

Антипомпажная защита компрессоров: от проблемы к современному решению



В статье рассмотрены проблемы эксплуатации компрессорного оборудования при использовании систем антипомпажной защиты с закрытым программным кодом. Представлено современное отечественное решение АДВ.АПР, обеспечивающее прозрачность алгоритмов, высокую точность регулирования и независимость от аппаратной платформы, что позволяет снизить эксплуатационные издержки и повысить эффективность работы компрессоров.

ООО «Адвантек – Промышленная автоматизация», г. Москва

Что такое помпаж и почему он опасен

Для любого центробежного компрессора помпаж – это самый разрушительный и нежелательный режим работы. С технической точки зрения помпаж – неустойчивый режим работы турбокомпрессора, характеризующийся резкими колебаниями напора и расхода перекачиваемой среды. Это явление возникает при падении расхода ниже критического уровня и сопровождается низкочастотными колебаниями параметров. Результат – обратные выбросы газа, рост вибрации, резкое изменение нагрузок на ротор и статор.

С практической точки зрения при помпаже компрессор испытывает большие динамические нагрузки, которые могут привести к последующим длительным остановам и дорогостоящему ремонту. Современные системы управления компрессорными установками содержат различные математические алгоритмы и регуляторы, обеспечивающие защиту от помпажа.

Основная проблематика: «черный ящик» и неоптимальные алгоритмы

Рассмотрим вариант, когда система антипомпажной защиты построена на закрытом программном коде и привязана к зарубежному оборудованию. В этом случае она становится «черным ящиком»:

- ▶ невозможно адаптировать алгоритмы под текущие условия эксплуатации;
- ▶ нет возможности диагностировать причины предпомпажных состояний;

▶ производитель прекратил поддержку – обновления недоступны, запчасти – под санкциями, экспертная помощь отсутствует.

Эксплуатация вынуждена работать с запасом в 20–30 %, теряя каждый день 10–15 % топливного газа, просто потому, что система не может работать ближе к границе помпажа и настроена неоптимальным образом.

Однако даже при наличии формально «открытой» системы сохраняется другой риск: сам алгоритм может быть неоптимальным. Настройка регулятора зависит от состава газа и изменения газодинамических характеристик на стороне всасывания, а точность настройки помпажной линии и рабочей точки компрессора не обеспечивает оптимального открытия антипомпажного клапана, что ведет

к избыточной рециркуляции и повышенному ресурсопотреблению. В реальности это – постоянная головная боль для эксплуатации, а для собственников – прямые убытки.

Современная система антипомпажной защиты

Чтобы уйти от проблем «черного ящика» и неоптимальных алгоритмов, система антипомпажной защиты должна строиться на трех ключевых принципах: прозрачности, модульности и адаптируемости. Каждый функциональный блок отвечает за строго определенную задачу, а логика работы остается «прозрачной» – доступной для настройки, диагностики и адаптации под конкретный компрессор и режимы его эксплуатации. Рассмотрим ключевые элементы такой системы.



Рис. 1. Турбокомпрессорный агрегат

Прозрачность алгоритмов и независимость от производителя

В отличие от традиционных «черных ящиков» с закрытым кодом, предлагаемое решение обеспечивает полную прозрачность алгоритмов. Код защищен паролем для безопасности, но пароль передается пользователю. Это дает ключевое преимущество: пользователь может обслуживать систему собственными силами или привлечь любых квалифицированных специалистов, не будучи привязанным к конкретному вендору. Парольная защита при этом гарантирует защиту от несанкционированных вмешательств. В итоге система перестает быть зависимым от разработчика продуктом и становится управляемым активом, который полностью контролирует собственник, с защитой от санкционных рисков за счет возможности работы на отечественной элементной базе.

Модульная архитектура

Система строится из отдельных функциональных модулей, каждый из которых отвечает за конкретную задачу: обработка и резервирование сигналов с датчиков, расчет рабочей точки компрессора, формирование линий регулирования, ПИД-регулирование с возможностью подключения ограничивающих контуров, аварийное открытие клапана при резких возмущениях, балансировка параллельно работающих агрегатов, управление режимами (пуск, останов, ручное, автоматическое).

Особенности модульного подхода:

- **гибкость конфигурации.** Система настраивается под конкретный компрессор, а не подгоняет оборудование под усредненный алгоритм;
- **удобство обслуживания.** Модульность позволяет быстро локализовать и устранять неисправности, заменять или дорабатывать отдельные компоненты без остановки всей системы;
- **масштабируемость.** Решение легко адаптируется для работы с одним компрессором или с группой агрегатов, включая координацию их совместной работы.

Оптимальное управление ресурсами

Главная задача антипомпажной защиты — не просто предотвратить аварию, но и сделать это с минимальными экономическими потерями. Предлагаемое решение благодаря высокой

точности регулирования обеспечивает четыре ключевые особенности.

▸ **Повышение КПД компрессора.** Система позволяет безопасно работать с запасом до линии помпажа 10–15% — минимальным допустимым значением по отраслевым нормам вместо традиционных 20–30%. Поскольку максимальная эффективность компрессора достигается вблизи границы помпажа, минимизация эксплуатационного запаса напрямую повышает его коэффициент полезного действия.

▸ **Сокращение энергопотребления.** Антипомпажный клапан открывается ровно настолько, насколько это необходимо для предотвращения срыва потока. Отсутствие избыточной рециркуляции снижает потери перекачиваемого газа и, как следствие, уменьшает энергозатраты на привод компрессора.

▸ **Увеличение срока службы оборудования.** Бережное управление — плавное открытие и закрытие антипомпажного клапана, отсутствие резких колебаний и работа компрессора в оптимальной зоне — снижает динамические нагрузки на ротор, подшипники и уплотнения, продлевая межремонтный ресурс агрегата.

▸ **Независимость от состава газа.** Расчет помпажной кривой ведется в инвариантных координатах «квадрат приведенного расхода — политропный напор». Это позволяет системе корректно обрабатывать изменения газодинамических характеристик (давления, температуры, состава газа, частоты вращения) на входе компрессора без необходимости перенастройки, что особенно важно для газоперерабатывающих и нефтехимических производств с переменным составом сырья.

Цеховой регулятор

Для компрессорных станций с несколькими агрегатами критически важна согласованная работа. Предлагаемое решение поддерживает координацию параллельно работающих компрессоров.

▸ **Балансировка антипомпажных клапанов.** Исключается ситуация, когда один агрегат работает на границе помпажа, а другой — с избыточным запасом. Клапаны выравниваются, обеспечивая равномерное распределение нагрузки.

▸ **Развязка контуров регулирования.** Исключается взаимное влияние регу-

ляторов, предотвращаются колебания в системе, которые могут возникать при одновременной работе нескольких агрегатов.

▸ **Цеховой регулятор.** Поддерживается заданный режим работы компрессорного цеха (давление, расход) с оптимальным распределением нагрузки между агрегатами, что повышает общую эффективность станции.

Надежность и независимость от аппаратной платформы

В отличие от зарубежных систем, жестко привязанных к конкретному оборудованию, предлагаемое решение не критично к аппаратной платформе. Система может работать на контроллерах различных производителей, в том числе российских, включенных в реестр Минпромторга. Это дает:

- защиту от санкционных рисков (возможность использования отечественной элементной базы исключает зависимость от импортных поставок);
- свободу выбора оборудования (потребитель не привязан к конкретному производителю контроллеров);
- сохранение инвестиций (модернизация возможна без замены аппаратной части).

Заключение

Представленные принципы — прозрачность алгоритмов, модульная архитектура, оптимальное управление ресурсами, координация группы агрегатов и независимость от аппаратной платформы — лежат в основе отечественного решения АДВ.АПР, разработанного компанией «Авантек — Промышленная автоматизация». АДВ.АПР — это программно-технический комплекс для антипомпажной защиты и регулирования центробежных нагнетателей на всех режимах работы. Переход на открытые отечественные решения позволяет защитить оборудование от аварий и обеспечить его работу в оптимальном режиме.

ООО «Авантек — Промышленная автоматизация», г. Москва, тел.: +7 (495) 980-7380, эл. почта: zapros@advantekengineering.ru, сайт: www.advantekengineering.ru

Иллюстрации предоставлены
ООО «Авантек — Промышленная автоматизация»