

И.О. ШКОДА, аспирант гр. а2ЭКС-21 (СГТУ имени Гагарина Ю.А.)

А.В. ЛАДИН, аспирант гр. а2ЭКС-21 (СГТУ имени Гагарина Ю.А.)

П.О. ШКОДА, студент гр. б1-ЭЛЭТ-11 (СГТУ имени Гагарина Ю.А.)

Научный руководитель Т.Ю. ДУНАЕВА, к.т.н., доцент

(СГТУ имени Гагарина Ю.А.)

г. Саратов

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ КАСКАДНОГО ЗАПУСКА ДВИГАТЕЛЕЙ ГПА ДЛЯ СНИЖЕНИЯ ВЕРОЯТНОСТИ АВАРИЙНЫХ ОТКЛЮЧЕНИЙ

Введение

В октябре 2024 года в Саратовской области произошла авария, которая привела к полному останову газоперекачивающей компрессорной станции (КС) на длительный промежуток времени. Данная авария имела значительные технологические и экономические последствия и потребовала значительного времени восстановления нормальной работы. Для анализа причин возникновения данной ситуации было проведено расследование причин технологического нарушения.

Анализ событий

В ходе расследования технологического нарушения, было установлено, что первопричиной аварии, стало отключение одной из двух ВЛ 110 кВ, питающих вышестоящую подстанцию (ПС) и работа АВР на данной ПС. К отключению линии привели кратковременные возмущения в сети высокого напряжения, кроме того, возникла неселективная работа АВР 0,4 кВ на самой компрессорной станции. Это привело к каскадному развитию аварии, с дальнейшим остановом всех находящихся в работе газоперекачивающих агрегатов (ГПА).

Анализ технологического оборудования ГПА

В ходе анализа технологического оборудования и технической документации было установлено, что в 2024 году на данной КС была проведена глубокая модернизация системы автоматического управления ГПА.

До модернизации: управление ГПА производилось с помощью устаревшей релейной автоматики, с полным отсутствием современных компьютеров, контроллеров и датчиков.

Включение и отключение масляных двигателей, ТЭНов, вентиляторов охлаждения осуществлялось вручную тумблерами или переключателями. Открытие и закрытие кранов также – вручную. При таком управлении надежный запуск и работа агрегата напрямую зависели от профессионализма работника, выполняющего переключения. Таким образом, в старой схеме процесс запуска ГПА в работу осуществлялся полностью вруч-

ном режиме, а, значит, одновременный пуск нескольких ГПА был физически невозможен.

В 2024 году была внедрена САУ «Квант-1» [1] которая в свою очередь перед релейными схемами имеет ряд преимуществ: уменьшение времени реагирования персонала на внештатную ситуацию; упрощенная форма отображения состояния системы управления ГПА; возможность хранения и повторного использования информации о работе ГПА; фиксация первопричины (первоначала) аварийной остановки; наличие автоматизированного рабочего места (АРМ).

Структурная схема САУ ГПА «КВАНТ-1» приведена на рисунке 1.

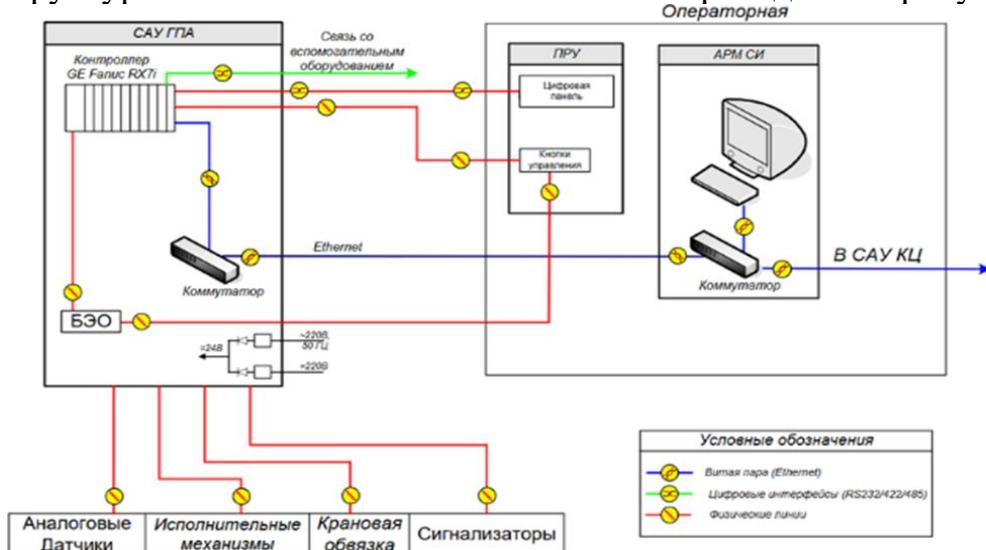


Рис. 1. Структурная схема САУ ГПА «КВАНТ-1»

САУ ГПА осуществляет сбор, преобразование и обработку полученной от датчиков, сигнализаторов и исполнительных механизмов (ИМ) агрегата информации; автоматическое управление и защиту агрегата во всех режимах его работы.

Однако на этапе внедрения в систему не были заложены алгоритмы каскадного (поэтапного) запуска электродвигателей ГПА.

Анализ электроснабжения КТП цеха

Схема электроснабжения цеха выполняется по стандартной схеме с резервированием на шинах 0,4 кВ и включает в себя 2 вводных и 1 секционный выключатель, а также 2 контактора связи от ДЭС на каждую секцию шин для подключения резервного питания.

Узким местом этой схемы является тот факт, что контроль наличия напряжения осуществляется до вводных выключателей (ВВ), при этом наличие напряжения до ВВ блокирует работу контакторов ДЭС, даже при отключенном ВВ и обесточенной секции шин. Данная особенность, в том числе, послужила причиной рассматриваемого технологического нарушения. Значение уставок электромагнитного расцепителя вводных выключа-

телей 3000 А, секционного 2500 А, генераторного 1250 А. Данные значения существенно ниже суммарного пускового тока всех электродвигателей ГПА.

Моделирование одновременного запуска электродвигателей ГПА

В процессе исследования была разработана модель в среде Matlab, и смоделированы события технологического нарушения при кратковременном исчезновении напряжения питающей сети на основе рекомендаций.

Модель базируется на решении дифференциального линейного уравнения системы электропитания каждого ГПА в каждый расчётный момент времени [2]. Технические характеристики и конфигурация каждого ГПА учитываются при задании исходных данных.

Модель одновременного пуска электродвигателей ГПА исследуемого объекта представлена на рисунке 2. Технические характеристики электродвигательной нагрузки приняты из нормативно-технической документации [3].

В результате моделирования был выявлен ряд общих особенностей и предложена универсальная методика, позволяющая при соответствующем представлении исходных данных реализовать эти положения для любого ГПА.

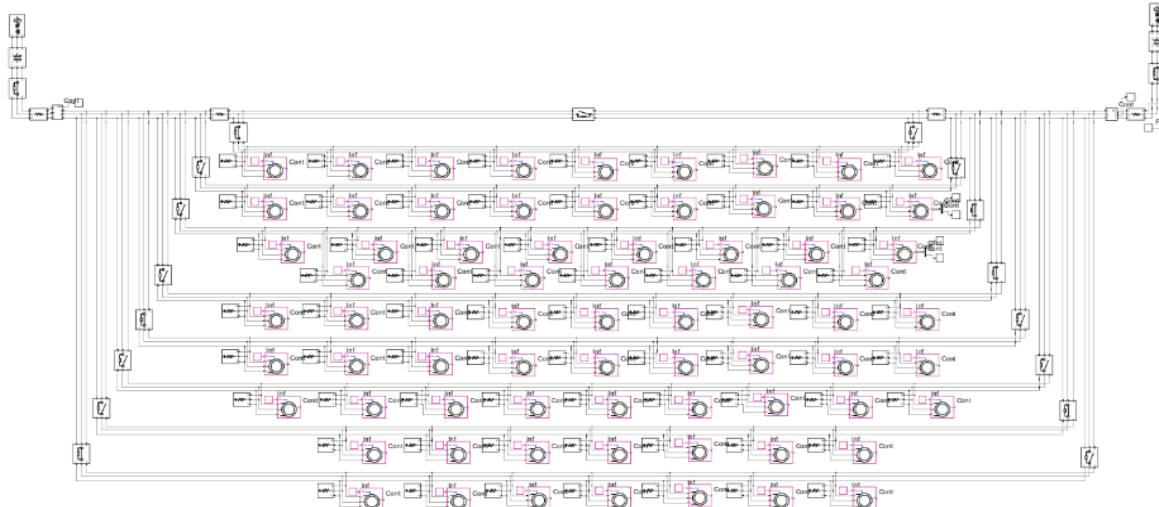


Рис. 2. Математическая модель одновременного пуска электродвигателей ГПА

В результате моделирования получен график изменения тока секции шин №1 при самозапуске электродвигателей, мгновенное и действующее значение. Результаты моделирования приведены на рисунке 3.

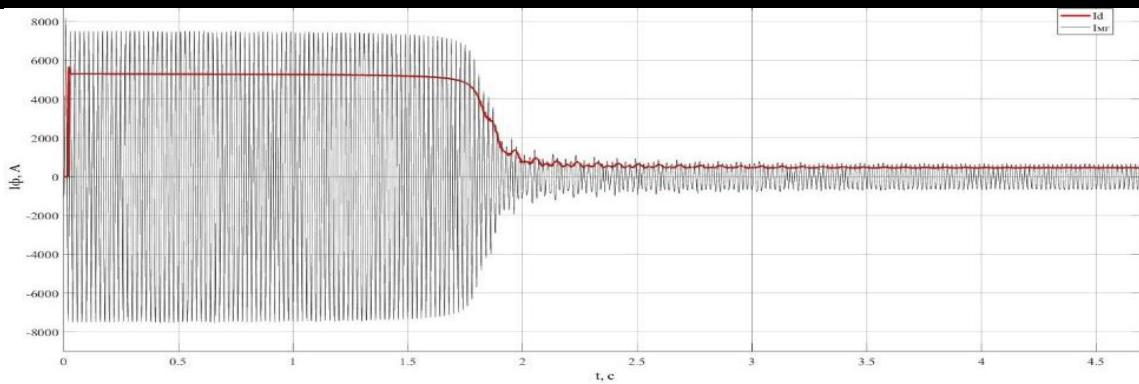


Рис. 3. График зависимости тока секции шин №1 при самозапуске электродвигателей, мгновенное и действующее значение, от времени

Из графика (рисунок 3) хорошо видно, что при самозапуске электродвигателей ГПА по схеме (рисунок 2) возникают высокие значения суммарных пусковых токов (около 5400 А) на шине. Эти токи значительно превышают токи выключателей (3000 А). Значит, одновременный запуск всей двигательной нагрузки цеха компрессорной станции приводит к срабатыванию автоматического выключателя, и следовательно, останову всех ГПА.

Одним из вариантов решения выявленной проблемы является возможность скорректировать алгоритм работы схемы таким образом, чтобы был выполнен поочередный пуск электродвигателей ГПА. Соответствующим образом была скорректирована работа модели (рисунок 2), были заданы временные уставки задержки пуска электродвигателей ГПА по группам.

Временная уставка запуска каждого электродвигателя (группы электродвигателей) выбраны с учетом реального времени запуска данных электродвигателей. Результаты работы скорректированной модели приведены на рисунке 4.

Результаты моделирования, приведенные на графике (рисунок 4), наглядно показывают значительное снижение тока на шине. Полученные значения пускового тока секции шин №1 не превышают значений номинального тока вводного выключателя и не приводят к его срабатыванию. Общее время пуска не превышает допустимых значений в 90 секунд, принятых для данной отрасли.

В результате моделирования был выявлен ряд общих особенностей и предложена универсальная методика, позволяющая при соответствующем представлении исходных данных реализовать эти положения для любого ГПА.

Таким образом, доказана необходимость разработки технического решения для обеспечения каскадного пуска электродвигателей ГПА. Полученная математическая модель позволит и в дальнейшем оценивать пус-

ковые токи как на данном объекте, так и на других объектах ПАО «Газпром».

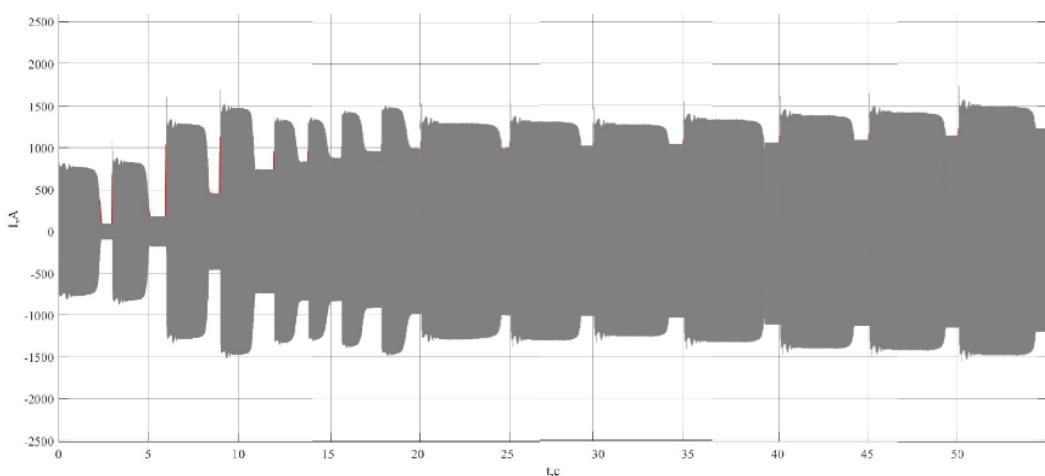


Рис. 4. График зависимости тока секции шин №1 при системе каскадного включения электродвигателей, мгновенное и действующее значение, от времени

Заключение и выводы

В ходе изучения технологического нарушения 2024 года на компрессорной станции в Саратовской области, было установлено, что при проектировании и модернизации схемы управления САУ ГПА, необходимо учитывать особенности работы сети электроснабжения данных агрегатов, условия работы релейной защиты и противоаварийной автоматики, а также схемы резервирования электроснабжения компрессорной станции в целом. Была разработана математическая модель, позволяющая проанализировать токи на питающей шине подстанции и обоснована необходимость каскадного запуска групп двигателей. Разработанная математическая модель и рекомендации по запуску двигателей позволит повысить надежность электроснабжения объектов ПАО «Газпром» в целом [4].

Список литературы:

1. Вега-ГАЗ : сайт. – URL: <https://www.vega-gaz.ru/products/sau-gpa-kvant-kvant-r/> (дата обращения: 15.10.2025)
2. Черных, И. В. Моделирование электротехнических устройств в MATLAB, SimPowerSystems и Simulink / И. В. Черных. – Москва : Питер, 2008. – 288 с.
3. ГОСТ Р 52776—2007. Машины электрические врачающиеся. Номинальные данные и характеристики : дата введения 2007-10-31. – Москва : Стандартинформ, 2008. – 74 с.

**VIII Международная молодежная научно-практическая
конференция «ЭНЕРГОСТАРТ»**

343-6

21-22 ноября 2025 г.

4. Р Газпром 2-6.2-639-2012. Оценка надежности электроснабжения объектов. - Введ. 2013-31-01. Москва : ОАО "Газпром", 2014. – 29 с.

Информация об авторах:

Шкода Игорь Олегович, аспирант гр. а2ЭКС-21, СГТУ, 410054, г. Саратов, ул. Политехническая, д. 77, igor.shkoda@mail.ru

Ладин Александр Владимирович, аспирант гр. а2ЭКС-21, СГТУ, 410054, г. Саратов, ул. Политехническая, д. 77, 89518889955@yandex.ru

Шкода Павел Олегович, студент гр. 61-ЭЛЭТ-11, СГТУ, 410054, г. Саратов, ул. Политехническая, д. 77, shkodik.pavel@mail.ru

Дунаева Татьяна Юрьевна, к.т.н., доцент, СГТУ, 410054, г. Саратов, ул. Политехническая, д. 77, d_t_y@mail.ru