

АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ ТОКОМ 3-ЕЙ СЕРИИ В ПРОИЗВОДСТВЕ АЛЮМИНИЯ

**А.М. Прокопьев, В.С. Андреев, В.И. Никифоров (ООО «НПО «Каскад-ГРУП»),
А.Н. Филиппов, А.А. Эле (ООО «Инжиниринг Строительство Обслуживание»)**

Рассмотрена архитектура, состав и функциональность автоматизированной системы управления током 3-ей серии цеха электролиза, реализованной в ПАО «РУСАЛ Братск» (филиал в г. Шелехов).

Ключевые слова: АСУ, производство алюминия, электролиз, регулятор тока, АРМ, шкаф автоматики.

Алюминиевая компания РУСАЛ — крупнейший производитель алюминия с низким углеродным следом. Для выпуска более 90% алюминия компанией используется электроэнергия из возобновляемых источников, а внедрение инновационных и энергосберегающих технологий позволяет снижать выбросы парниковых газов на всех производственных этапах. ПАО «РУСАЛ Братск» — крупнейший алюминиевый завод в России и один из крупнейших в мире. Производит 30% всего производимого в России и 4% мирового алюминия.

В 2019 г. ПАО «РУСАЛ Братск» (филиал в г. Шелехов) приняло решение заменить комплекс системы управления током 3-ей серии цеха электролиза, который был введен в эксплуатацию в 1996 г. К настоящему времени элементная база комплекса устарела, технические средства выработали свой ресурс, в связи с чем руководством компании было принято решение о замене комплекса с сохранением его функциональности.

Основная задача системы управления током 3-ей серии комплекса — это стабилизация тока, которая осуществлялась путем управления положением регулятора напряжения под нагрузкой (РПН) на трансформаторах агрегатов, входящих в серию.

Согласно требованиям заказчика, монтаж нового комплекса необходимо было провести в условиях действующего производства с последовательным переключением работающих элементов на элементы новой системы. При этом время отключенного состояния каждого агрегата, входящего в серию, при выполнении монтажных и пусконаладочных работ должно было быть минимальным.

Тендер на выполнение проекта выиграло НПО «Каскад-ГРУП» (г. Чебоксары).

Архитектура системы

Вновь созданная система имеет трехуровневую иерархическую структуру, которую унаследовала от существующей системы. В соответствии

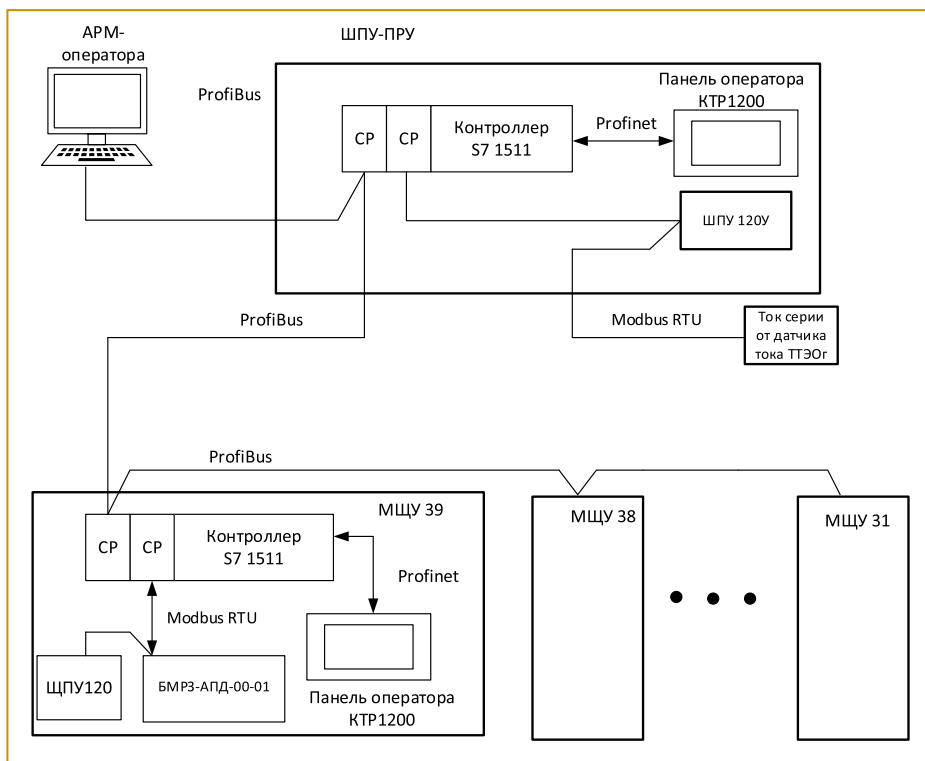


Рис. 1. Структура автоматизированной системы управления током 3-й серии

с выбранной архитектурой были проведены следующие работы:

- разработана проектная документация системы и конструкторская документация на комплектные изделия — шкафы автоматики;
- установлены изготовленные на собственном производстве НПО «Каскад-ГРУП» шкафы автоматики и АРМ высокой заводской готовности;
- разработаны технологическое, системное и прикладное программное обеспечение всей системы.

Структура автоматизированной системы управления током 3-й серии представлена на рис. 1. На нижнем уровне расположены 9 шкафов автоматики местного управления (МЩУ) кремниевыми выпрямительными агрегатами (КВА). Каждый агрегат КВА включает в себя силовой трансформатор и четыре вентильных преобразователя. На среднем уровне расположен шкаф программного управления с элементами ручного управления агрегатами — шкаф автоматики ШПУ-ПРУ. На верхнем уровне расположен АРМ оператора-технолога.

Местные щиты управления

МЩУ — местные щиты управления, установлены в зоне управляемых ими агрегатов и предназначены для выполнения следующих функций:

- защиты трансформатора и вентильных блоков;
- формирования предупредительной и аварийной сигнализации и индикации;
- сбора и передачи информации на верхний уровень — ШПУ-ПРУ и АРМ.

МЩУ может работать в двух режимах:

- «местный», когда управление агрегатом может осуществляться только от органов управления, расположенных на передней панели МЩУ;
- «дистанционный», когда управление агрегатом разрешается от шкафа ШПУ-ПРУ.

Шкафы автоматики (МЩУ-31 — МЩУ-39) воспринимают сигналы управления от ШПУ-ПРУ в виде замыкания «сухих контактов», получаемые по физическим линиям в режиме ручного управления. Управление возможно от контроллера ШПУ-ПРУ или АРМ в режиме автоматического управления. Контроллеры МЩУ связаны с контроллером ШПУ-ПРУ и АРМ по сети Profibus.

В МЩУ реализованы все требуемые защиты трансформатора и кремниевых выпрямительных блоков (БВК) управляемого им агрегата КВА.

В отличие от заменяемых шкафов, выполненных на релейных элементах, в новых шкафах МЩУ применена современная и высоконадежная элементная база: сбор информации о состоянии агрегатов выполнен



Рис. 2. Новый шкаф автоматики МЩУ-39

на контроллерах Siemens S7–1500. Все основные защиты трансформатора, вентильных блоков и масляного выключателя реализованы на базе микропроцессорного блока релейных защит БМРЗ-АПД-01 производства НТЦ «Механотроника». Новые шкафы более компактны, эргономичны и удобны в обслуживании (рис. 2).

После завершения монтажных и пусконаладочных работ были выполнены работы по проверке защит, реализованных МЩУ. Проверка токовых защит осуществлялась с использованием измерительного устройства параметров релейной защиты РЕТОМ-11 М производства ООО «НПП «Динамика» (г. Чебоксары).

Шкаф автоматики программного управления и панель ручного управления (ШПУ-ПРУ)

ШПУ-ПРУ в структуре автоматизированной системы управления током представляет собой средний уровень в архитектуре системы (рис. 3) и предназначен для:

- сбора и представления оперативной информации о состоянии агрегатов серии КВА-31 — КВА-39;
- управления работой агрегатов КВА-31 — КВА-39 путем передачи команд через соответствующий шкаф МЩУ как в автоматическом, так и в ручном режимах управления;
- управления током серии;
- формирования исходных данных для отчетов установленной формы, выдаваемых АРМ по запросам.

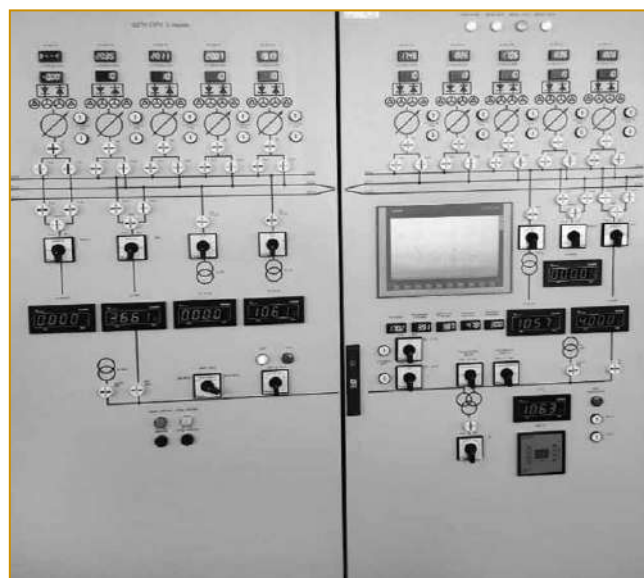


Рис. 3. Внешний вид ШПУ-ПРУ

Управление током серии осуществляется:

- в «Ручном» режиме работы¹ — с помощью органов ручного управления расположенных на шкафу ШПУ-ПРУ;
- в «Автоматическом» режиме — по командам управления вырабатываемым регулятором тока серии;
- в режиме «Советчик»² — при получении рекомендации («Совета») от автоматического регулятора тока оператор выдает разрешение на исполнение команды управления от регулятора тока.

Дизайн ШПУ-ПРУ разработан с учетом устоявшихся на производстве типовых технологий управления и способов получения информации оперативным персоналом.

На передней панели ШПУ-ПРУ размещены:

- элементы индикации состояния и органы управления силовыми размыкателями и шинными соединителями, составляющими элементы высоковольтной электрической силовой цепи питания силовых трансформаторов агрегатов серии;
- цифровые приборы, показывающие токи и напряжение на высоковольтных вводах, питающих трансформаторы агрегатов, входящих в левую и правую группу.

Графические элементы мнемосхемы нанесены на переднюю панель шкафа. При этом элементы, относящиеся к одному агрегату, объединены территориально. Агрегаты и относящиеся к ним элементы индикации, управление которыми осуществляется одной группой, отделены от элементов другой группы. Это положительно влияет на оперативность оценки состояния работы агрегатов и скорость принятия решения по отклонениям от нормального хода технологического процесса.

ШПУ-ПРУ может работать в двух режимах:

- «Ручного» управления, когда команды управления на агрегаты формируются от органов ручного управления, расположенных на передней панели шкафа;
- «Автоматического» управления, когда управление током серии осуществляет регулятор тока серии, работающий в «Автоматическом» режиме.

Регулятор тока серии — основной элемент автоматизированной системы управления током серии

Основным элементом, обеспечивающим выполнение целевой функции системы стабилизации тока серии, является регулятор тока. Структурная схема регулятора тока серии представлена на рис. 4.

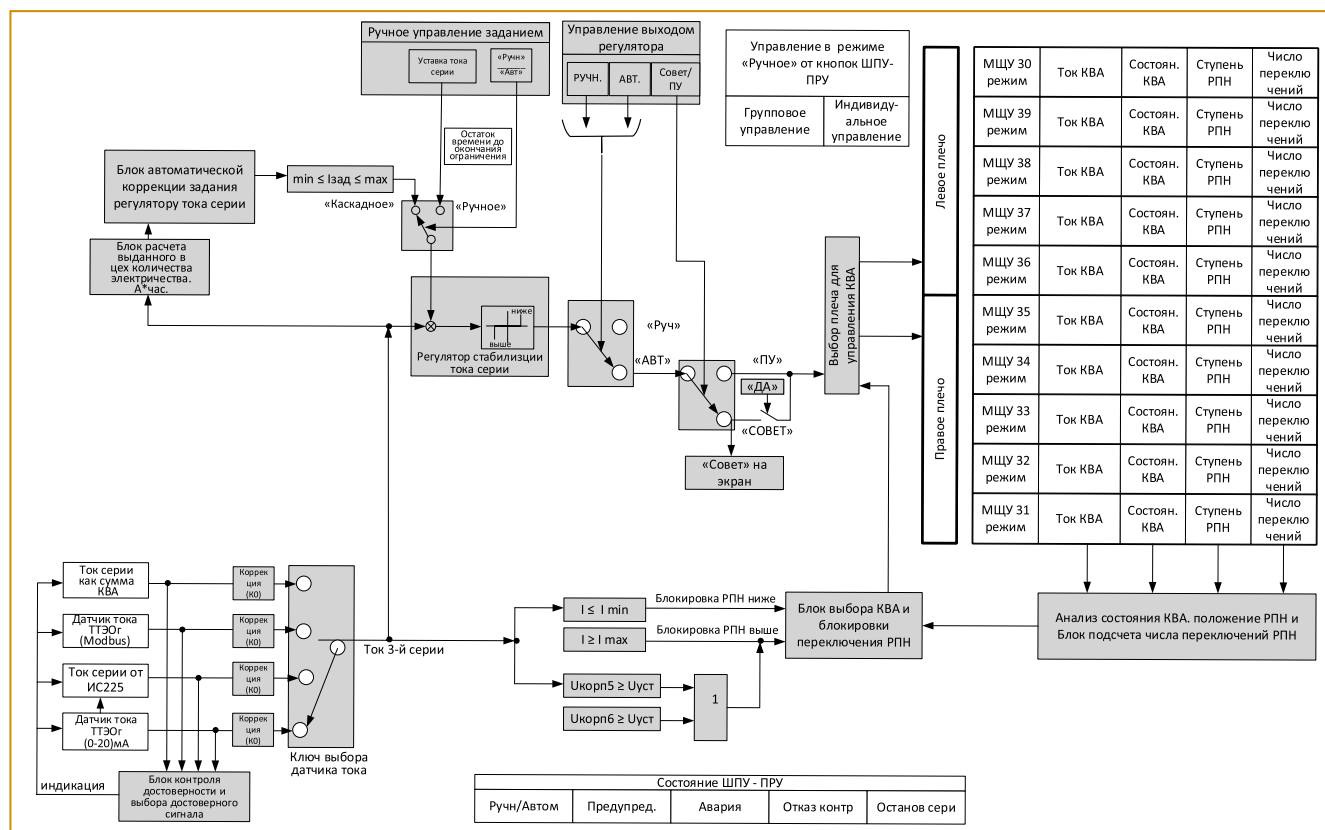


Рис 4. Структурная схема регулятора тока серии

¹ В «Ручном» режиме управление от контроллера ШПУ-ПРУ (работа регулятора тока серии в автоматическом режиме) запрещено конструктивным решением.

² Режим «Советчик» удобен для отладки работы регулятора тока серии. Техническими требованиями заказчика данный режим изначально не предусматривался. В ходе реализации проекта он был добавлен по инициативе исполнителя и показал хороший эффект при освоении оперативным персоналом нового комплекса программно-технических средств автоматизированной системы управления током серии и был введен в состав системы как дополнительный подрежим.

Регулятор тока серии выполнен как каскадный регулятор, в котором основной регулятор обеспечивает поддержание тока серии равным заданному значению. Корректирующий регулятор обеспечивает изменение задания основному регулятору. Основное назначение корректирующего регулятора — ликвидация «статизма» основного регулятора. Статизм основного регулятора — это ошибка регулирования, обусловленная тем, что регулирование осуществляется путем ступенчатого изменения положения РПН агрегатов, что вызывает ступенчатое приращение тока.

Регулятор тока серии может работать в следующих режимах:

1. «Автоматический», который имеет два подрежима:

— «прямого управления» (ПУ), когда выход регулятора непосредственно связан с объектом управления, то есть работа осуществляется полностью в автоматическом режиме;

— «советчик», когда команды, вырабатываемые регулятором тока, поступают на объект после их подтверждения оператором. При выработке регулятором команды она поступает в виде текстового сообщения — «Совета» — на панель оператора ШПУ-ПРУ и АРМ для информирования оператора о рекомендуемых автоматизированной системой действиях. Оператор может согласиться с предлагаемой рекомендацией и нажать виртуальную кнопку «ДА» на панели оператора или АРМ для выполнения команды, либо проигнорировать предлагаемое регулятором действие и не нажимать кнопку «ДА», в этом случае команда не выполняется. Если условия, вызвавшие появление рекомендации, исчезают, то «Совет» регулятора исчезает с панели оператора и АРМ. Подрезим «Советчик» рекомендуется ставить при отладке регулятора с новыми уставками настройки;

2. «Ручной», когда выход контроллера (регулятора) отключен от объекта управления, и команды, формируемые контроллером, не могут воздействовать на объект управления. В этом случае управление объектом осуществляется оператором путем воздействия на органы ручного управления, расположенные на панели ШПУ-ПРУ.

Режим устанавливается переключателем на панели ШПУ-ПРУ или с панели оператора ШПУ-ПРУ, или с АРМ.

Описание работы регулятора тока серии

Регулирование тока серии осуществляется путем изменения положения РПН агрегатов. В серии агрегаты распределены в два плеча. Пять агрегатов КВА-31 по КВА-35 составляют правое плечо, а четыре агрегата КВА-36 по КВА-39 составляют левое плечо. Управление током серии осуществляется плечами, то есть осуществляется одновременное переключение РПН агрегатов, входящих в одно плечо. При необходимости увеличить ток серии РПН повышается, то есть переключается на более высокую степень, а при необходимости уменьшить — на более низкую.

Для определения величины возможных изменений (приращения/уменьшения) тока серии при ступенчатом изменении положения РПН были проведены испытания, при которых производилось ступенчатое изменение положения РПН по плечам как на понижение, так и на повышение. В результате испытаний было выяснено, что в зависимости от текущего положения РПН переключение ступеней вниз или вверх вызывает различные изменения тока серии.

Результаты испытаний показали, что изменение тока серии при различных состояниях РПН агрегатов одного плеча может изменяться в диапазоне 1,3...3,7 кА, и это накладывает определенные ограничения на настройки регулятора тока серии.

Основные требования к работе регулятора тока серии были определены заказчиком в техническом регламенте, который устанавливает требования к точности поддержания среднего тока серии относительно его установленного уровня -170 кА:

- отклонение среднего тока за 1 час от заданного значения должно быть $\leq \pm 3,6$ кА;
- отклонение среднего тока за смену от заданного значения должно быть $\leq \pm 1,6$ кА;
- отклонение среднего тока за календарные сутки от заданного значения должно быть $\leq \pm 0,5$ кА.

Регулятор тока серии реализован в контроллере шкафа ШПУ-ПРУ и выполнен по каскадной схеме.

В зависимости от решаемых на производстве задач уставка тока серии может меняться на каждый час текущих суток. Значения уставки задаются утвержденным расписанием, которое вводится оператором в систему. Текущие сутки начинаются в 7–00 час и заканчиваются в 6 час. 59 мин. 59 с следующего календарного дня.

Стабилизирующий регулятор тока серии

Основным элементом регулятора тока серии является стабилизирующий регулятор, который выполнен в виде релейного элемента с зоной нечувствительности. На входе регулятора, куда поступает задание и фактический ток серии, определяется ошибка регулирования как разность между заданием и фактическим током серии. Если ошибка превышает зону нечувствительности, то основной регулятор выдает команду на переключение РПН. При отрицательном значении ошибки выдается команда на понижение РПН, а при положительном — на увеличение. Установленная зона нечувствительности не должна приводить к автоколебаниям системы при скачках тока, вызванных переключением РПН.

На выходе регулятора тока серии имеется логический блок выбора плеча и блокировки (БВПиБ), который определяет, на какое из плеч должна поступать команда управления РПН.

Наличие данного блока обеспечивает:

- равенство положений РПН агрегатов в плече, то есть расхождение не больше чем на одну ступень;

- блокировку запрещенных состояний;
- равномерность переключений РПН по плечам.

Рассмотрим алгоритм работы блока выбора плеча и блокировки.

При необходимости увеличить ток серии, подается команда на увеличение РПН:

- 1) на агрегаты (плечо), у которых положение РПН ниже чем у агрегатов другого плеча;
- 2) при равенстве положений РПН переключается плечо, в котором число переключений меньше;
- 3) при равенстве число переключений переключается плечо, включающее большее число работающих агрегатов;
- 4) при равенстве число работающих агрегатов переключается правое плечо.

При необходимости уменьшить ток серии подается команда на уменьшение РПН:

- 1) на агрегаты (плечо), у которых положение РПН выше чем у агрегатов другого плеча;
- 2) при равенстве положений РПН переключается плечо, в котором число переключений меньше;
- 3) при равенстве числа переключений переключается плечо, включающее меньшее число работающих агрегатов;
- 4) при равенстве числа работающих агрегатов переключается правое плечо.

БВПиБ осуществляет контроль разрешенных состояний агрегатов, которые задаются таблицей разрешенных состояний и записаны в память контроллера, на котором реализован регулятор тока серии. Отключенные или переведенные в режим «Местное управление» агрегаты (КВА) исключаются из анализируемых блоком выбора плеча и блокировки, и управление РПН от ШПУ-ПРУ на данных агрегатах в автоматическом режиме не производится.

Выход основного регулятора тока серии можно отключать от объекта регулирования, переключив режим работы с «Автомат» на «Ручное» на панели ШПУ-ПРУ или с АРМ.

В процессе работы цеха электролиза периодически наблюдаются резкие скачки напряжения на корпусах — это так называемые «вспышки» или «анодные эффекты» (АЭ). В периоды действия АЭ (вспышек) наблюдается резкое и существенное понижение тока серии, обусловленное увеличением падения напряжения серии на ваннах цеха электролиза.

В периоды действия АЭ нежелательно осуществлять стабилизацию тока серии, так как, во-первых, это приводит к частым переключениям РПН, что вызывает их преждевременный износ, и, во-вторых, при ликвидации АЭ напряжение серии скачком уменьшается, что вызывает резкий рост тока на агрегатах серии и может привести к перегрузке агрегата и его отключению.

Для решения описанной проблемы блок выбора плеча и блокировки осуществляет контроль напряжения на корпусах электролизного цеха и при резком увеличении напряжения, определяемом

как анодный эффект (вспышка), блокирует выход регулятора тока серии на время 5 мин. Время задается в настройках регулятора. В течение указанного времени никаких переключений РПН в автоматическом режиме не выполняется за исключением переключений, связанных с защитами и другими блокировками. Вспышка определяется как резкое увеличение напряжения на 10...20 В, а АЭ определяется как резкое увеличение напряжения на ≥ 40 В. Обычно АЭ (вспышка) длится $\leq 2-5$ мин. При возникновении вспышек или АЭ на панель оператора и АРМ-оператора выдается информация «Вспышка, Анодный эффект». Когда напряжение корпуса возвращается к первоначальному значению ± 5 В, то регулятор тока серии возвращается в работу автоматическом режиме, который был установлен до АЭ. Если оператором был установлен режим «Ручное», то этот режим сохраняется.

На входе основного регулятора имеется переключатель «Ручное»/«Каскадное», позволяющий подавать на вход основному регулятору сигнал «Задание тока серии» установленное оператором либо задание тока серии с выхода корректирующего — каскадного регулятора.

Корректирующий регулятор регулятора тока серии

В связи с тем, что управление током осуществляется путем переключения РПН, которые вызывают различные по величине и ступенчатые по форме изменения тока серии, ток серии всегда будет отличаться от расчетного значения. И со временем будет накапливаться ошибка по среднему току серии и количеству электричества, отпущенного в цех электролиза. Ступенчатое регулирование тока накладывает определенные трудности на выполнение требований регламента по точности поддержания среднего тока серии за час, за смену и за сутки.

Для решения этой проблемы в регулятор тока серии введен корректирующий регулятор, который стремится обеспечить отпуск в цех электролиза заданное количество электричества по часам, по каждой смене и за сутки путем изменения задания основному регулятору.

Корректирующий регулятор является каскадным по отношению к основному регулятору тока серии и служит для формирования задания тока серии основному регулятору. На корректирующий регулятор поступают установленное на данный час задание по току серии и фактическое значение тока серии. Корректирующий регулятор подсчитывает число ампер-часов, выданное в цех электролиза на каждый текущий момент времени, сравнивает результат с количеством электричества, которое должно быть отпущено в цех электролиза при заданном токе серии, определяет отклонение, вычисляет коррекцию к текущему заданию основному регулятору тока и выдает на вход основного регулятора тока серии новое значение задания. Заданный ток серии — это значение, устанавливаемое

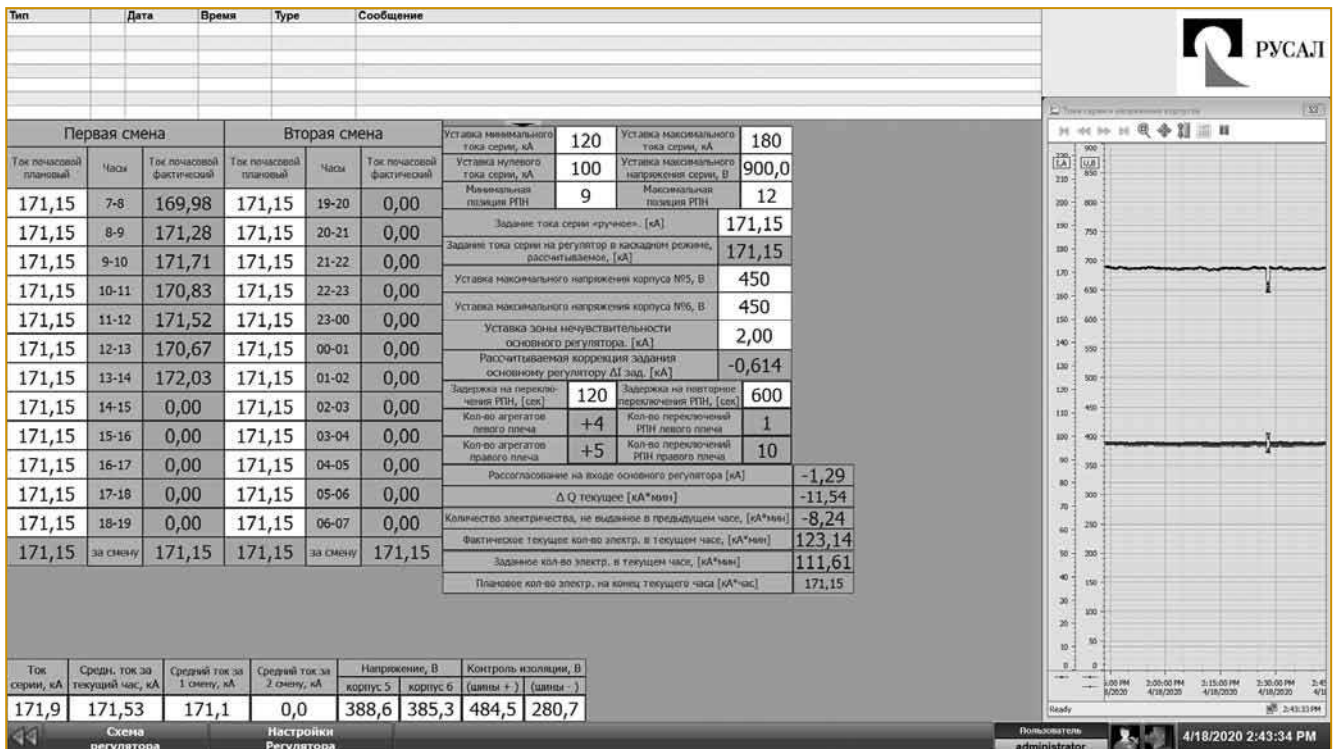


Рис. 5. Внешний вид панели настроек регулятора тока серии на экране АРМ

оперативным персоналом в настройках регулятора (рис. 5) как требуемый ток серии на текущий час.

Корректирующий регулятор работает непрерывно, независимо от работы основного регулятора и осуществляет свою работу с циклом в один час. В начале каждого цикла к количеству электричества, которое должно быть отпущено в цех электролиза при заданном токе серии, добавляется количество электричества, которое серия не выдала в цех электролиза. Также количество электричества может уменьшаться на величину, на которую серия превысила количество электричества, отдаваемое в цех электролиза в соответствии с заданием на конец предыдущего часа. По окончании текущих суток кор-

ректирующий регулятор обнуляется, и новые сутки начинаются без коррекции.

АРМ оператора-технолога, представление оперативной информации и формирование отчетов

АРМ обеспечивает возможность формирования сменных отчетов с часовыми показателями тока и напряжений серии, суточного рапорт оператора с основными контролируемыми показателями серии. Предусмотрена печать формируемых отчетов на принтер с последующим сохранением файла в формате Microsoft Excel.

На мониторе АРМ оперативный персонал имеет возможность контролировать работу всех агрегатов

серии. На рис. 6 представлена основная мнемосхема, где показаны все агрегаты серии.

Оператор может вызвать на экран монитора АРМ информацию по любому агрегату «кликнув» на агрегат и получить более детальную информацию о режимах работы, аварийных и предаварийных состояниях, токах в обмотках трансформатора и на выходах вентиляльных блоков.

АРМ позволяет контролировать в текущем режиме ток серии и напряжение на корпусах электролизного

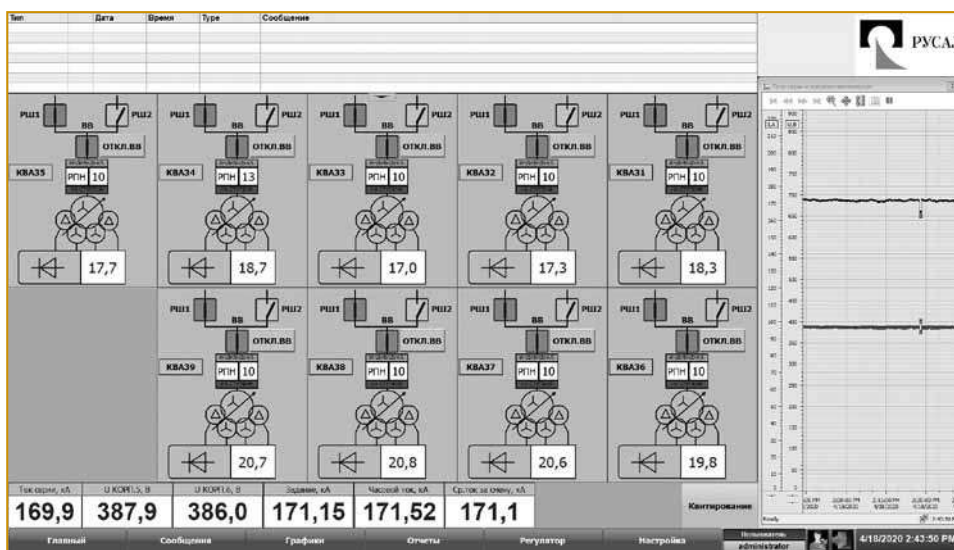


Рис.6. Основная мнемосхема АРМ с агрегатами серии

цеха. АРМ формирует различные формы отчетов, определенные заказчиком.

Заключение

По окончании всех пусконаладочных работ были проведены комплексные испытания работы регулятора тока серии в автоматическом режиме. В результате испытаний были получены следующие данные:

- при требуемой регламентом точности на средний часовой ток $\pm 3,6$ кА, фактические отклонения не превышали $\pm 1,5$ кА;
- при требуемой регламентом точности на средний за смену ток $\pm 1,6$ кА, фактические отклонения не превышали $\pm 0,6$ кА;
- при требуемой регламентом точности на средний ток за текущие сутки $\pm 0,5$ кА, фактические отклонения не превышали $\pm 0,3$ кА;

Весь комплекс работ, проведенный специалистами ООО «НПО «Каскад-ГРУП» в тесном взаимодействии с квалифицированными сотрудниками заказчика и с учетом возрастающих требований к современной продукции рынка автоматизации, позволил получить новую продукцию высокого научно-технического уровня. Вновь созданная автоматизированная система управления током серии — полноценный отечественный аналог уже существующих систем. При этом регулятор тока серии ООО «НПО «Каскад-ГРУП» является новой и эффективной разработкой, существенно улучшающей характеристики системы.

Система получена при соблюдении полного жизненного цикла создания новой продукции и адаптирована для использования на ответственных участках ведущих производителей страны.

*Прокотьев Александр Михайлович — главный специалист по автоматизации,
Андреев Валерий Славович — генеральный директор,*

*Никифоров Владимир Иванович — главный специалист по автоматизации ООО «НПО «Каскад-ГРУП».
Филиппов Алексей Николаевич — директор ДРОЭО, Эле Андрей Александрович — менеджер ПТО ДРОЭО
ООО «Инжиниринг Строительство Обслуживание» (ф-л в г. Шелехов).*

*Контактный телефон +7 (8352) 22-34-32
<http://kaskad-asu.com>*

Компания «Йокогава Электрик СНГ» автоматизировала работу Сервисного центра

НПП «СпецТек» объявляет о завершении проекта внедрения автоматизированной системы управления процессами диагностики оборудования АСУТП Yokogawa Electric. Система реализована на мобильной платформе TRIM-Mobile.

Наиболее трудоемкая часть работы сервисных инженеров, осуществляющих поддержку эксплуатации АСУТП Yokogawa, включает выездную диагностику и подготовку отчета. Сбор данных о состоянии оборудования на месте (у заказчика) традиционно осуществлялся путем ручного заполнения чек-листов по результатам визуального осмотра и снятия показаний с диагностических утилит (проверка линий связи и станций управления, контроллеров, блоков питания и т.д.). Существенное время занимала обработка собранных данных о состоянии АСУТП. Группа аналитиков сравнивала их со значениями технических параметров, рекомендованными Yokogawa Electric, выявляла отклонения и формировала отчет с рекомендациями заказчику. Этот процесс не был автоматизирован и требовал значительных трудозатрат сотрудников Сервисного центра.

В этой связи в Сервисном центре «Йокогава Электрик СНГ» был инициирован проект внедрения автоматизированной системы управления процессами диагностики оборудования АСУТП Yokogawa. Ключевым требованием было создание мобильного АРМ сервис-инженера с возможностью сбора и передачи данных на сервер в офисе компании. Основой системы стало решение TRIM-Mobile разработки НПП «СпецТек» — программный продукт класса FSM (Field Service Management), являющийся частью EAM/АРМ-системы TRIM.

Специалисты НПП «СпецТек» конвертировали на сервер системы накопленную базу знаний в виде каталога ти-

пов оборудования (порядка 1500 ед.) с данными по типовым несоответствиям, их причинам, влиянию и рекомендациям по их устранению. Сбор данных переведен на мобильное приложение TRIM-CSMT, где не только создан интерфейс, соответствующий чек-листам проверки оборудования, но и реализован автоматизированный импорт данных из диагностических утилит с автоматической их привязкой к объекту проверки в базе данных. Все это позволило автоматизировать процедуру диагностики и формирования отчета по ее итогам за счет автоматического сравнения оперативных данных с диагностической базой знаний.

В мобильном приложении реализована функция паспортизации оборудования заказчика, которая осуществляется с использованием единых классификаторов и справочников типовых работ, и с автоматической проверкой создаваемого объекта на соответствие обязательным параметрам. В совокупности с фиксированным интерфейсом функций мобильного приложения, это позволило унифицировать процесс сбора данных и обеспечить его соответствие регламентам.

В результате внедрения системы повысилась полнота и достоверность собираемых данных, снизилась вероятность ошибок и потерь данных, которые могли возникнуть при их сборе на промежуточный носитель и ручном их переносе в базу знаний. Время формирования отчета по диагностике уменьшилось с одной недели до нескольких минут.

Появилась возможность анализировать повреждаемость элементов АСУТП за выбранный промежуток времени, по заданным типам оборудования, по выборке заказчиков или другим критериям, формировать иную аналитику на основе базы знаний.

<http://www.yokogawa.ru> <http://trim.ru>