

УДК 519.248

ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕХНИЧЕСКИХ РИСКОВ ЭКСПЛУАТАЦИИ ГПА-4РМ**Маркварт Сергей Алексеевич,**

студент,

Балтийский Федеральный Университет им. И. Канта, ОНК Институт высоких технологий,

Калининград, Российская Федерация

e-mail mark1337@internet.ru

Аннотация

На современном этапе развития техники обеспечение безопасности и безаварийности ее функционирования представляет безусловный приоритет, для руководства любой организации. В нефтегазовом комплексе, являющимся одним из наиболее опасных с точки зрения реализуемых процессов данное направление работы также является одним из главных. Однако, необходимо отметить, что распределение риска внутри нефтегазового комплекса (как и в любой другой сложной системе) неравномерно. Наибольшие технические риски возникают в тех частях технологической цепочки, где происходят активные физические или химические процессы, т.е. реализуются наиболее комплексные и сложные системы факторов. Подобными аппаратами как правило являются двигатели, насосы, компрессорные и газоперекачивающие установки, ректификационные колонны. Особенности их эксплуатации налагают дополнительные требования по техническому обслуживанию и поддержанию безаварийного состояния.

В представленном исследовании проводится поэтапный анализ специфики эксплуатации газоперекачивающего агрегата ГПА-4РМ, а также рассматриваются технические риски возникающие в ходе работы перекачивающего оборудования. Оценивается вероятность реализации рисков, рассматриваются возможные причины влияющие на падение надежности техники. Предлагаются методы, позволяющие снизить вероятность возникновения рисков отказа газоперекачивающего агрегата, а также приводятся примеры технических решений, которые могут быть полезны в ходе риск-менеджмента эксплуатации установок типа ГПА-4РМ, и другого энергетического оборудования.

Ключевые слова: газоперекачивающее оборудование, анализ отказов, технический риск, риск менеджмент, ГПА-4РМ, методы управления риском.

INVESTIGATION OF TECHNICAL RISKS OF OPERATION GPA-4RM**Sergey A. Markvart,**

student,

Immanuel Kant Baltic Federal University, Institute of High Technologies, Kaliningrad, Russian

Federation

e-mail mark1337@internet.ru

ABSTRACT

At the current stage of technological development, ensuring the safety and reliability of its functioning is an unconditional priority for the management of any organization. In the oil and gas industry, which is one of the most dangerous in terms of the implemented processes, this area of work is also one of the main priorities. However, it should be noted that risk distribution within the oil and gas industry (as in any other complex system) is uneven. The greatest technical risks arise in those parts of the technological chain where active physical or chemical processes occur, i.e. the most complex and complicated systems of factors are implemented. Such equipment typically includes engines, pumps, compressors, gas transfer units, and rectification columns. Their operation features impose additional requirements for technical maintenance and maintenance of the accident-free condition.

The presented study provides a step-by-step analysis of the specificity of operating the gas transfer unit GPA-4RM, as well as examines the technical risks arising during the operation of pumping equipment. The probability of risk realization is evaluated, and possible causes affecting the reliability of the equipment are considered. Methods are proposed to reduce the likelihood of failures of the gas transfer unit and examples of technical solutions that may be useful in risk management of installations such as GPA-4RM and other energy equipment are provided.

Keywords: gas transfer equipment, failure analysis, technical risk, risk management, GPA-4RM, risk management methods."

ВВЕДЕНИЕ

ГПА-4РМ — это газоперекачивающий агрегат, который используется для перекачки газа на различных этапах производства. Данное оборудование является одним из самых эффективных в области насосно-компрессорной техники и широко применяется в различных отраслях промышленности, таких как нефтегазовая, химическая, энергетическая и др. Однако, при использовании любого технического устройства, всегда существуют технические риски, которые могут повлиять на безопасность и надежность его работы. В случае ГПА-4РМ, эти риски могут быть связаны с различными аспектами, такими как конструкция, материалы, производственные процессы, эксплуатация и другие [1]. В исследовании был проведен анализ технических рисков, связанных с использованием ГПА-4РМ, и представлены рекомендации по их снижению.

Целью работы является разработка предложений по повышению уровня безопасности и надежности работы ГПА-4РМ, а также оптимизация технологических процессов, реализуемых установкой.

1. Устройство ГПА и основные аспекты ее эксплуатации.

Технологический процесс работы ГПА-4РМ включает следующие этапы:

А) Подготовка агрегата к работе: проверка состояния всех систем и устройств, запуск вспомогательного оборудования, подача топлива и масла в двигатель.

Б) Запуск двигателя: включение электростартера, подача воздуха и топлива в камеру сгорания, контроль скорости вращения турбины.

В) Работа ГПА-4РМ: в процессе работы газ из газопровода попадает во входной патрубке компрессора, где его сжимают и подают в камеру сгорания. Топливо подается в камеру сгорания, где смешивается с сжатым газом и сгорает, расширяясь и выходя через выходной патрубке в газопровод.

Г) Остановка ГПА-4РМ: снижение скорости вращения турбины, остановка подачи топлива и воздуха, остановка электростартера.

Этот процесс контролируется и управляется автоматическими системами и оператором на пульте управления [2] (рис. 1).

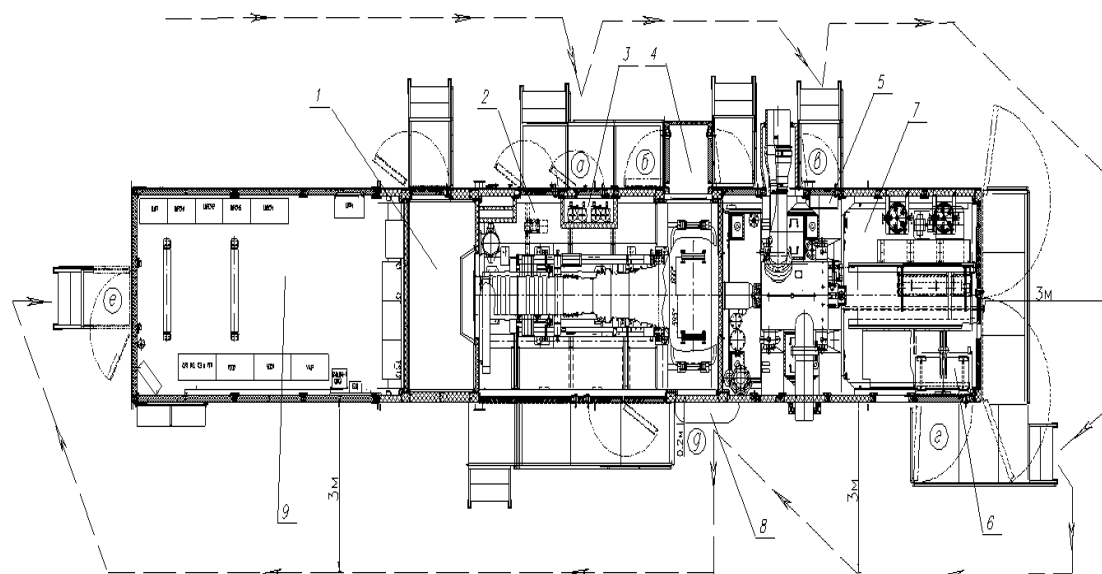


Рисунок 1 – Внутреннее строение агрегата ГПА 4РМ

1-Воздухоприемная камера; 2-Отсек ГТД; 3-Помещение маслофильтров; 4-Отсек пожаротушения; 5-Панель манометров; 6-Шкаф СГУ; 7-Отсек нагнетателя; 8-Подсистема топливопитания; 9-Блок электротехнический.

Наиболее узкими местами в технологическом процессе работы ГПА-4РМ являются следующие:

А) Запуск двигателя: необходимо правильно настроить подачу топлива и воздуха в камеру сгорания, чтобы обеспечить стабильный запуск и избежать повреждения оборудования.

Б) Работа ГПА-4РМ: процесс сжатия газа и его перекачки может приводить к увеличению температуры внутри агрегата, что может привести к износу и повреждению деталей. Поэтому необходимо контролировать температуру и давление внутри агрегата.

В) Остановка ГПА-4РМ: важно правильно снизить скорость вращения турбины и остановить подачу топлива и воздуха, чтобы избежать повреждения оборудования при остановке.

2. Обзор основных технических рисков, возникающих в ходе эксплуатации ГПА-4РМ

Несмотря на то, что ГПА-4РМ является надежным оборудованием, в процессе его эксплуатации могут возникать различные технические риски, которые могут привести к авариям, остановке производства и потере рабочих характеристик [3]. На данном этапе рассмотрим основные технические риски, которые могут возникнуть в ходе эксплуатации ГПА-4РМ.

1) Износ деталей и компонентов: В процессе эксплуатации ГПА-4РМ может происходить износ деталей и компонентов, что приводит к снижению производительности или поломке оборудования. В связи с чем необходимо проводить регулярное обслуживание и замену изношенных деталей [4]. Для оценки вероятности износа деталей ГПА-4РМ можно использовать данные об их среднем сроке службы и оценить их текущее состояние. Например, если детали не были заменены в течение предыдущих нескольких лет, вероятность их износа может быть высокой (порядка 20-30%).

2) Повреждения корпуса и обвязки: ГПА-4РМ может быть поврежден в результате столкновений с другими объектами, падения предметов или других факторов, что может привести к нарушению работоспособности оборудования. Вероятность повреждения оборудования может зависеть от условий его эксплуатации и наличия мер предосторожности, таких как ограждения и защитные элементы [5]. Если оборудование расположено на месторождении с большим количеством другой техники, то вероятность столкновения или повреждения за весь срок эксплуатации может быть выше (порядка, 5-10%).

3) Взрывоопасность: ГПА-4РМ работает с газовой средой, что при нарушении технологического процесса может привести к взрыву в случае утечки или искрения. Поэтому важно соблюдать соответствующие меры предосторожности, такие как правильная установка и обслуживание оборудования, использование антистатического оборудования и т.д. Для оценки вероятности взрыва можно учитывать наличие газа, который перекачивается ГПА-4РМ. Например, если система контроля и управления перекачкой газа находится в плохом состоянии, вероятность взрыва может быть выше (порядка 5-10% за весь период эксплуатации установки).

4) Неисправность системы управления: Неисправность системы управления ГПА-4РМ может привести к нарушению работы оборудования и повреждению деталей. Поэтому необходимо проводить регулярное техническое обслуживание системы управления и ее компонентов. Для оценки вероятности неисправности системы управления можно использовать данные об их среднем сроке службы, а также учитывать частоту технического обслуживания и замены компонентов. Например, если система управления не была заменена в течение межремонтного периода, вероятность ее неисправности может быть выше (повышается на 10-15% от каждого пропуска на этапе текущего и среднего ремонтов).

5) Нарушение требований эксплуатационной документации: Неправильное использование ГПА-4РМ может привести к повреждению оборудования и опасным ситуациям. Поэтому важно соблюдать все положения, указанные в эксплуатационной документации. Вероятность нарушения эксплуатационной документации может быть высокой, если персонал не прошел достаточной обучения и тренировки, чтобы понимать и следовать правилам эксплуатации оборудования. Также, если нет контроля за выполнением правил эксплуатации или если нет учета и аудита за соблюдением правил, вероятность нарушения может увеличиваться.

Кроме того, следует учитывать, что многие технические риски могут пересекаться и синергировать друг друга. Например, если система управления выходит из строя, это может повысить вероятность взрыва. Поэтому при оценке технических рисков необходимо учитывать их взаимодействие и оценить общую вероятность возникновения отказа оборудования[1].

3. Методы расчета вероятности возникновения технических рисков

Существуют разные методы расчёта вероятности возникновения технических рисков, выделим наиболее оптимальные. К ним относятся: метод анализа рисков, метод, связанный с моделированием событийного дерева, метод экспертной оценки, а также метод факторного анализа [6].

Один из распространенных подходов — это метод анализа рисков. Этот метод позволяет определить вероятность возникновения технических рисков на основе анализа различных факторов, включая характеристики оборудования, условия эксплуатации, квалификацию персонала и т. д. Кроме того, этот метод позволяет оценить возможные последствия рисков и определить меры по их предотвращению или снижению по формуле (1)

$$R = P * V; \quad (1)$$

где: R - общий риск; P - вероятность наступления нежелательного события; V - воздействие или ущерб, который может быть причинен в результате этого события.

Вероятность возникновения неблагоприятного события может быть оценена на основе статистических данных, экспертных оценок или других методов. Степень воздействия может быть оценена по различным параметрам, например, по степени повреждения оборудования, длительности простоя и т.д. [7].

При использовании данной формулы необходимо учитывать, что она не может учесть все факторы, влияющие на риск, и поэтому результаты могут быть приблизительными. Кроме того, важно правильно определить вероятность и степень воздействия на основе адекватной оценки рисков. Допустим, проводится анализ технических рисков для ГПА-4РМ, связанных с вероятностью возникновения аварии из-за отказа одного из элементов вращающейся части. Для проведения такого анализа можно использовать математический метод, называемый моделированием событийного дерева. С помощью этого метода можно определить вероятность возникновения отказа каждого элемента вращающейся части и вероятность возникновения аварии при отказе каждого элемента. Для примера, предположим, что у нас есть 12 элементов вращающейся части: А, В, С, D, E, F, G, H, I, J, K, L. Мы знаем, что вероятность отказа элемента А равна 0,01, элемента В - 0,03, элемента С - 0,02, элемента D - 0,04, элемента E - 0,01 и так далее.

Также известно, что при отказе элемента А вероятность возникновения аварии равна 0,02, при отказе элемента В - 0,05, при отказе элемента С - 0,03, при отказе элемента D - 0,06, при отказе элемента E - 0,02 и так далее.

С помощью метода моделирования событийного дерева можно представить все сценарии отказов и аварий, а также их вероятности. Например, можно построить следующее дерево событий (рис. 2):

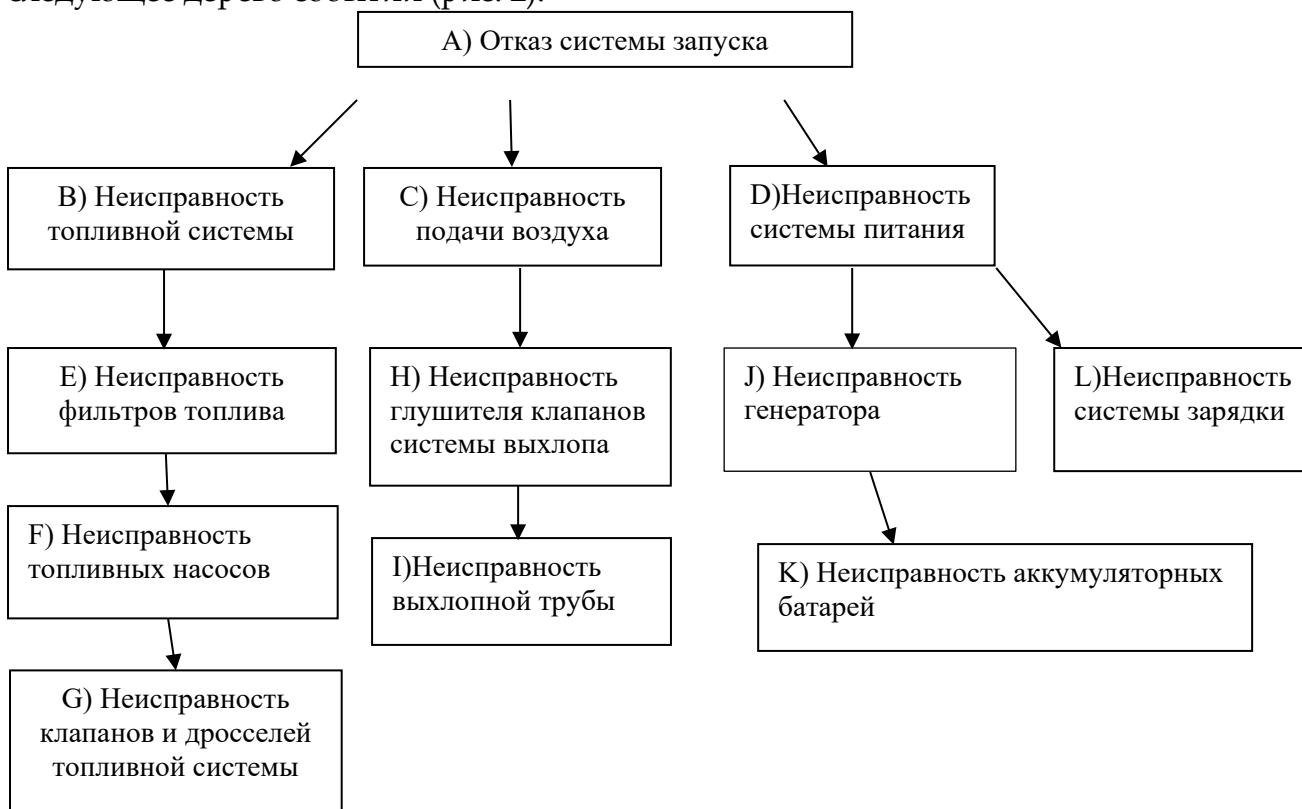


Рисунок 2. Дерево отказа системы запуска ГПА-4РМ

Это дерево показывает нам все возможные сценарии отказов элементов вращающейся части газоперекачивающей установки и возникновения аварий, а также вероятность каждого сценария. Например, вероятность того, что произойдет отказ элемента А и возникнет авария, равна $0,01 * 0,02 = 0,0002$, а вероятность того, что произойдет отказ элемента В и возникнет авария, равна $0,03 * 0,05 = 0,0015$.

Таким образом, мы можем использовать это дерево для оценки технических рисков и принятия решений об улучшении системы [8].

Еще один метод – это экспертная оценка. Данный метод основан на мнении специалистов, имеющих опыт работы с ГПА-4РМ и их знаниях в области его эксплуатации. Эксперты могут оценить вероятность возникновения технических рисков на основе своего опыта, а также предложить меры по их устранению.

Для экспертной оценки может быть записана формула (2):

$$P = \left(\frac{Nf}{Nt} \right) * 100\%; \quad (2)$$

где: P - вероятность возникновения технического риска; Nf - количество экспертов, которые считают, что риск может произойти; Nt - общее количество экспертов, которые дали свои оценки.

Рассмотрим пример использования метода экспертных оценок для оценки технических рисков у ГПА-4РМ. Допустим, необходимо определить вероятность возникновения аварии в случае отказа элемента А в ГПА-4РМ. Используем метод экспертных оценок, при котором специалисты по данной технике оценивают вероятность возникновения аварии на основе своего опыта и знаний.

Допустим, были опрошены 5 экспертов и каждый поставил свою оценку. Для получения итоговой вероятности можно использовать метод взвешенного среднего, при котором каждая оценка умножается на вес, отражающий авторитетность эксперта. Предположим, что в ходе исследования веса экспертов распределились, как показано в таблице 1.

Таблица 1 – Экспертные данные для составления итоговой вероятности

Оценка экспертов	Взвешенное среднее
Эксперт 1: 0,1	Эксперт 1: 0.2
Эксперт 2: 0,2	Эксперт 2: 0.3
Эксперт 3: 0,05	Эксперт 3: 0.1
Эксперт 4: 0,15	Эксперт 4: 0.2
Эксперт 5: 0,1	Эксперт 5: 0.2

Тогда итоговая вероятность аварии в течении межремонтного периода будет равна:
 $(0.1 * 0.2) + (0.2 * 0.3) + (0.05 * 0.1) + (0.15 * 0.2) + (0.1 * 0.2) = 0.105$

Таким образом, мы получили вероятность возникновения аварии в случае отказа элемента А в ГПА-4РМ в межремонтном периоде, которую можно использовать для оценки технических рисков и принятия соответствующих мер. Важно отметить, что результаты экспертных оценок должны быть использованы только в качестве дополнительной информации и не должны быть основным источником для принятия решений [9].

Также можно использовать метод факторного анализа, который позволяет оценить влияние различных факторов на возникновение технических рисков и определить их относительную важность.

Для метода факторного анализа общего риска может быть записана формула (3)

$$R = \sum WiFi; \quad (3)$$

где:

R - общий риск, который может возникнуть; W_i - весовой коэффициент, который отражает важность каждого фактора; F_i - оценка каждого фактора.

Допустим, необходимо оценить технические риски, связанные с эксплуатацией ГПА-4РМ методом факторного анализа. Для этого выделяем несколько факторов, которые могут повлиять на возникновение рисков. Далее оцениваем каждый из этих факторов по шкале от 1 до 10, где 1 – это минимальный риск, а 10 - максимальный риск. Следующим шагом будет присваивание весовых коэффициентов каждому фактору, отражающими важность каждого фактора для данного риска. Весовые коэффициенты должны быть выбраны на основе экспертных оценок или статистических данных (табл. 2).

Таблица 2 - Расчёт рисков методом факторного анализа для ГПА-4РМ

Возможные факторы	Оценка факторов	Присваивание коэффициентов
Возраст оборудования (в годах)	Возраст оборудования - 7	Возраст оборудования - 0.2
Частота технического обслуживания (в месяцах)	Частота технического обслуживания - 4	Частота технического обслуживания - 0.1
Интенсивность использования (в часах работы в месяц)	Интенсивность использования - 9	Интенсивность использования - 0.4
Квалификация персонала (на основе опыта работы с подобным оборудованием)	Квалификация персонала - 5	Квалификация персонала - 0.2
Качество топлива (на основе показателей октанового числа)	Качество топлива - 6	Качество топлива - 0.1

Теперь можно рассчитать общий риск, используя формулу метода факторного анализа:

$$R = (0.2 * 7) + (0.1 * 4) + (0.4 * 9) + (0.2 * 5) + (0.1 * 6) = 1.4 + 0.4 + 3.6 + 1 + 0.6 = 7$$

Таким образом, наша оценка общего риска составляет 7. Это означает, что в данном случае есть значительный риск возникновения технических проблем с ГПА-4РМ, и необходимо предпринимать меры по его минимизации [10].

Каждый метод имеет свои преимущества и недостатки, и выбор оптимального метода зависит от конкретных условий и задач. Для расчета вероятности возникновения технических рисков при запуске и до первого технического обслуживания ГПА-4РМ рекомендуется использовать метод анализа рисков. Он позволяет идентифицировать возможные проблемы и оценить их вероятность и влияние на проект, что помогает разработать план управления рисками и принимать меры по их управлению в случае необходимости. На этапе от первого ТО до первых ТР лучше использовать метод моделирования событийного дерева. Данный метод поможет идентифицировать потенциальные риски и определить, какие причины могут привести к их возникновению. Этот метод также позволяет разработать более эффективные меры по управлению рисками на этапе между техническим обслуживанием и техническими работами [11]. На этапе от ТР до КР лучше использовать метод анализа рисков. Использование событийного дерева и метода анализа рисков вместе позволяет улучшить понимание рисков и их последствий в

проекте, а также разработать стратегии для управления рисками. Событийное дерево может использоваться для визуализации последовательности событий, а метод анализа рисков может помочь определить вероятность возникновения каждого события и его последствий. Кроме того, метод анализа рисков может быть использован для определения наиболее эффективных мер по управлению рисками, в то время как событийное дерево поможет улучшить понимание связей между различными событиями.

Заключение

Управление риском – это процесс, который позволяет идентифицировать, оценивать и управлять рисками в различных областях деятельности, включая газовое оборудование. Существует ряд стандартов и нормативов, регулирующих безопасность газового оборудования, включая ГОСТ Р ИСО 13702, ГОСТ Р 55465 и другие. Для обработки информации о состоянии ГПА-4РМ можно использовать различные методы, такие как методы анализа рисков, метод экспертных оценок. Они могут помочь выявить скрытые проблемы и предотвратить аварии. Управление риском должно начинаться с самого начала жизненного цикла ГПА-4РМ, включая планирование, разработку, производство, эксплуатацию и утилизацию. Например, в процессе планирования и разработки газового оборудования должны быть учтены все потенциальные риски и приняты меры по их управлению. В процессе производства и монтажа должны быть соблюдены все стандарты и требования по безопасности, а в процессе эксплуатации должны быть регулярно проводятся мероприятия по контролю и обслуживанию оборудования, включая мониторинг его состояния.

Кроме того, управление риском должно быть непрерывным процессом, который проводится на протяжении всего срока эксплуатации ГПА-4РМ. Регулярный мониторинг и анализ данных позволяют оперативно реагировать на изменения и улучшать систему управления рисками. Таким образом, правильное управление риском помогает снизить вероятность возникновения аварий и повышает безопасность использования данных газоперекачивающих агрегатов.

Список литературы:

1. Микаэлян, Р. Э. Направления совершенствования газоперекачивающих агрегатов компрессорных станций газопроводов / Р. Э. Микаэлян // Промышленный сервис. – 2014. – № 1(50). – С. 10-13.
2. Зюзьков, В. В. Реконструкция компрессорных станций многониточных систем газопроводов с укрупнением единичных мощностей газоперекачивающих агрегатов / В. В. Зюзьков, В. А. Щуровский // Компрессорная техника и пневматика. – 2011. – № 5. – С. 2-6.
3. Моделирование изменения технического состояния технических устройств и оценка вероятности отказа / А. А. Шестаков, С. Г. Царева, Э. В. Шишков [и др.] // . – 2015. – № 10-1. – С. 149-153.
4. Алимова, Л. О. повышения надежности работы ГТУ / Л. О. Алимова // . – 2018. – № 7-1(41). – С. 42-44.
5. Щербань, П. С. Исследование отказов нефтегазовых сепараторов различного типа с использованием метода дерева цели / П. С. Щербань, В. М. Потеряев // Школа молодых новаторов : Сборник научных статей 2-й Международной научной конференции перспективных разработок молодых ученых. В 3-х томах, Курск, 18

- июня 2021 года. Том 3. – Курск: Юго-Западный государственный университет, 2021. – С. 198-208.
6. Цимбалюк, О. В. Организационно-методический механизм управления техническими рисками / О. В. Цимбалюк // Бизнес Информ. – 2013. – № 9. – С. 388-393.
 7. Высоцкий, С. П. Технические риски и страхование отказов в работе энергетического оборудования / С. П. Высоцкий // Промышленная энергетика. – 2016. – № 6. – С. 19-23.
 8. Щербань, П. С. Разработка предложений по модернизации системы автоматического управления бесконтактными активными магнитными подшипниками / П. С. Щербань, А. В. Хованский, Е. А. Латышева // . – 2018. – № 4(38). – С. 69-77.
 9. Селуянов, М. Н. Применение общего логико-вероятностного метода при моделировании функционирования ответственных систем / М. Н. Селуянов // Вестник Концерна ВКО "Алмаз – Антей". – 2017. – № 2(21). – С. 49-55.
 10. Нордин, В. В. Комплексный подход к управлению качеством процессов функционирования сложных технических объектов / В. В. Нордин, П. С. Щербань // Вести высших учебных заведений Черноземья. – 2014. – № 4(38). – С. 51-56
 11. Nordin, V. Development of recommendations for the effective functioning of the gas system of Kaliningrad region / V. Nordin, P. Shcherban // Management Systems in Production Engineering. – 2012. – No. 3(7). – P. 31-33. – EDN GUKCXS.

References:

1. Mikaelyan, R. E. Directions with the use of gas compressor units of gas pipeline compressor units / R. E. Mikaelyan // Industrial service. - 2014. - No. 1 (50). - P. 10-13.
2. Zyuzkov, V. V. Reconstruction of compressor stations of multi-line gas pipeline systems with enlargement of single capacities of gas transfer units / V. V. Zyuzkov, V. A. Shchurovsky // Compressor equipment and pneumatics. - 2011. - No. 5. - P. 2-6.
3. Modeling of changes in the technical condition of technical means and the probability of failure / A. A. Shestakov, S. G. Tsareva, E. V. Shishkov [and others] // . - 2015. - No. 10-1. - S. 149-153.
4. Alimova, L. O. Ensuring the reliability of gas turbine operation / L. O. Alimova // . - 2018. - No. 7-1(41). - S. 42-44.
5. Shcherban', P. S. Oil and gas separator failure study suitable for use as a target tree. S. Shcherban, V. M. Poteryaev // School of young innovators: Collection of scientific articles of the 2nd international scientific conference of promising developments of young scientists. In 3 volumes, Kursk, June 18, 2021. Volume 3. - Kursk: Southwestern State University, 2021. - P. 198-208.
6. Tsymbalyuk, O.V. Organizational and methodological mechanism for managing technical risks / O.V. Tsimbalyuk // Business Inform. - 2013. - No. 9. - P. 388-393.
7. Vysotsky, S.P. Technical risks and failure insurance during operation of power equipment / S.P. Vysotsky // Industrial Energy. - 2016. - No. 6. - S. 19-23.
8. Shcherban, P. S. Development of proposals for improving the automatic control system for non-contact active magnetic bearings. S. Shcherban, A. V. Khovansky, E. A. Latysheva // . - 2018. - No. 4 (38). - S. 69-77.

9. Seluyanov M.V. N. Application of the general logical-probabilistic method in modeling critical systems / M. N. Seluyanov // Bulletin of the Concern VKO "Almaz - Antey". - 2017. - No. 2 (21). - S. 49-55.
10. Nordin, V.V., Shcherban', PS A comprehensive approach to managing the quality of processing complex technical objects. - 2014. - No. 4 (38). - pp. 51-56
11. Nordin, V. Development of recommendations for the effective functioning of the gas supply system of the Kaliningrad region / V. Nordin, P. Shcherban // Management systems in the organization of production. - 2012. - No. 3(7). - S. 31-33. - EDN GUKKS.