

Методические подходы к обеспечению работоспособности компрессорного парка ПАО «Газпром» на принципах «эксплуатационной готовности»

Директор Центра газотранспортных систем и технологий

Сальников С.Ю.

Ведущий научный сотрудник

Щуровский В.А.

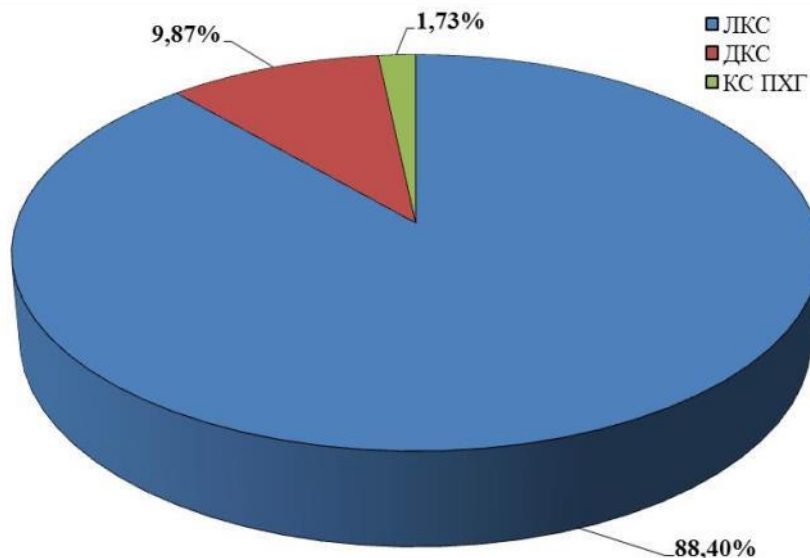
Начальник лаборатории технологического оборудования КС

Семушкин А.В.

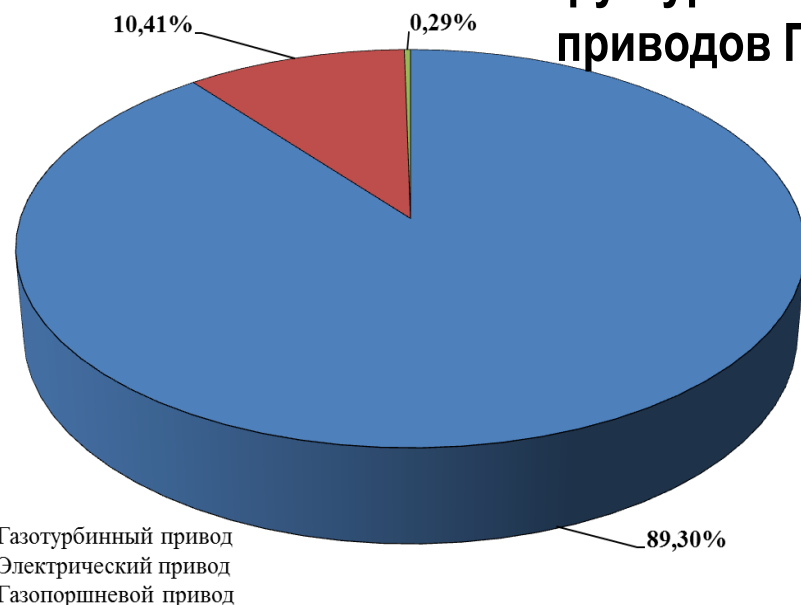
- Истощение источников Надым-Пуртазовского региона и перемещение центров добычи на Ямал и шельф;
- Создание системы газоснабжения Восточной Сибири и Дальнего Востока;
- Диверсификация экспортных потоков газа;
- Напряженность внешнего воздействия (экология и промбезопасность);
- Конкуренция независимых поставщиков газа, СПГ и газохимии;
- «Секторальные санкции» и импортозамещение.

Протяженность, тыс. км	более 180
Длина газопроводов, км	100-5000
Диаметры труб, мм	400-1420
Газопроводы Ду 1020-1420	более 60%
Рабочие давления, Мпа	5,45/7,45/8,35/9,8/11,8
Подземные хранилища газа, шт	26
Газораспределительные станции, шт	около 4000

Структура эксплуатируемого парка ГПА



Структура парка приводов ГПА



Структура парка ГПА

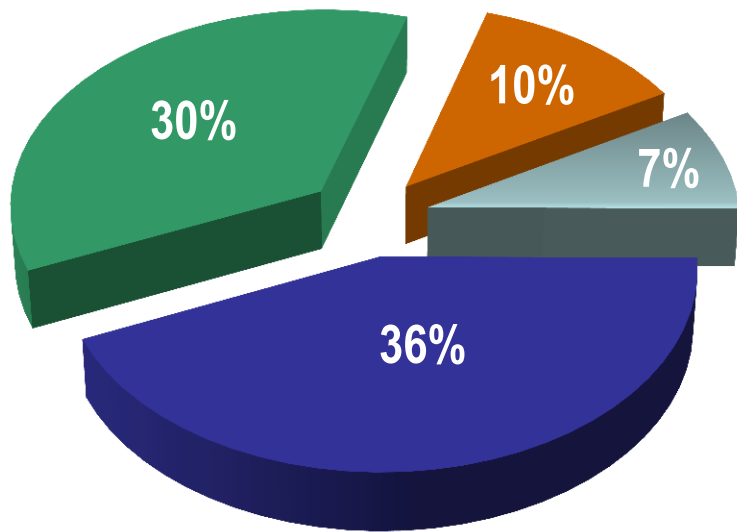
Типоразмер ГТ ГПА, МВт	До 8	10-12	16-18	25-32-50	Итого
Количество, шт.	778	1212	1347	346	3683
Мощность, МВт	4781	12267	21602	8694	47344
КПД, %	24,0...33,0	25,9...35,0	27,4...36,5	27,7...41,9	-
Средневзвешенный КПД, %	27,78	29,00	30,46	34,16	30,49
% по мощности	10,1	25,9	45,6	18,4	100,0

Парк ГПА:
более
4550 ед.

**Установленная
мощность:**
более 53 ГВт

Распределение парка газотурбинных ГПА по наработке

Технологический уровень парка ГПА



Дата ввода головного образца ГПА :

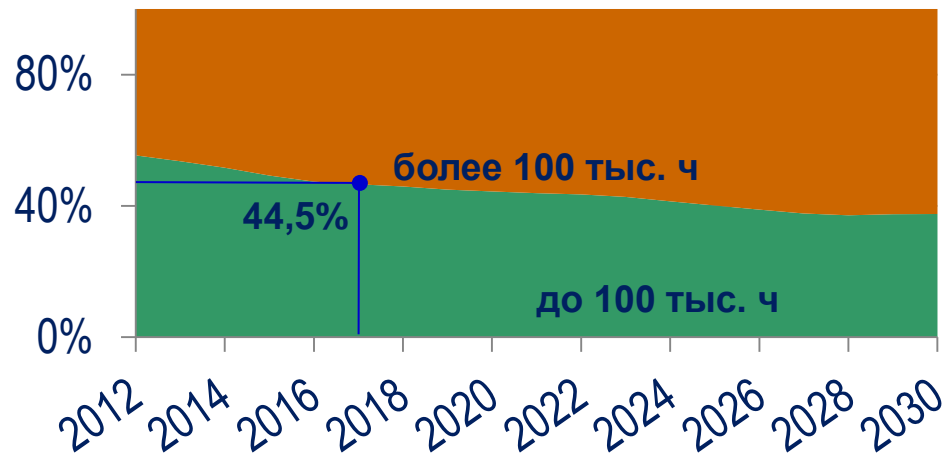
■ до 1965 г.

■ 1965-1973 гг.

■ 1979-1983 гг.

■ после 2000 г.

Прогноз наработки ГПА с учетом реконструкции и нового строительства



Тип ГПА	В диапазоне наработки, тыс. ч						
	до 40	40-70	70-100	100-130	130-170	170-200	>200
Установленная мощность, ГВт	8,7	7,2	8,9	10,8	8,3	2,1	0,1
Газотурбинные ГПА, %	19,9	13,6	19,9	23,5	19,1	3,6	0,4

Направления деятельности в процессе эксплуатации компрессорных станций

Технологическая функция и техническое состояние КС

Промышленная безопасность и управление рисками

Модернизация, реконструкция, консервация, инновации

Надежность

Импортозамещение



Техническое обслуживание и ремонт (в т.ч. диагностика)

Экология и энергоэффективность

Сертификация

Технологические особенности эксплуатации ГТС

Повышается неопределенность прогноза (планирования) технологического состояния ГТС в краткосрочной (1 год) и среднесрочной (3-5 лет) перспективе

На отдельных направлениях увеличивается неравномерность транспорта газа

Работоспособность КС стабильно поддерживается существующей системой ТОиР на определенном уровне без существенного обновления «старого парка» ГПА

Применяется директивный подход к планированию (квотированию) эксплуатационных затрат

Создается информационно-управляющая система транспортировки газа (ИУС-Т) и ее составляющая Система управления техническим состоянием и целостностью магистральных газопроводов (СУТСЦМГ),

Развитие «цифровых технологий» опережает развитие ее технико-технологической основы

Реконструкция компрессорных станций



Задача «реконструировать устаревшие мощности с темпом их сооружения» – не ставится;



Программы реконструкции объектов ГТС формируются путем ранжирования по приоритетам:

- обеспечение потоков для МЕГА-проектов;
- федеральные программы газоснабжения РФ;
- обеспечение максимального использования потенциала ПХГ;
- промышленная безопасность объектов МГ.

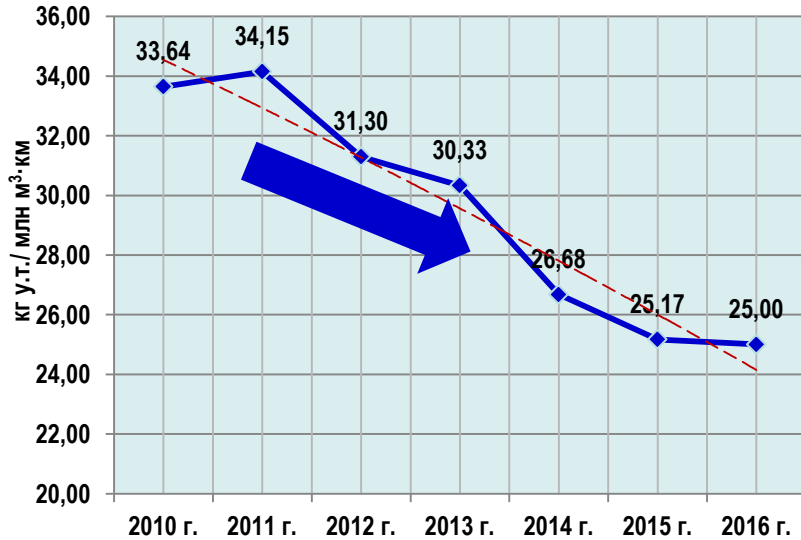


Реконструкция оказывает ограниченное влияние на повышение технологического уровня производства и пока не создает задела технических решений.

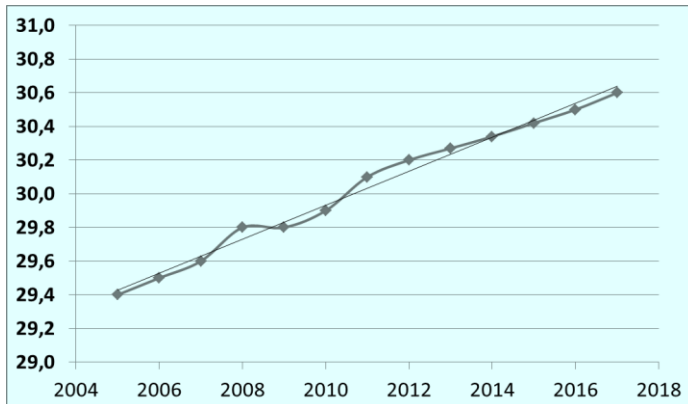


Основная часть парка КС эксплуатируется в режиме постоянного продления ресурса с применением «поузловой реновации» ГПА;

Удельный расход ТЭР в транспорте газа



КПД (%) парка ГТУ



При наличии огромного комплекта НТД (ГОСТ, СТО, Р, МУ) Энергоэффективность МГ характеризуют четыре физических показателя:

- коэффициент гидравлического сопротивления ЛЧ;
- скорость движения газа в трубе;
- коэффициент полезного действия процесса сжатия газа;
- коэффициент полезного действия привода (на муфте).

Разнообразие НТД – это менеджмент (для разных целей) процессов энергосбережения и оценки энергоэффективности.

Потенциал внутреннего покрытия труб используется для увеличения производительности, но не энергоэффективности.

Удельные затраты ТЭР на транспортировку газа уменьшаются (2,5% в год) за счет разгрузки «старых» ГТС и начальной частичной загрузки новых МГ.

КПД газотурбинного парка увеличивается на 0,35%(отн.) в год. Реконструкция КС не оказывает принципиального влияния на энергоэффективность вследствие ограниченности ее объемов.

Программа утилизации тепла выхлопа ГПА также не окажет принципиального влияния на энергоэффективность по технико-экономическим причинам и из-за неприспособленности к режимам эксплуатации КС.

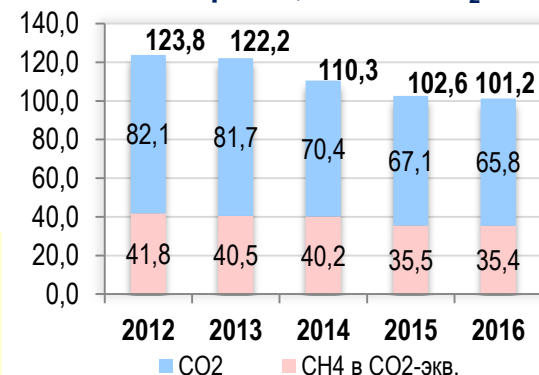
Методология нормирования и планирования энергоресурсов требует коренной актуализации на базе реальных режимов и характеристик оборудования и современных возможностей IT-технологий.

Выбросы парниковых газов (CO_2 на выхлопе ГПА) – это прямая функция расхода топливного газа (при сгорании 1 м^3 газа генерируется $1,84 \text{ кг CO}_2$) и описывается аналогичными энерготехнологическими режимными зависимостями. Эмиссия метана – это продувки, стравливания, утечки ...

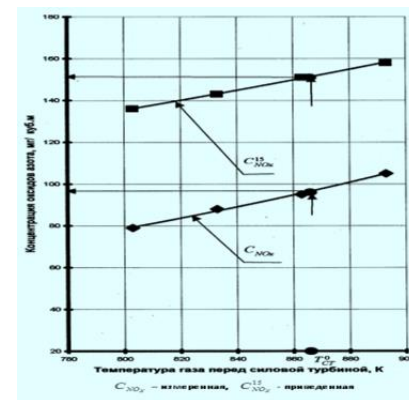
Понятия типа «углеродный след», «декарбонизация», «наилучшие доступные технологии» - инициируются в борьбе политических и коммерческих интересов

- ! Существует проблема автоматизации измерения и учета выбросов ВВ (инструментально или расчетно);
- ! Для малоэмиссионных камер сгорания режимные зависимости (подобно Р Газпром 2-3.5-438-2010) пока не исследованы;
- ! Показатель эмиссии Nox , устанавливаемый в мг/куб.м (при $15\% \text{ O}_2$) не учитывает уровень КПД и этим ужесточил требования к ГПА.

Выбросы парниковых газов
 ПАО «Газпром», млн. т. CO_2 -экв



Режимные характеристики
 выбросов ВВ



В любой системе оценки технического уровня, качества, технического состояния, диагностики, аудита, сертификации и т.д. основой являются:

- четкое определение объекта;
- показатели и критерии;
- программы и методики оценки (испытаний).

Исторически на этом поле деятельности для компрессорных станций и их объектов ведущими организациями были **ВНИИГАЗ** и **ОРГЭНЕРГОГАЗ**.

В настоящее время (для поддержки ИНТЕРГАЗСЕРТ) имеется возможность решить проблемы в рамках планируемой разработки документов типа ОТУ для ГПА и его базовых элементов (ГТД, ГТУ, ЦБК). Исходная база – ГОСТ и СТО Газпром.

Общие технические условия (ОТУ) – это руководящий документ, устанавливающий для одного или нескольких видов продукции всесторонние требования, соблюдение которых должно обеспечиваться при производстве, поставке, эксплуатации, ремонте и утилизации.

ОТУ имеют целью **актуализировать** и **унифицировать** показатели назначения, надежности, энергоэффективности и экологии.

Возможные концепции ТОиР



Концепция **«безотказности»** - приоритет безотказности на базе систем диагностики для обеспечения «живучести» объекта.
Авиация и морской транспорт.



Концепция **«риск-ориентированной эксплуатации»** – коммерческая оптимизация на принципе: «дополнительная производственная мощность за счет ресурса и надежности».
Электростанции (прежде всего пиковые и аварийные).



Концепция **«безопасности»** – приоритет процедур и технологий промышленной безопасности.
Трубопроводы и емкостное оборудование с большими сроками службы.



Концепция **«проектной работоспособности»** - поддержание проектной работоспособности КЦ и устойчивая базовая эксплуатация с максимальной интенсивностью по времени использования и нагрузке.
Компрессорные станции 1960-1980 гг.



Концепция **«эксплуатационной (производственно-технологической) готовности»** – поддержание работоспособности КС на оптимальном уровне соответственно реальным режимным требованиям МГ (ГТС).
Современные компрессорные станции

Готовность
(ГОСТ 27.002-2015)

Свойство объекта, заключающееся в его способности находиться в состоянии, в котором он может выполнять требуемые функции в заданных режимах и условиях применения, технического обслуживания и ремонта в предположении, что все необходимые внешние ресурсы обеспечены.

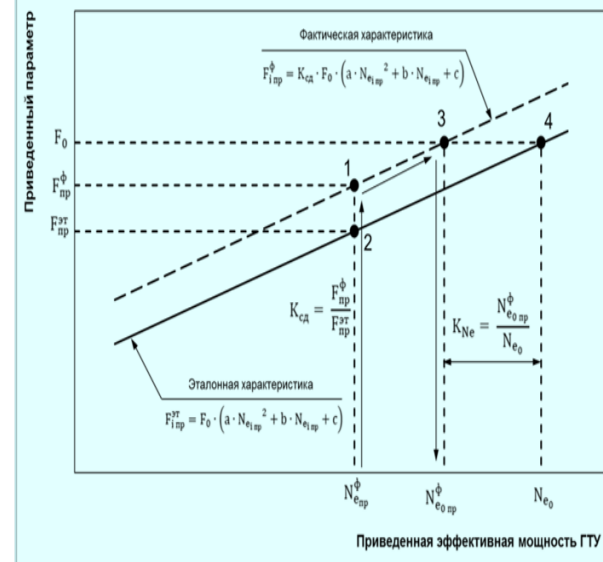
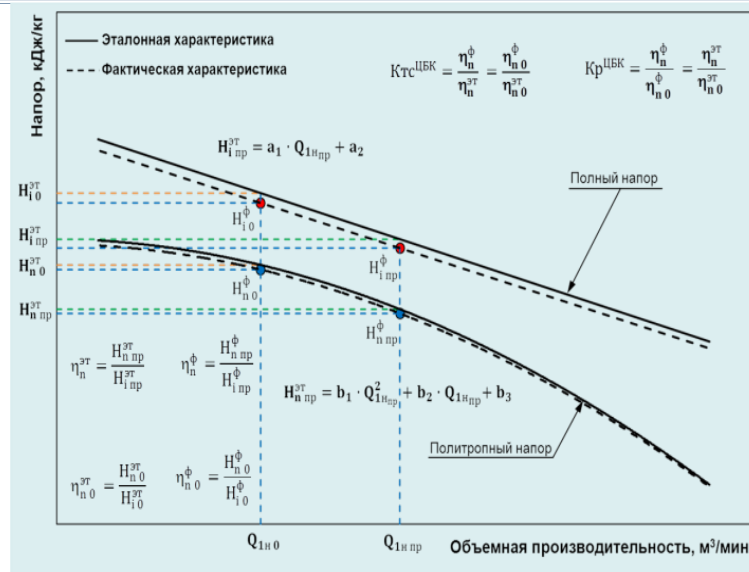
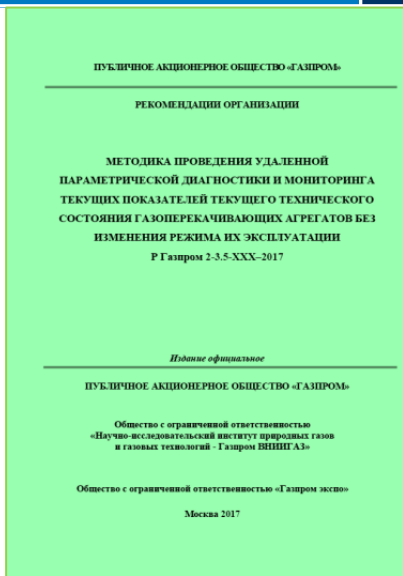
Менеджмент эксплуатационной готовности (Asset Performance management) включает в себя 3 этапа:

1. Удаленный мониторинг текущих эксплуатационных показателей ГПА;
2. Оценка и анализ показателей надежности;
3. Оптимизация и планирование ТО и Р.

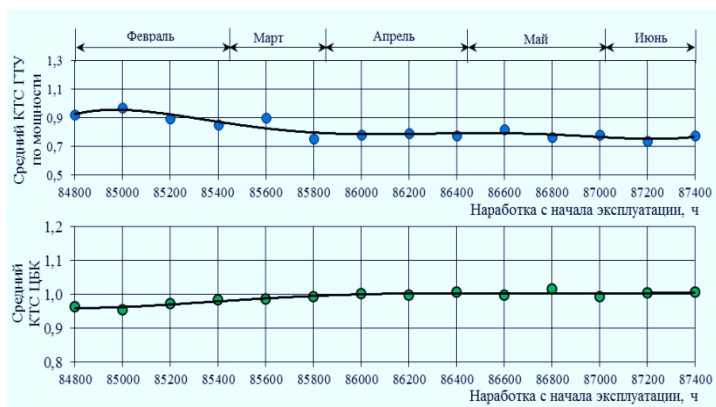
В настоящее время мы находимся в первом этапе

Все направления эксплуатации, включая энергосбережение, экологию, промышленную безопасность, риски, реконструкцию, СУТЦ ПО, надежность, ТОиР, сертификацию и др., должны иметь методическое обеспечение (МО), основанное на единых понятиях, терминах, показателях, критериях и результатах мониторинга реальных эксплуатационных данных. Т.е. «сначала МО – потом «цифровизация» в форме текущих «цифровых двойников» ГПА и КЦ».

Технология удаленной параметрической диагностики (Р Газпром 2-3.5-1107-2017)



- Оценка технического состояния ГПА без изменения режимов эксплуатации (наряду с результатами эксплуатационных испытаний) на базе штатно-измеряемых параметров;
- Единая номенклатура КТС и единая методика их определения и применения;
- Разработка и создание банка данных эталонных характеристик ГТУ и ЦБК на базе термодинамического подобия турбомашин и единых для определенного типа ГТУ (ЦБК);
- Учет фактических «уставок» САУ в качестве фактора технического состояния;
- Простая корректировка эталонных характеристик с помощью коэффициентов технического состояния.



Поддержание базы статистических данных о режимах эксплуатации, надежности, техническом состоянии и показателях ТОиР.

Унификация методов их обработки и анализа.

Система эксплуатационных показателей:

- наработка (абсолютная и относительная);
- остаточный межремонтный ресурс;
- коэффициент технического состояния по мощности и энергоэффективности ГТУ и ЦБК;
- коэффициент готовности (K_G);
- коэффициент технического использования ($K_{ТИ}$);
- удельные показатели ТОиР.

Планирование процесса ТОиР:

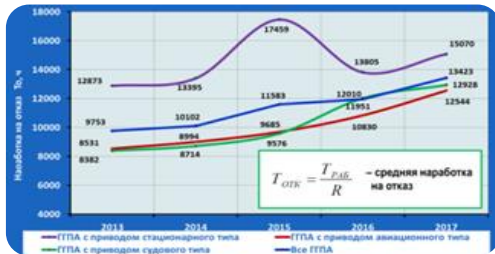
- технологическое задание по товаротранспортной работе ГТС;
- определение параметров компримирования КС с учетом технического состояния;
- расчет баланса времени ГПА с учетом надежности и выработки ресурса;
- планирование «ремонто-часов» и объемов ТОиР;
- ранжирование КС в пределах выделенных лимитов.

Комплексные показатели эксплуатационной готовности

$$K_{ЭГ} = K_{ГТУ} K_{ЦБК} K_G - \text{вынужденный простой} + \text{коэффициенты сохранения эффективности}$$
$$K_{ЭГ} = K_{ГТУ} K_{ЦБК} K_{ТИ} - \text{ТО и Р} + \text{коэффициенты сохранения эффективности}$$

Статистические показатели надежности парка ГПА

Классическая диаграмма «приработка-стабилизация-деградация» не имеет места, т.к. основная часть парка эксплуатируется в режиме постоянного применения «поузловой реновации» ГПА.



Средняя наработка на отказ всего парка газотурбинных ГПА ПАО «Газпром» является стабильной и имеет тенденцию к росту (текущий показатель – около 12 тыс.ч.). Конструктивные дефекты и их последствия для определенных типов известны.



Коэффициент готовности (K_г) неустойчив на уровне 0,94;



Коэффициент технического использования (K_{ТИ}) всего парка газотурбинных ГПА имеет тенденцию к росту (текущий показатель – около 0,80).

Нарботка на пуск – в среднем около 350 час (диапазон – 100-700 ч.) – необходимо изучение.

Относительное (к календарному) время работы на уровне 30-35 %.

Существующая система сбора, обработки и анализа статистических показателей надежности ГПА построена в основном в соответствии с ОСТ 51.136-85.

Система требует актуализации по следующим направлениям:

- система показателей, в том числе для целей оценки ТС;
- совершенствование набора показателей для СЦП;
- автоматизация системы сбора показателей;
- универсальность применения в разных процессах: маркетинг (BEN), оценка стоимости жизненного цикла (LCC), анализ риска (QRA), анализ надежности, готовности и обслуживаемости (RAM), программы повышения надежности (RCM);
- преемственность к действующей практике;
- статистика эксплуатации и ТО и Р;
- методика структурного анализа причин отказов;
- нормирование показателей (укрупненно или индивидуально);

Но для обеспечения процесса поддержки эксплуатационной готовности существующая система статистических показателей может быть применена с некоторыми модификациями (показатели ресурсов), что выполнено в МРД для СУТСЦ ПО и применяется ВНИИГАЗом для обоснования программ реконструкции.

Многолетний опыт (СТО Газпром 2-2.3-681-2012) предусматривает следующие виды ТОиР:

- техническое обслуживание при использовании;
- техническое обслуживание агрегата, находящегося в резерве;
- плановые ремонты (средний и капитальный);

- режимы работы (потребляемая мощность и количество мото-часов);
- процесс физического старения и деградации эксплуатационных показателей;
- показатели надежности, определяющие время работоспособного состояния;
- удельные затраты времени и ресурсов для ТОиР;

Объем и затраты ТОиР определяют следующие факторы:

Эксплуатационные возможности оптимизации затрат на ТОиР содержатся в комбинации:

- межремонтных ресурсов (продление или перераспределение объемов по видам);
- технического состояния (ГТУ и газового компрессора);
- показателей надежности с учетом нормативного резервирования.

Опыт применения многофункциональных (комплексных) АСД и построения на их основе вертикально-интегрированных систем диагностического сопровождения парка ГПА **не получил широкого распространения по технико-экономическим критериям** (стоимость многофункциональных АСД может составлять до 10% стоимости ГТУ).

При этом «старый» парк ГПА имеет достаточно высокие показатели надежности.

НОВЫЕ ПОДХОДЫ

Технологический on-line мониторинг характеристик ГТУ и ЦБК в составе САУ
(Р Газпром 2-3.5-1107-2017)

Вибромониторинг и виброзащита – в составе САУ

Диагностика состояния узлов и деталей – элемент системы ТО и Р , выполняемая специализированными службами (производитель, ремонтник)

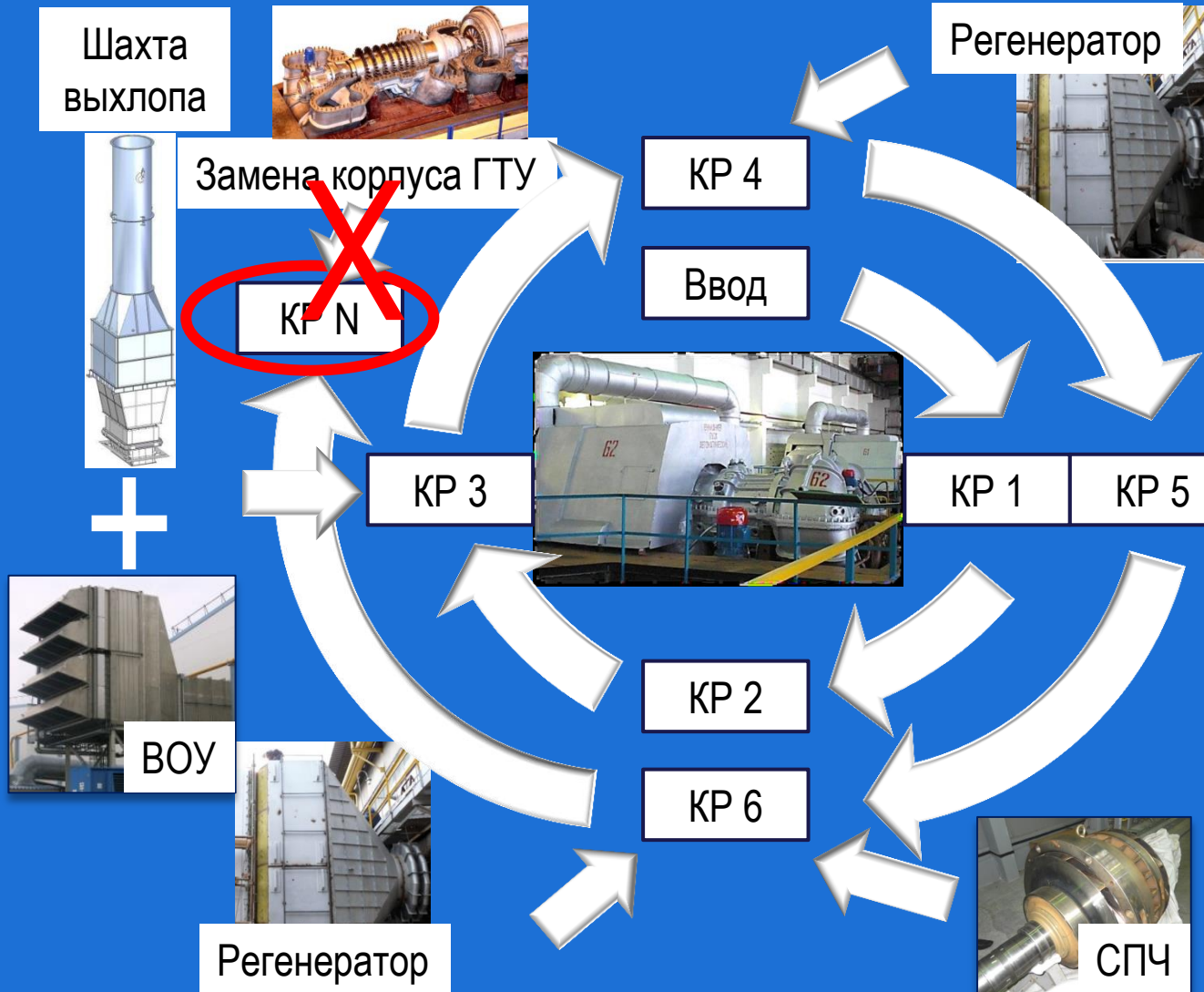
Эксплуатация ГПА «по состоянию» на базе решения следующих взаимосвязанных задач:
а) нормативного продления ресурсов после длительной наработки; б) оперативного применения показателя «эквивалентной наработки»

Долгосрочные «сервис-контракты»

Жизненный цикл ГПА конвертированного типа



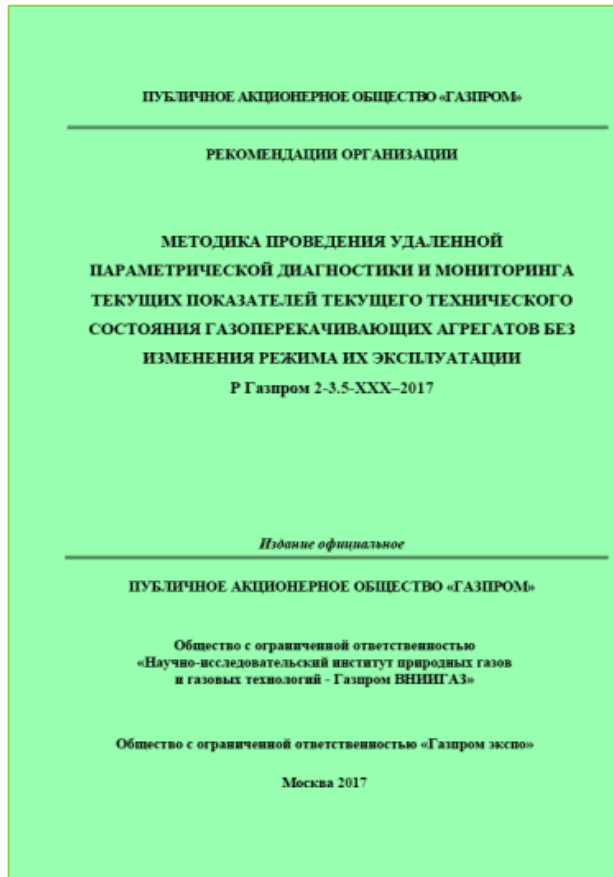
Жизненный цикл ГПА промышленного типа



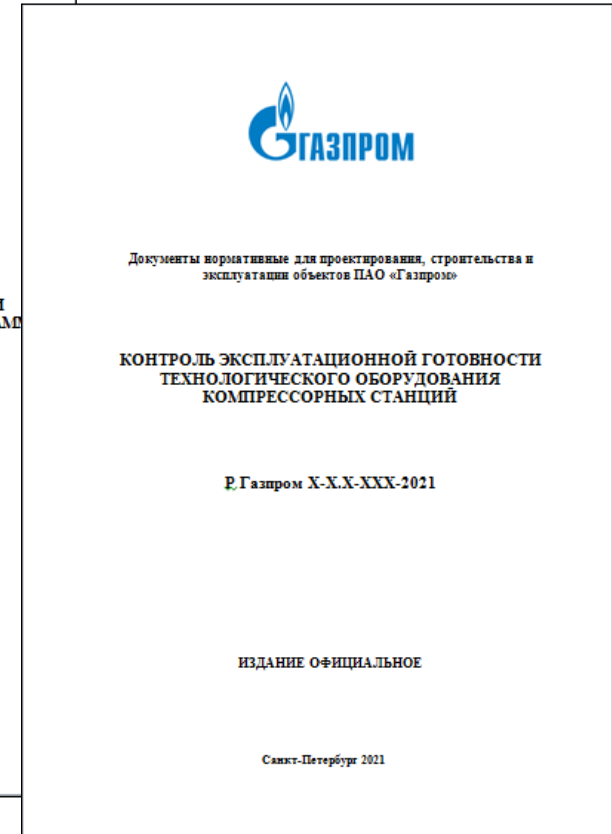
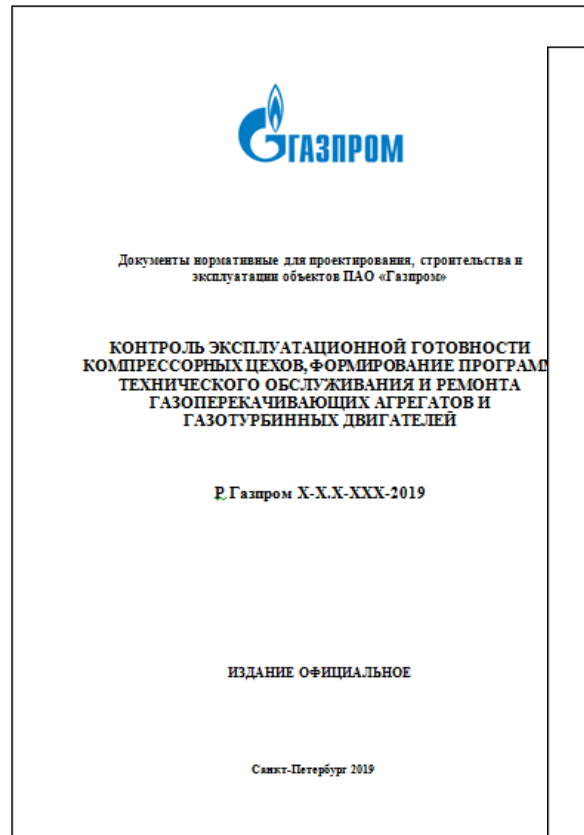
- ✓ Детали и узлы ГПА обновляются как и у конвертированных ГПА
- ✓ Имеется возможность замены всех ресурсных деталей и узлов ГТУ в рамках КР за исключением корпуса
- ✓ Отсутствует обменный фонд ГТД

Средний предельный срок эксплуатации ГПА ограничен ресурсом корпуса ГТУ

**Этап 1: Р Газпром 2-3.5-1107-2017
«Методика ... удаленной
параметрической диагностики ...
текущего технического состояния
ГПА без изменения режима...»**



**Этапы 2, 3 Договор №6558-308-18-9 на выполнение НИР
: «Развитие комплексной системы контроля и управления ТС
оборудования КС на основе данных штатных систем диагностики и
телеметрии ...»**



БЛАГОДАРЮ ЗА ВНИМАНИЕ!

Центральный офис
ООО «Газпром ВНИИГАЗ»
п. Развилка, Московская область
internet: www.vniigaz.ru
intranet: www.vniigaz.gazprom.ru
e-mail: vniigaz@vniigaz.gazprom.ru
телефон: (+7 498) 657-42-06
факс: (+7 498) 657-96-05

Филиал ООО «Газпром ВНИИГАЗ» в г.
Ухта
ул. Севастопольская, 1а,
г. Ухта, Респ. Коми, РФ
Тел/факс (+7 2147) 3-01-42
Газсвязь: 787-748-70, 787-723-11
e-mail: sng@sng.vniigaz.gazprom.ru

Отдел по научному
и техническому
сопровождению комплексного
освоения месторождений
полуострова Ямал и
прилегающих акваторий г.
Салехард