценки доверительных интервалов для времени безотказной работы и доверительных интервалов для вероятности безотказной работы в период приемо-сдаточных испытаний.

Установлено, что с помощью монотонного диффузионного распределения наработка до отказа описывается монотонным диффузионным распределением.

На основании функции распределения контролируемые показатели определены:

$$T_{\alpha} = T_0 \left(1 + \frac{v^2 U_{1-\alpha}^2}{2r} - \frac{v U_{1-\alpha}}{2\sqrt{r}} \sqrt{4 + \frac{v^2 U_{1-\alpha}^2}{r}} \right), \quad (2.4)$$

$$T_{\beta} = T_0 \left(1 + \frac{v^2 U_{\beta}^2}{2r} + \frac{v U_{\beta}}{2\sqrt{r}} \sqrt{4 + \frac{v^2 U_{\beta}^2}{r}} \right), \quad (2.5)$$

где (T_{α}) - приемочный уровень, (T_{β}) - браковочный уровень, T_0 - точечная оценка контролируемой средней наработки до отказа, r -

минимально необходимое число отказов, которое устанавливается исходя из требований достоверности контроля, ν – параметр формы распределения, $U_\alpha - (1 - \alpha)$ – квантиль распределения $\Phi(t)$.

Таким образом, получены аналитические выражения для оценки доверительных интервалов (T_β, T_α) для времени безотказной работы и доверительных интервалов.

В четвертой главе установлены зависимости для нахождения среднего значения времени работы до капитального ремонта ТГК, с учетом наработок и восстановлений в течение всего жизненного цикла. На основе эргодического процесса распределения ресурса ТГК разработана методика по определению остаточного ресурса ТГК. Получены практические зависимости по расчету математического ожидания и дисперсии остаточного ресурса ТГК.

Определены первые два момента для времени работы до капитального ремонта. Величина η_i означает длительность времени i -го текущего ремонта, ξ_i -значение израсходованного ресурса до i -го текущего ремонта, ζ_i -приобретенный ресурс после i -го текущего ремонта, z -начальное значение ресурса ТГК (рис. 1).

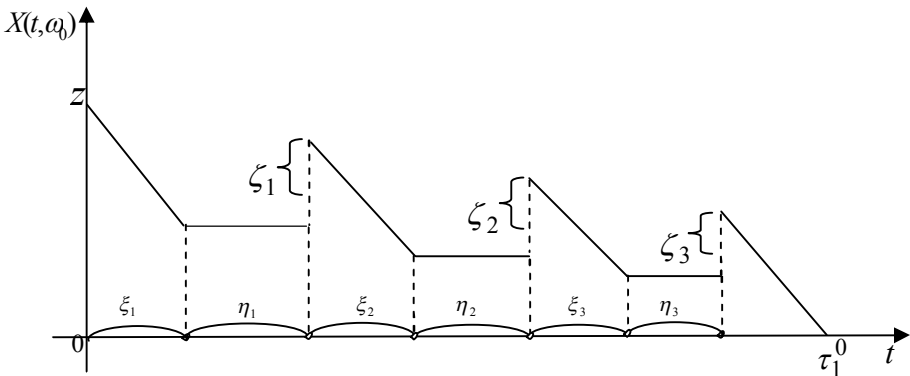


Рис.1. Процесс реализации жизненного цикла ТГК

При заданном $z=95000$ ч. и при различных значениях λ и μ получены зависимости математического ожидания $E(\tau_0|z)$ и дисперсии $D(\tau_0|z)$. Таким образом, найдены в явном виде математическое ожидание и дисперсия момента первого капитального ремонта. Составлена программа, реализующая вычисления $E(\tau_0|z)$ и $D(\tau_0|z)$.

Для оценки надежности ТГК в процессе эксплуатации предложены модели, основанные на вероятностном подходе, который заключается в использовании законов распределения отказов, вытекающих из анализа процессов деградации в виде износного старения и разрушения, а также механизмов, приводящих к отказу. А именно, для случайного процесса отказов ТГК выбирается адекватная математическая модель процессов деградации в виде непрерывного марковского процесса с монотонными реализациями, которому соответствует диффузионное монотонное распределение.

- Оценка вероятности безотказной работы ДКС-2 с применением диффузионного немонотонного распределения позволяет вычислить наиболее точное ее значение в любой точке исследуемого временного отрезка. Установлены зависимости для нахождения среднего значения времени работы до капитального ремонта ТГК, с учетом наработок и восстановлений в течение всего жизненного цикла.

- С применением диффузионных распределений разработан метод оценки граничных уровней контролируемых показателей надежности (среднего времени наработки до отказа и средней доли отказавших изделий) ТГК при приемочных испытаниях. Основная цель этих испытаний заключается в установлении факта пригодности агрегатов к эксплуатации в соответствии с его рабочими параметрами.

Впервые в данной работе эта задача решена с учетом как процессов износа, усталости и разрушения, так и статистических данных об отказах составных частей ТГК при испытаниях и в процессе эксплуатации.

- Найдены аналитические зависимости для математического ожидания и дисперсии закона распределения момента времени до капитального ремонта ТГК. Так как после капитального ремонта ресурс компрессора снижается, то для определения условий

дальнейшего нормального функционирования решена задача по установлению параметров закона распределения остаточного ресурса.

- На основе эргодического процесса распределения ресурса (времени жизни) ТГК разработана методика по определению остаточного ресурса ТГК. Получены практические зависимости по расчету математического ожидания и дисперсии остаточного ресурса ТГК.

Решение вышеуказанных задач позволяет повысить эффективность эксплуатации с обеспечением необходимого уровня надёжности ТГК, а также управлять ею на протяжении всего жизненного цикла КС.

В пятой главе рассмотрены задачи по оценке эффективности эксплуатации и надёжности модернизированной системы КС, приведены технико-экономические параметры по итогам проведенных модернизаций.

В результате проведения специальных работ в процессе модернизации в модулях первой ступени нагнетатели типа С-307 были переделаны поэтапно в нагнетатели типа С-338, а турбины Т-4500 всех девяти модулей на турбины модели «Центавр» Т-4700 мощностью 4700 л.с.

Разработанные методы оценки вероятности безотказной работы ТГК в процессе эксплуатации, а также времени до капитального ремонта и остаточного ресурса, позволили усовершенствовать структуру системы ТО и ППР и в итоге прогнозировать и заблаговременно устранять неисправности и отказы оборудования. Внедрение мероприятий проводилось до начала модернизаций, в периоды их проведения, а также после них.

Обработка эксплуатационной информации о наработках и отказах ТГК, позволила оценить показатели надёжности после первого этапа модернизации: математическое ожидание $\tilde{t} = 29062$ ч., среднеквадратическое отклонение $\tilde{\sigma} = 12950$ ч., коэффициент вариации: $\tilde{v} = 0,44$.

Полученные данные свидетельствуют о наличии закона распределения Вейбулла (рис.2).

Далее были оценены показатели надёжности после второго этапа модернизации: математическое ожидание: $\tilde{t} = 57800$ ч., среднеквадратическое отклонение: $\tilde{\sigma} = 18326$ ч., коэффициент

вариации: $\tilde{v} = 0,32$.

Полученные данные свидетельствуют о наличии нормального закона распределения отказов (рис.3).

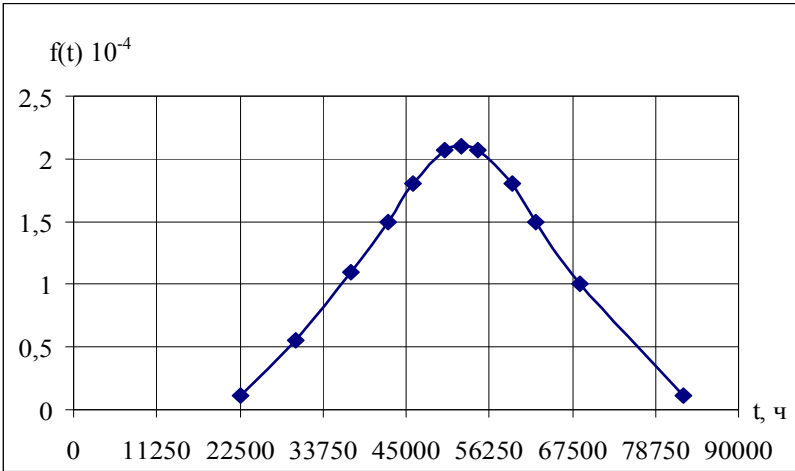


Рис. 2. Плотность вероятности распределения отказов после 1-го этапа модернизации и повышения надёжности ДКС-2

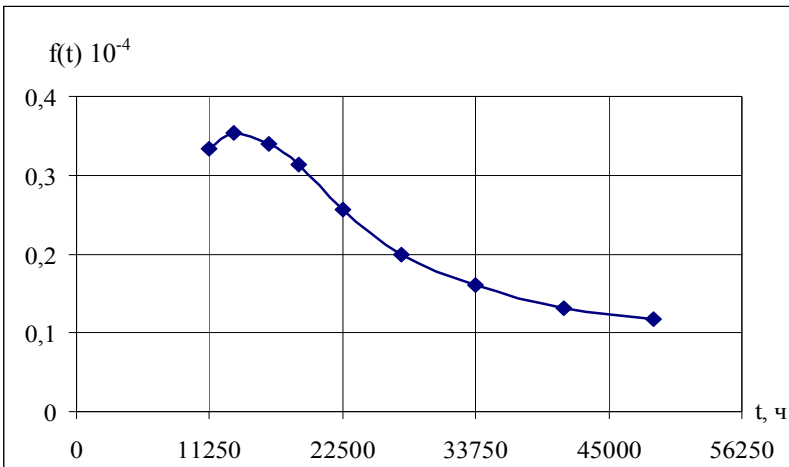


Рис. 3. Плотность вероятности распределения отказов после 2-го этапа модернизации и повышения надёжности ДКС-2

Таблица

Расчет показателей надежности ДКС-2 до и после первого и второго этапов модернизации

№	Периоды эксплуатации	Безотказная наработка, час			Простой, час		
		$\tilde{t}_{n.c.p.}$, среднее значение	Средне- квадратическое отклонение, σ	Кoeffи- циент вариации, ν_t	$\tilde{t}_{n.c.p.}$, сред- нее значение	$\sigma_{n.c.p.}$, средне- квадратическое отклонение	ν_n
1	<u>До модернизации</u> пуск, освоение, наладка	1128	1132	1,004	558	369	0,663
	Ранняя эксплуа- тация	6443	2454	0,38	264	240	0,91
2	После 1-го этапа модернизации	29062	12950	0,44	167	93	0,55
3	После 2-го этапа модернизации	57800	18326	0,32	109	39	0,36

В начале эксплуатации компрессорная станция ДКС-2 была оснащена 9-ю реставрированными газотурбинными двигателями, отработавших 1-2 ресурса (более 90000 ч.) и 9-ю компрессорами из которых только 3 были новыми, а остальные также реставрированными.

Как известно, в процессе реставрации агрегатов фирма – изготовитель Solar проводит выборочную замену только вышедших из строя узлов и деталей, а остальные части еще не полностью выработавшие свой ресурс, снова возвращаются на свои места. Поэтому, в период пуска, наладки и ранней эксплуатации станции произошли 17 серьезных отказов ответственных узлов и деталей, таких как газовая турбина, рабочие диски компрессоров, подушка компрессора и др.

Принимая во внимание специфику эксплуатации компрессорных агрегатов, управление надёжностью станции требует специального подхода. Это выражается следующим образом. Функционируя непрерывно 24 ч в сутки по балансу времени, станция может работать в режиме полностью отвечающим её номинальным параметрам производительности и давлению газа на выходе или в режиме восстановления из-за простоя одного или нескольких агрегатов. Цель данного подхода состоит в том, чтобы добиться такого режима, при котором время наработки каждого агрегата и станции в целом достигла максимума, а время простоя достигла минимума. Поскольку эти два показателя обратно пропорциональны по общему балансу времени, то оценивать надёжность станции с целью её управления следует с помощью комплексного показателя - коэффициента готовности – K'_r в выражении которого используются и суммарное время наработок, и суммарное время простоев.

Главная функция ДКС-2 заключается в бесперебойной поставке сжатого газа номинального объема и с требуемым давлением. Это требует высокой эффективности и надёжности эксплуатации каждого агрегата в отдельности и станции в целом. Поэтому в номенклатуру основных показателей надёжности были включены: время безотказной наработки, время восстановления и коэффициент готовности – как вероятность того, что агрегат (станция) окажется работоспособным в произвольный момент времени, кроме периодов, в течение которых проводятся плановые техобслуживания и ремонты.

Оценка эксплуатационной надёжности ТГК традиционными

методами и анализ физики отказов показали наличие экспоненциального распределения и распределения Вейбулла уже в раннем периоде эксплуатации, что свидетельствует о наличии разноресурсности и преобладания усталостных процессов, присущие более зрелому периоду составных частей агрегатов.

Первый этап эксплуатации характерен тем, что в результате глубокого и всестороннего анализа работы и оценки показателей надежности ТГК классическими методами теории надежности были получены данные, свидетельствующие о наличии скрытых внутренних дефектов и неисправностей производственно-технологического характера.

Вместе с тем факт отсутствия резервных ТГК с учетом возросшей нагрузки на остальные агрегаты после расширения станции и увеличения производительности во время плановых техосмотров и текущих ремонтов, требовал обеспечения высокой работоспособности и долговечности отдельных агрегатов с целью сохранения номинальных выходных параметров станции в течение всего периода жизненного цикла и гарантированного ресурса. Это стало возможным благодаря разработке и внедрению новой методологии оценки показателей надежности новых и реставрированных ТГК. Анализ текущей эксплуатационной информации о наработках, отказах и простоях ТГК показал значительно возросшие средние наработки до отказа и снижения среднего времени простоя, которые указаны выше приведенной таблице. Однако наличие в составе агрегатов все еще немалого количества узлов с ограниченными ресурсами повлияло на средние значения времени до капремонта и общего ресурса.

При этом средний K_G - коэффициент готовности за ранний период эксплуатации составил 0,8.

Как видно, полученное значение K_G (0,8) при высоких требованиях к этому показателю для объектов типа ДКС – 2 не может считаться достаточным. Таким образом, возникла необходимость в разработке специальных методик по управлению и обеспечению более высокой эксплуатационной надежности, эффективности и коэффициента готовности K_G .

В результате разработки и внедрения прогрессивной методологии и методов по оценке показателей надежности новых и реставрированных ТГК, работающих совместно, были рассчитаны реальные значения основных показателей надежности. После

внедрения соответствующих мероприятий по повышению показателей надежности ТГК с начальным ресурсом больше нуля, найдены зависимости по определению математического ожидания и дисперсии закона распределения времени безотказной работы до первого капитального ремонта и решена задача по установлению закона распределения остаточного ресурса.

Согласно полученным расчетам $K_{Г}$ после внедрения мероприятий по повышению и обеспечению эксплуатационной надежности в периоды после 1-й и 2-й модернизации и до конца периода наблюдений составил:

$$K_{Г} = \frac{\sum_{i=1}^n T_{ик}}{\left(\sum_{i=1}^n T_{ик} + \sum_{i=1}^n T_{iev} \right)} = 0,996$$

Таким образом, разница в значениях $K_{Г}$ до и после внедрения результатов диссертационной работы составила

$$\Delta K_{Г} = K_{Г(после)} - K_{Г(до)} = 0,996 - 0,8 = 0,196 \text{ или } 19,6\% \approx 20\%.$$

Для лучшей наглядности на (рис.4) приводится трёхмерная интерпретация динамики изменения коэффициента готовности до и после внедрения мероприятий по повышению надежности станции.

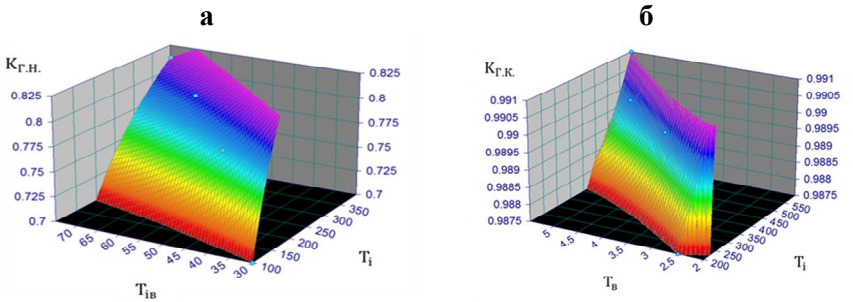


Рис.4. Трёхмерная интерпретация динамики изменения коэффициента готовности до и после внедрения мероприятий по повышению надежности станции

а - до внедрения мероприятий

б - после внедрения мероприятий

Впервые в данной работе коэффициент готовности станции рассчитан с учетом времени наработки и восстановления с применением «вектора управления». Таким образом, основным показателем по управлению и обеспечению надёжности ДКС-2 в процессе эксплуатации необходимо и достаточно применение комплексного показателя надёжности коэффициента готовности.

ВЫВОДЫ И РЕКОМЕНДАЦИИ

1. На основе обзора современного состояния в области конструирования, изготовления и эксплуатации компрессоров для сжатия попутного нефтяного газа определены пути развития их конструкций, изучены параметры назначения и надёжности, особенности функционирования и условий эксплуатации дожимных компрессорных станций (ДКС).
2. Установлено, что оценки эксплуатационной надёжности ТГК, классическими методами теории вероятностей и математической статистики недостаточно чётко объясняют физическую природу параметров законов распределений безотказности и долговечности реставрированных агрегатов. Оценка надёжности таких машин требует разработки новых научно-обоснованных и прогрессивных методов и методологий. Для новых и реставрированных агрегатов разработан метод оценки надёжности ТГК.
3. Предложен метод оценки граничных уровней контролируемых показателей надёжности ТГК при приемочных испытаниях. Разработан метод оценки вероятности безотказной работы ДКС-2 с применением модели диффузионного немонотонного распределения.
4. Разработаны алгоритм, прикладная программа и практические зависимости по определению среднего значения времени работы до капитального ремонта компрессорных агрегатов. Предложены модель и аналитические зависимости для математического ожидания и дисперсии распределения остаточного ресурса ТГК.
5. В результате внедрения прогрессивных методов повышения и обеспечения надёжности снижено время непроизводительных простоев агрегатов, за счет чего увеличилась реальная производительность станции ДКС-2.

6. Оценка показателей надежности на завершающем этапе исследований после проведения двух модернизаций и расширения ДКС-2 показала увеличение среднего срока службы агрегатов до капремонта и их долговечности соответственно в 1,4 - 2,1 раза.
7. Результаты исследования по повышению и обеспечению надежности турбогазокомпрессоров рекомендованы и введены в нормативно-техническую документацию НИИ «Нефтегазпроект» для использования при разработке и эксплуатации новых ДКС.
8. Результаты исследования по управлению и обеспечению на основе показателей надежности турбогазокомпрессоров рекомендованы и введены в эксплуатационно-техническую и ремонтную документацию ДКС-2.
9. Произведена оценка комплексного показателя надежности коэффициента готовности K_r до и после внедрения научно-технических мероприятий.

Основные научные и практические результаты работы опубликованы в следующих трудах:

1. Шахбазов Э.К., Насирова Т.И., Гаджиев С.К., Гулиева А.М. (Гасанова), Таирова Х.С. Об обеспечении надежности газотурбинной компрессорной станции // Изв. АН Азерб. Серия физико-технических и математических наук, № 5-6, том XV, Баку, 1994, с. 101-104;
2. Шахбазов Э.К., Гаджиев С.К., Гулиева А.М. (Гасанова). К вопросу повышения эффективности и качества проектов новых компрессорных станций для морских месторождений // Xəzərin neftqaz ehtiyatlarının mənimsənilməsinin inkişaf mərhələləri və perspektivləri “Dənizneftqazlayihə” DETLI-nin elmi əsərlər toplusu, Bakı, 1999, s. 393-396;
3. Гасанова А.М., Оздемир Н., Бабаев Ш.А. Явный вид эргодического распределения процесса полумарковского блуждания с отрицательным сносом и с задерживающим экраном в нуле // Изв. НАНА, №2, том XXIII, Баку, 2003, с.122-124;

4. Гасанова А.М. Распределение времени до первого капитального ремонта компрессора // Изв. НАНА, №3, том XXIII, Баку, 2003, с. 132-134;
5. Омарова К.К., Гасанова А.М. Преобразование Лапласа распределения первого момента достижения нижнего уровня прямым методом/ Труды Республиканской научной конференции «Современные проблемы информатизации, кибернетики и информационных технологий», III том, Баку, 2003, 28-30 апреля, стр.75-77;
6. Садыкова Р.И., Гасанова А.М.. Производящая функция нижнего граничного функционала ступенчатого процесса полумарковского блуждания с двумя задерживающими экранами/182-185.The international conference “Problems of cybernetics and informatics”, Volume I, october 24-26, 2006, Baku, Azerbaijan;
7. Hasanova A.M. Forecasting of the resource of basic working elements of the gas turbine engines of compressor stations. ICSCTE-2007/First International Conference on soft Computing Technologies in Economy. Proceedings. Baku, Azerbaijan, November 19-20, 2007, pp. 77-80. “Economic University” publisher, 2007;
8. Гасанова А.М., Ибаев Э.А. Распределение времени до первого пересечения уровня нуль процессом полумарковского блуждания // Изв. НАНА, №2-3, том XXVII, Баку, 2007, с. 97-100;
9. Гасанова А.М. Прогнозирование ресурса основных рабочих элементов газотурбинных двигателей компрессорных станций // Изв. НАНА, №3, том XXVIII, Баку, 2008, с. 126-129;
10. Гасанова А.М. Вероятностные модели определения усталостной прочности деталей газотурбинных двигателей компрессорных станций/ Сучасні проблеми математичного моделювання, прогнозування та оптимізації. Збірник наукових праць за матеріалами Третьої Міжнародної наукової конференції. Кам'янець-Подільський, К-ПНУ-2008, стр.40-46;
11. Arzu Hasanova, Shamil Babayev. Laplace transform of distribution to system's fist overhaul moment/ The third internatijnal conference «problems of cybernetics and informatics», Volume II, September 6-9, 2010, Baku, Azerbaijan, pp.130-133;
12. Насирова Т.И., Гасанова А.М.. Определение числовых характеристик момента первого капитального ремонта

- компрессорного устройства // Автоматика и вычислительная техника, май-июнь №3, Рига, 2011, стр.45-55;
13. Гасанова А.М. Преобразование Лапласа распределения до первого момента капитального ремонта устройства/ Материалы Международной конференции, посвященной 100-летию юбилею академика З.И.Халилова. Функциональный анализ и его приложения. Баку, 2011, стр.94-96;
 14. Гасанова А.М. Статистический анализ надежности работы газо-компрессорных станций // Теоретическая и прикладная механика. Межвузовский научно-технический журнал, т. VIII, № 2(30), Баку, 2013, с. 93-97;
 15. Шахбазов Э.Г., Гасанова А.М. Оценка вероятности безотказной работы компрессоров с применением диффузионного немонотонного распределения // Автоматизация, телемеханизация и связь в нефтяной промышленности, март №3, Москва, ОАО «ВНИИОЭНГ», 2014, с. 29-36.

Личный вклад соискателя в совместно опубликованных научных трудах:

[3], [8], [12], [15] – в этих работах соавторы участвовали в постановке задач и обсуждении результатов. В этих работах формирование основных результатов и их доказательство принадлежит автору диссертации.

A.M. Həsənova
KOMPRESSOR AQRƏQATLARININ İDARƏETMƏ VƏ
İSTİSMAR ETİBARLIĞININ TƏMİN EDİLMƏSİ
METODLARININ İŞLƏNMƏSİ

X Ü L A S Ə

Dissertasiya işi səmt neft qazını sıxmaq üçün qazturbimli kompressorların (QTK) istismar etibarlılığının qiymətləndirilməsi, yeni və restavrasiya olunmuş kompressor aqrəqatlarının istismarın səmərəliliyinin yüksəldilməsi üçün imtinasızlıq və uzunömürlük göstəricilərinin qiymətləndirilməsinin mütərəqqi elmi-əsaslandırılmış metodlarının işlənməsinə həsr olunmuşdur.

İşdə aşağıdakı elmi və təcrübi məsələlər qoyulmuş və həll edilmişdir:

- istismar prosesində QTK- ların etibarlılığının qiymətləndirilməsi üçün həm paylanma qanunlarının, həm də imtinaların mexanizminin təhlilindən ibarət olan və ehtimal-fiziki yanaşmaya əsaslanan modellər təklif olunmuşdur;
- qəbul sınaqları zamanı TQK-ların nəzarət edilən etibarlılıq göstəricilərinin sərhəd səviyyələrinin qiymətləndirilməsi (imtınaya qədər orta işləmə vaxtı və imtına edən aqrəqatların orta payı) metodu işlənmişdir;
- qəbul-təhvil sınaqları dövründə imtinasız işləmə vaxtı və imtinasız işləmə ehtimalının qiymətləndirilməsi üçün analitik ifadələr alınmışdır;
- sınaqlar zamanı və istismar prosesində TQK-ların tərkib hissələrinin imtinaları haqqında statistik məlumatın (mövcud olarsa) yeyilmə və yorğunluq dağıdılması prosesləri nəzərə alınmaqla aqrəqatların istismara yararlığı təyin edilməsi faktının məsələsi həll olunmuşdur;
- kompressor aqrəqatlarının əsaslı təmirə qədər iş vaxtının orta qiymətinin təyini üçün alqoritm, təbiiqi proqram dəsti, praktiki asılılıqlar işlənmişdir;
- yarımmarkov təsadüfi yayınma proseslərinin xassələrindən istifadə etməklə QTK- ların qalıq resursunun təyini, paylanmasının riyazi gözləməsinin və dispersiyanın hesablanması üçün praktiki asılılıqlar alınmışdır;
- elmi-texniki tədbirlərin tətbiqindən əvvəl və sonra etibarlılığın kompleks göstəricisi – K_h hazırlıq əmsalının qiymətləndirilməsi nəticəsində TQK-ların etibarlılığının zəruri səviyyəsinin təmin olunması və kompressor stansiyasının etibarlılığının bütün həyat tsikli ərzində idarə olunması üçün imkan verir.

Gasanova Arzu Movmin kizi
DEVELOPMENT OF CONTROL AND SECURITY METHODS OF
OPERATIONAL RELIABILITY OF COMPRESSOR UNITS

SUMMARY

The dissertation work is devoted to issues of estimation of operational reliability of turbogascompressors (TGC) for compression of associated petroleum gas and development of scientifically justified progressive methods for estimation of no-failure operation and durability indices of new and restored compressor units in order to improve efficiency of their operation.

In the work the following problems were stated and solved:

In order to estimate the reliability of TGC, the models based on probability-physical approach consisting of the use of analysis of both distribution laws and failure mechanisms were suggested;

- A method for estimating boundary levels of controlled reliability indices (mean time to failure and mean fraction of refused items) under acceptance tests of TGC was developed;
- Analytic expressions for estimating confidence intervals for no-failure operation time and for probability of no-failure operation in the period of approval tests were obtained;
- A problem on determination of serviceability of units to operation with regard to wear and fatigue failure processes, and also statistical data (if they exist) on failure of components of TGC in tests and in operation process, was solved;
- An algorithm, applied program, practical dependences for determining the mean working time to overhaul of compressor unit were developed;
- On the basis of application of properties of semi-markov processes of a random walk, a method for determining the residual resource of TGC was worked out, and practical dependences on calculation its mathematical expectation and variance were obtained;
- Operation efficiency estimation with ensuring necessary reliability level of TGC admitting to control it throughout all life cycle of the compressor station, was obtained.

**AZƏRBAYCAN DÖVLƏT NEFT AKADEMİYASI
“NEFTİN, QAZIN GEOTEXNOLOJİ PROBLEMLƏRİ VƏ
KİMYA” ELMİ-TƏDQIQAT İNSTİTUTU**

Əlyazması hüququnda

ARZU MOVMİN QIZI HƏSƏNOVA

**KOMPRESSOR AQRƏQATLARININ İDARƏETMƏ VƏ
İSTİSMAR ETİBALIĞININ TƏMİN EDİLMƏSİ
METODLARININ İŞLƏNMƏSİ**

3334.01 – Dəniz neft-qaz-mədən qurğuları

texnika üzrə fəlsəfə doktoru elmi dərəcəsi almaq üçün
təqdim edilmiş dissertasiyanın

AVTOREFERATI

BAKİ – 2014