

# СОВРЕМЕННЫЕ МЕТОДЫ ДИАГНОСТИКИ И МОНИТОРИНГА ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА КОМПРИМИРОВАНИЯ ГАЗА НА БАЗЕ СИСТЕМ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ ГАЗОПЕРЕКАЧИВАЮЩИМИ АГРЕГАТАМИ

## MODERN METHODS OF DIAGNOSTICS AND MONITORING OF THE TECHNOLOGICAL PROCESS OF GAS COMPRESSION BASED ON AUTOMATIC CONTROL SYSTEMS OF GAS PUMPING UNITS

V. Tikhonov  
D. Cherny

*Summary.* The article is devoted to the urgent problem of improving the reliability, efficiency, maneuverability, and maintainability of gas pumping units (GPA). In conditions of long-term operation and a variety of operating modes, the task of preventing accidents caused by failure of parts and moving elements is acute. The article analyzes traditional methods of diagnostics of technological equipment for gas compression, such as dynamic methods, flaw detection, pollution control and thermal scanning. Despite their effectiveness, these methods have limitations in detecting internal faults, are insufficient for analyzing dynamic processes and require additional data. The article emphasizes the need to apply modern diagnostic methods based on machine learning, data analysis and artificial intelligence. An experimental HPA diagnostic system based on the existing automatic control system has been developed, which made it possible to optimize the operating mode.

*Keywords:* gas pumping unit, diagnostics, neural networks, reliability, optimization.

**Тихонов Владислав Эдуардович**

Тюменский Индустриальный Университет

Tihon-0008@mail.ru

**Черный Данил Игоревич**

Тюменский Индустриальный Университет

Chernyy000@bk.ru

*Аннотация.* Статья посвящена актуальной проблеме повышения надежности, экономичности, маневренности и ремонтпригодности газоперекачивающих агрегатов (ГПА). В условиях длительной эксплуатации и разнообразных режимов работы остро стоит задача предотвращения аварий, вызванных отказом деталей и подвижных элементов. В статье анализируются традиционные методы диагностики технологического оборудования компримирования газа, такие как динамические методы, дефектоскопия, контроль загрязнений и тепловое сканирование. Несмотря на свою эффективность, эти методы имеют ограничения в обнаружении внутренних неисправностей, недостаточны для анализа динамических процессов и требуют дополнительных данных.

Статья подчеркивает необходимость применения современных методов диагностики, основанных на машинном обучении, анализе данных и искусственном интеллекте. Разработана экспериментальная система диагностики ГПА на базе существующей системы автоматического управления, что позволило оптимизировать режим работы агрегата, прогнозировать отказы и улучшить эффективность компримирования газа.

*Ключевые слова:* газоперекачивающий агрегат, диагностика, нейронные сети, надежность, оптимизация.

**Н**а сегодняшний день вопросы улучшения показателей надежности, экономичности, маневренности и ремонтпригодности газоперекачивающих агрегатов (ГПА) являются достаточно важными.

В условиях длительной эксплуатации и широкого диапазона изменения режимов на первый план выходят задачи предотвращения аварий, связанных с отказом отдельных деталей и подвижных элементов агрегата.

Поэтому очень важным вопросом является разработка и исследование методов контроля технологических параметров энергетической установки в период ее функционирования, которые были бы максимально эффективны для быстрого обнаружения и устранения неисправностей.

В наше время для диагностики технологического оборудования компримирования газа применяют различные традиционные методы, которые включают в себя [1, 2]:

- динамические методы включают в себя контроль вибраций, шумов, путевой контроль текущих параметров (параметрическая диагностика);
- дефектоскопия — совокупность методов неразрушающего контроля, предназначенных для обнаружения и предупреждения появления дефектов или определенного типа разрушений таких как: нарушение сплошности и однородности материала и изделия, испытания на герметичность, контроль за скоростью коррозии, (большая часть этих методов используется при определении по-

вреждений элементов машин после разборки в процессе ремонта);

- контроль загрязнений — метод определения присутствия продуктов износа в смазке, который соотносится качественно и количественно со степенью изнашивания того или иного элемента в парах трения;
- тепловое сканирование — метод теплового сканирования позволяет обнаружить перегревы или неравномерное распределение тепла в оборудовании, что может указывать на потенциальные проблемы.

Традиционные методы помогают обеспечить надлежащее функционирование оборудования компрессорных установок и предотвратить возможные аварийные ситуации, но существуют определённые вопросы и проблемы, которые с затруднением или полностью не могут быть решены с их помощью. К таким ситуациям можно отнести:

1. Неисправности внутри компонентов. Существующие методы могут ограничиваться в области обнаружения неисправностей внутри сложных компонентов оборудования, таких как подшипники, клапаны или поршни. Для выявления таких проблем может потребоваться специализированное оборудование.
2. Количество и качество данных. Некоторые вопросы требуют дополнительных данных или более точных измерений, чем может предоставить традиционная диагностика.
3. Динамические процессы. Существующие методы часто ориентированы на статические показатели, и могут иметь ограничения в анализе динамических процессов, таких как изменения скорости вращения или динамики рабочих параметров, которые могут потребовать более сложных математических моделей.
4. Оптимизация процесса. Для оптимизации производственных процессов могут потребоваться более продвинутые методы анализа данных и моделирования, которые выходят за рамки традиционных подходов к диагностике.

В этих случаях может потребоваться применение современных техник машинного обучения, анализа данных и других передовых методов диагностики для более глубокого и точного анализа процессов компримирования.

Современные способы и методы, взаимодействующие с существующими автоматизированными системами управления технологическим процессом (АСУ ТП), могут включать в себя следующее [3]:

1. Использование технологий искусственного интеллекта и нейронных сетей (ИИ). Современные системы искусственного интеллекта представ-

ляют собой анализ больших объемов данных, собираемых автоматизированными системами, оптимизация режимов работы оборудования, прогнозирования отказов и определения оптимальных параметров процесса компримирования газа.

2. Интеграция системы мониторинга состояния оборудования. Программное обеспечение для мониторинга состояния оборудования, с использованием методов анализа данных и статистики, может интегрироваться в существующую АСУ ТП. Это позволяет операторам получать более глубокий анализ состояния оборудования.

Нейронные сети представляют собой математические модели, состоящие из взаимосвязанных узлов, называемых искусственными нейронами, основными элементами которых являются входной слой, скрытые слои и выходной слой. Входной слой получает исходные данные, скрытые слои выполняют вычисления и преобразования, а выходной слой генерирует результат [4].

Важнейшим аспектом использования нейронных сетей является процесс обучения, в ходе которого сеть настраивает свои внутренние параметры — веса и смещения на основе обучающих примеров. Алгоритмы обучения позволяют нейронной сети постепенно улучшать свою производительность в решении конкретных задач. Качество обучающих данных играет решающую роль в точности нейронной модели. Если обучающие данные не репрезентативны для реального мира, то модель может плохо работать на новых данных. Например, если обучающие данные содержат только нормальные режимы работы ГПА, то модель может плохо определять аномальные состояния.

Также важно, чтобы обучающие данные были правильно размечены, то есть каждый пример данных должен быть отнесен к правильному классу. Ошибки в разметке могут привести к неправильному обучению модели и к снижению ее точности.

На основе полученных теоретических знаний об использовании нейронных сетей в диагностике, было принято решение о разработке экспериментальной системы диагностики для газоперекачивающих агрегатов. Данная система должна интегрироваться с существующими системами автоматического управления, получать данные с датчиков и использовать обученную нейронную сеть для выявления возможных неисправностей.

Архитектура модели нейронной сети — DNN (Deep Neural Network). Данная сеть состоит из входного слоя, скрытых слоев с использованием функции активации ReLU и слоя Dropout для каждого слоя и выходного слоя

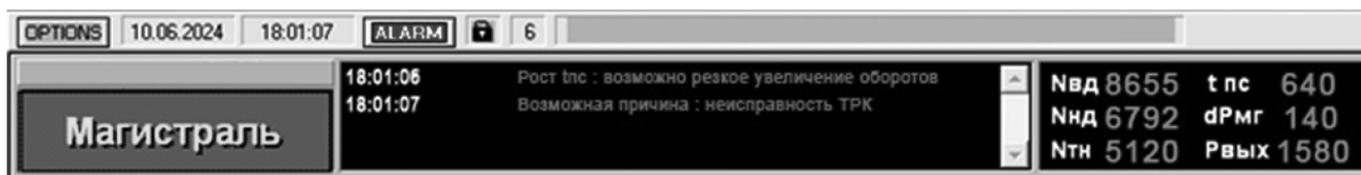


Рис. 1. Сообщение о неисправности в журнале событий САУ ГПА

с функцией активации softmax для многоклассовой классификации [5].

Первым этапом является сбор необходимых данных из систем автоматического управления (САУ) ГПА такие как, показания различных датчиков и параметров технологического процесса. САУ автоматически создает часовые архивы с показателями газоперекачивающего агрегата, на основе которых будет обучаться нейронная сеть. Наборы входных данных с архивов собираются в единый файл для формирования выборки и разбиения на классы. Каждый класс отвечает за конкретное состояние агрегата, где:

- класс 0 — параметр соответствует технологическому режиму;
- класс 1 — параметр приближается к выходу из зоны допустимых значений;
- класс 2 — параметр вышел из зоны допустимых значений.

Полученные входные данные загружаются в нейронную сеть, которая делит их на признаки и целевую переменную, затем нормализует полученные данные и делит их на тестовую и обучающую выборки. Модель предсказывает классы для тестового набора данных и сравнивает их с предыдущими реальными показателями технического состояния ГПА и выводит сообщение о приближающемся событии (рисунок 1), которое соответствует классу 1 или классу 2 с указанием возможной причины отклонения от нормы технологического режима.

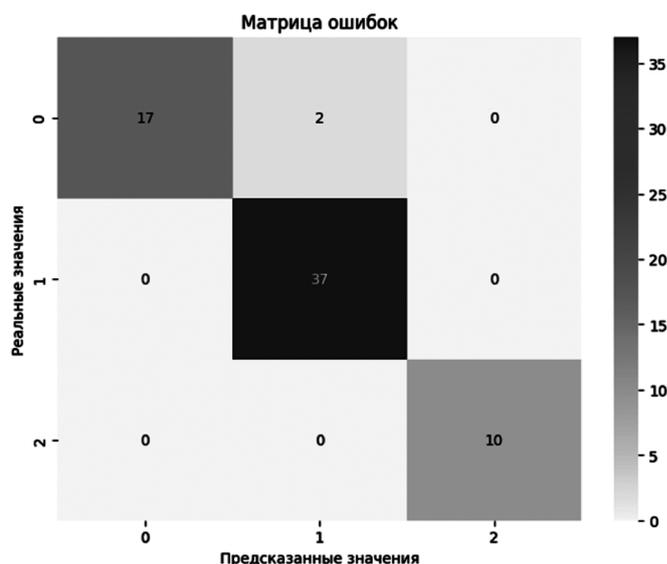


Рис. 2. Матрица ошибок реальных и предсказанных значений

Матрица ошибок реальных и предсказанных значений (рисунок 2) и метрики оценки качества модели (рисунок 3) показали, что разработанная нейронная сеть достигает точности диагностики до 98% при определении нормального и аномального состояния технологического процесса. Это значительно превосходит результаты традиционных методов, основанных на пороговых значениях параметров, которые часто допускают ложные срабатывания.

```
# Оценка качества модели
accuracy = accuracy_score(np.argmax(y_test, axis=1), y_pred_classes)
precision = precision_score(np.argmax(y_test, axis=1), y_pred_classes, average='weighted')
recall = recall_score(np.argmax(y_test, axis=1), y_pred_classes, average='weighted')
f1 = f1_score(np.argmax(y_test, axis=1), y_pred_classes, average='weighted')

print("Accuracy:", accuracy)
print("Precision:", precision)
print("Recall:", recall)
print("F1 Score:", f1)

Accuracy: 0.9696969696969697
Precision: 0.9712509712509713
Recall: 0.9696969696969697
F1 Score: 0.9692539429381535
```

Рис. 3. Оценка качества модели

Точность разработанной системы обеспечивается комплексным анализом большого объема данных, который позволяет с высокой скоростью обрабатывать данные в режиме реального времени. Это дает возможность оперативно выявлять аварийные ситуации и отклонения от нормы, которые не сразу очевидны оператору — машинисту с минимальными задержками, что критически важно для предотвращения серьезных последствий.

Таким образом, применение современных методов диагностики и мониторинга на базе систем автоматиче-

ского управления, в том числе с использованием нейронных сетей, открывает широкие перспективы для повышения надежности и эффективности технологических процессов компримирования газа. Дальнейшее развитие современных методов позволит достичь нового уровня автоматизации и предиктивного обслуживания, что является ключевой задачей для газовой промышленности в условиях постоянно возрастающих требований к безопасности и экологичности.

---

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Кунина П.С, Павленко П.П. Диагностика газоперекачивающих агрегатов с центробежными нагнетателями. Ростов-на-Дону, изд-во РГУ, 2001. — 362 с.
2. Зарицкий С.П. Диагностика газоперекачивающих агрегатов газотурбинными приводами. М.: Недра. 1987. — 198 с.
3. Лисьих А.С. Нейронные сети. Применение нейронных сетей в автоматизации процессов / А.С. Лисьих, А.А. Турчина, С.А. Шадрин. — Текст: непосредственный // Исследования молодых ученых: материалы LIII Междунар. науч. конф. (г. Казань, январь 2023 г.). — Казань: Молодой ученый, 2023. — С. 1–7. — URL: <https://moluch.ru/conf/stud/archive/476/17751/> (дата обращения: 1.06.2024).
4. Искусственные нейронные сети и приложения: учеб. пособие / Ф.М. Гафаров, А.Ф. Галимянов. — Казань: Изд-во Казан. ун-та, 2018. — 121 с.
5. Багиров М.Б. Метод повторной идентификации объектов в многокамерных системах с низким энергопотреблением с использованием иерархических нейронных сетей // Труды НГТУ им. Р.Е. Алексеева. 2022. № 4. С. 7–19. — URL: <https://www.nntu.ru/frontend/web/ngtu/files/nauka/izdaniya/trudy/2022/04/007-019.pdf> (дата обращения: 5.06.2024).

---

© Тихонов Владислав Эдуардович (Tihon-0008@mail.ru); Черный Данил Игоревич (Chernyy000@bk.ru)  
Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»