

Информационное сопровождение удаленного контроля и управления основными функциями электролизной установки

А.С. Климов, И.Н. Селютин, В.В. Новиков

Сибирский федеральный университет, Красноярск

Аннотация: В статье представлен обзор существующих технических решений, рассмотренный с точки зрения двух подходов: полная замена электролизной установки на современный аналог; замена только измерительной части системы. По результатам обзора существующих технических решений сделан вывод о том, что покупка и замена целой электролизной установки или программно-измерительной части является экономически не выгодной и для Березовской ГРЭС можно реализовать собственную систему управления установками СЭУ-20 с использованием современных программно-технических средств автоматизации российского производства, но при этом собственная разработка принесет значительный экономический эффект из-за меньшей стоимости по сравнению с зарубежными аналогами. Для проектируемой системы управления технологическим процессом выбрано необходимое оборудование. Рассчитано время реакции системы при аварийной ситуации. Разработаны электрическая структурная и функциональная схемы автоматизации электролизной установки СЭУ-20. Разработан интерфейс АРМ оператора и произведено моделирование разработанной программы с отработкой различных ситуаций.

Ключевые слова: электролизная установка, импортозамещение, удаленный контроль, удаленное управление, программирование ПЛК, АРМ-оператора.

Березовская ГРЭС - тепловая электростанция, расположенная на территории Красноярского края в 10 км к северо-западу от г. Шарыпово и 250 км юго-западнее г. Красноярска и является градообразующим предприятием г. Шарыпово. Березовская ГРЭС является филиалом ПАО «Юнипро» - компании, занимающейся продажей электрической и тепловой энергии. В состав ПАО «Юнипро» входит пять тепловых электрических станций общей мощностью 11300,243 МВт. Березовская ГРЭС - единственная электростанция в России с энергоблоками мощностью 2420 МВт, где в качестве топлива используется уголь (бурый уголь марки Б2), все остальные тепловые электростанции с блоками такой мощности работают на газе [1].

На «Березовской ГРЭС» электролизная установка с системой осушки водорода и системой управления эксплуатируются с 1987 года. В состав

указанной установки входят аппараты, работающие со средой: водород и кислород под давлением до 10 кгс/см^2 , на которые распространяются правила Ростехнадзора. Согласно ТУ 3614-008-00217320-2004 срок службы таких аппаратов – 10 лет. Поэтому, учитывая работу оборудования СЭУ с взрывоопасной средой в течении более чем 20 лет, а также нормативные требования (РД 34.50.501-96, РД153-34.0-03.150-00, ПБ 03-598-03) дальнейшая его эксплуатация не безопасна для обслуживающего персонала, что в свою очередь влияет на надёжность и безопасность работы всей станции и требует замены или модернизации с использованием современных систем промышленной автоматизации технологических процессов [2,3].

Основные недостатки существующей системы:

- использование устаревшей контактно-релейной схемы управления и технологических защит;
- отсутствие АРМ оператора и возможности удаленного управления и контроля;
- отсутствует система быстрого оперативного оповещения в случае возникновения чрезвычайной или аварийной ситуации.

Полная замена электролизной установки – достаточно дорогостоящее мероприятие, более экономичный вариант – замена только шкафа управления на современный программно-аппаратный комплекс удаленного управления.

Установка сторонних измерительно-вычислительных комплексов, сопряжена со сложностью их адаптации к электролизной установке СЭУ-20, отсутствии системы оперативного оповещения, а также в высокой стоимости комплектующих (в основном зарубежного производства) [4,5], по этой причине предлагается модернизация существующей системы СЭУ-20 с заменой контактно-релейной схемы на современный микропроцессорный блок управления на базе программируемого логического контроля с возможностью передачи информации в диспетчерский пункт по цифровым

каналам и возможностью оперативного оповещения персонала посредством GSM-канала.

Обзор существующих технических решений [6] можно рассмотреть с точки зрения двух подходов (таблица 1):

- полная замена электролизной установки на современный аналог;
- замена только измерительной части системы (средства автоматизации, включающие датчики, преобразователи, управляющие контроллеры и АРМ оператора).

Таблица №1

Сравнение электролизера СЭУ-20 с ближайшими аналогами

| Параметр | HySTAT-A | ФС-20.25 | G48 | СЭУ-20 |
|--|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|
| Выход водорода при полной нагрузке | 30 Нм ³ /час | 20 Нм ³ /час | 32 Нм ³ /час | 20 Нм ³ /час |
| Чистота водорода | 99,997% | 99,6% | >99,5-99,8% | 99,7% |
| Давление водорода на выходе, не более | 10 бар (изб.) | 10 бар (изб.) | 10 бар (изб.) | 10 бар (изб.) |
| Точка росы водорода | -60 °С | -15 °С | -20 °С | -20 °С |
| Выход кислорода при полной нагрузке | 15 Нм ³ /час | 10 Нм ³ /час | 16 Нм ³ /час | 10 Нм ³ /час |
| Чистота кислорода | 99,7% | 99,5% | 99,5% | 99,5% |
| Параметры электропитания | 3 х 400 В перемен. | 3 х 400 В перемен. | 3 х 400 В перемен. | 3 х 400 В перемен. |
| Номинальная мощность | 96 кВт | 120 кВт | 158 кВт | 115 кВт |
| Расход деминерализованной воды | 30 л/ч | 20 л/ч | 27 л/час | 40 л/ч |
| Стоимость одной электролизной установки «под ключ» | 38 млн. руб. | 35 млн. руб. | 40 млн. руб. | 15 млн. руб. |
| Срок службы | 20 лет | 20 лет | 20 лет | 10 лет |

Ближайшие полные аналоги СЭУ-20 [7-9]:

- установка HySTAT-A (производство Бельгийской компании HYDROGENICS EUROPE N.V.), при этом стоимость одной установки электролизера составляет около 38 млн. рублей.

- установки серии ФС-20.25 ТУ 3610-002-13151350-99 (российское производство ИФТИ - Институт физико-технологических исследований), при этом стоимость одной установки электролизера составит около 35 млн. рублей;

- установка G48 (компании ErreDue S.p.A. Италия), при этом стоимость одной установки электролизера составляет около 40 млн. рублей.

Рассмотренные измерительно-вычислительные комплексы, предназначенные для работы в составе установок по производству водорода, имеют следующие преимущества:

- реализованы на базе современных программно-технических комплексов промышленной автоматизации;

- имеют высокие показатели надежности;

- могут быть адаптированы использованы на различных моделях электролизных установок;

- используют современные средства НМИ (Human Machine Interface) для работы оператора с установкой через АРМ оператора в виде сенсорного дисплея или персонального компьютера;

- модульная трехуровневая архитектура позволяет создавать гибкие и легко модернизируемые системы.

Недостатки рассмотренных измерительно-вычислительных комплексов:

- реализованы на базе оборудования зарубежного производства и как следствие имеют весьма высокую стоимость;

- не имеют средств оперативного оповещения персонала посредством GSM-канала.

По результатам обзора существующих технических решений сделан вывод о том, что покупка и замена целой электролизной установки или программно-измерительной части является экономически не выгодной. Тем не менее долгий срок эксплуатации существующей системы вынуждает на поиск решения, и для Березовской ГРЭС можно реализовать собственную систему управления установками СЭУ-20 с использованием современных программно-технических средств автоматизации российского производства (как это сделано, например, у ФС-20.25), но при этом собственная разработка принесет значительный экономический эффект из-за меньшей стоимости по сравнению с аналогами. Подобные технические решения представлены в научных трудах [10-12].

Основной задачей исследования работы является замена устаревшей контактно-релейной схемы системы управления электролизной установкой СЭУ-20 на современный микропроцессорный блок управления с возможностью удаленного контроля и управления основными функциями электролизной установки.

Проектируемая система управления технологическим процессом (АСУТП) строится по трехуровневой архитектуре. Нижний уровень представлен датчиками (газоанализаторами, датчиками давления и температуры, выходными реле силовой части электролизной установки) и исполнительными элементами (промежуточные реле, управляющие выпрямительными агрегатами электролизной установки, световая и звуковая сигнализация, электроклапаны).

Средний уровень управления представлен программируемым логическим контроллером с модулями ввода-вывода. Верхний уровень - автоматизированное рабочее место оператора, включающее персональный

компьютер с установленным программным обеспечением СКАДА, устройства ввода-вывода информации (клавиатура, мышь, монитор) и источник бесперебойного питания.

Для реализации проекта выбрано необходимое оборудование, отвечающее современным требованиям (таблица 2).

Для расчета времени реакции системы рассматривается информационная цепь передачи сигналов в системе, в которую включены последовательно следующие элементы (последовательно): датчик давления (перепад давления между водородом и кислородом), модуль ввода аналоговых сигналов, центральный процессорный модуль, модуль вывода дискретных сигналов, реле отключения электролизера.

Таблица № 2

Оборудование для проекта

| Прибор | Модель | Количество |
|---|-------------------------------|------------|
| Промышленный контроллер | МФК1500 ДАРЦ.420002.002ТУ | 1 |
| Модуль центрального процессора (основной и резервный) | СРУ715 ДАРЦ.426471.040-01 | 2 |
| Модуль дискретного ввода | DI16 ДАРЦ.426437.020 | 1 |
| Модуль дискретного вывода | DO16 ДАРЦ.426436.043 | 1 |
| Модуль аналогового ввода | AI8 ДАРЦ.426431.021 | 1 |
| Модуль аналогового вывода | AI4 ДАРЦ.426431.022 | 1 |
| Блок питания 24В | БП60К ТУ 4211-012-13282997-09 | 1 |
| GSM-модем | TELEOFIS RX100-R2 | 1 |
| Источник бесперебойного питания | СКАТ-UPS 600/350 | 1 |
| Промышленный компьютер | Micromax MХЕ-5503 | 1 |

При расчете времени реакции рассматривается аварийная ситуация – отклонение перепад давления между водородом и кислородом в результате, которого срабатывает технологическая защита на отключение электролизера. Время реакции системы является суммой всех задержек [13]:

$$T = T_{\text{ДД}} + T_{\text{аналог}} + T_{\text{ПЛК}} + T_{\text{дискрет}} + T_{\text{реле}}, \quad (1)$$

где $T_{\text{ДД}}$ – время преобразования физической величины (давления) в значение 4..20 мА датчиком давления; $T_{\text{аналог}}$ – время приема, обработки сигнала модулем аналогового ввода; $T_{\text{ПЛК}}$ – время обработки информации центральным процессорным модулем в цикле технологической программы; $T_{\text{дискрет}}$ – время обработки сигнала модулем дискретного вывода; $T_{\text{реле}}$ – время отключения реле.

Стандартное время преобразования давления датчиком (время отклика) составляет 500 мс, это время затрачивается на демпфирование сигнала, характеризующееся усреднением результатов измерений за некоторый промежуток времени.

Время приема, обработки, фильтрации аналогового сигнала и отправка по внутренней шине на центральный процессорный модуль складывается из следующих задержек:

$$T_{\text{аналог}} = 8 \cdot T_{\text{АЦП}} + T_{\text{пр}} + 2 \cdot T_{\text{паузы}} + T_{\text{Передача}}, \quad (2)$$

где $T_{\text{АЦП}}$ – время преобразования аналогового сигнала встроенным аналогово-цифровым преобразователем, при этом всего используется 8 каналов; $T_{\text{пр}}$ – общее время задержки преобразования аналоговым модулем; $T_{\text{аналог}}$ – время задержки на цифровую фильтрацию, задается в настройках модуля от 1 до 1024 мкс; $T_{\text{Передача}}$ – время на формирование и отсылку данных по внутренней шине, по умолчанию составляет 1 мс.

Время преобразования одного канала измерения составляет $T_{\text{АЦП}} = 12$ мс. Общее время задержки модуля аналогового ввода $T_{\text{пр}} = 25$ мс.

Для хорошей фильтрации и более точного измерения сигнала зададимся значением времени паузы 1,024 мс.

Общее время задержки модулем аналогового ввода:

$$T_{\text{аналог}} = 8 \cdot 12 + 25 + 8 \cdot 1,024 + 1 = 130,2 \text{ мс}$$

Время обработки информационного сигнала центральным контроллером:

$$T_{\text{ПЛК}} = 2 \cdot T_{\text{цикла}} + 2 \cdot T_{\text{передача}} = 2 \cdot 10 + 2 \cdot 1 = 22 \text{ мс}, \quad (3)$$

где $T_{\text{цикла}}$ – время цикла технологической программы контроллера.

Время обработки входного сигнала модулем дискретного вывода не превышает 10 мс. Время выключения реле не более 50 мс.

Общее время реакции:

$$T = 500 + 130,2 + 22 + 10 + 50 = 712,2 \text{ мс} \approx 0,71 \text{ с}$$

В технологическом цикле управления допускается максимальное аварийное время отключения выпрямительного агрегата не более 3 секунды. Спроектированная система управления обеспечивает необходимое время реакции.

Разработана электрическая структурная схема автоматизации электролизной установки СЭУ-20 (рис. 1).

Разработана электрическая функциональная схема управления электролизной установки СЭУ-20 (рис. 2).

Разработанные алгоритмы управляющей программы представлены на рисунках 3-5.

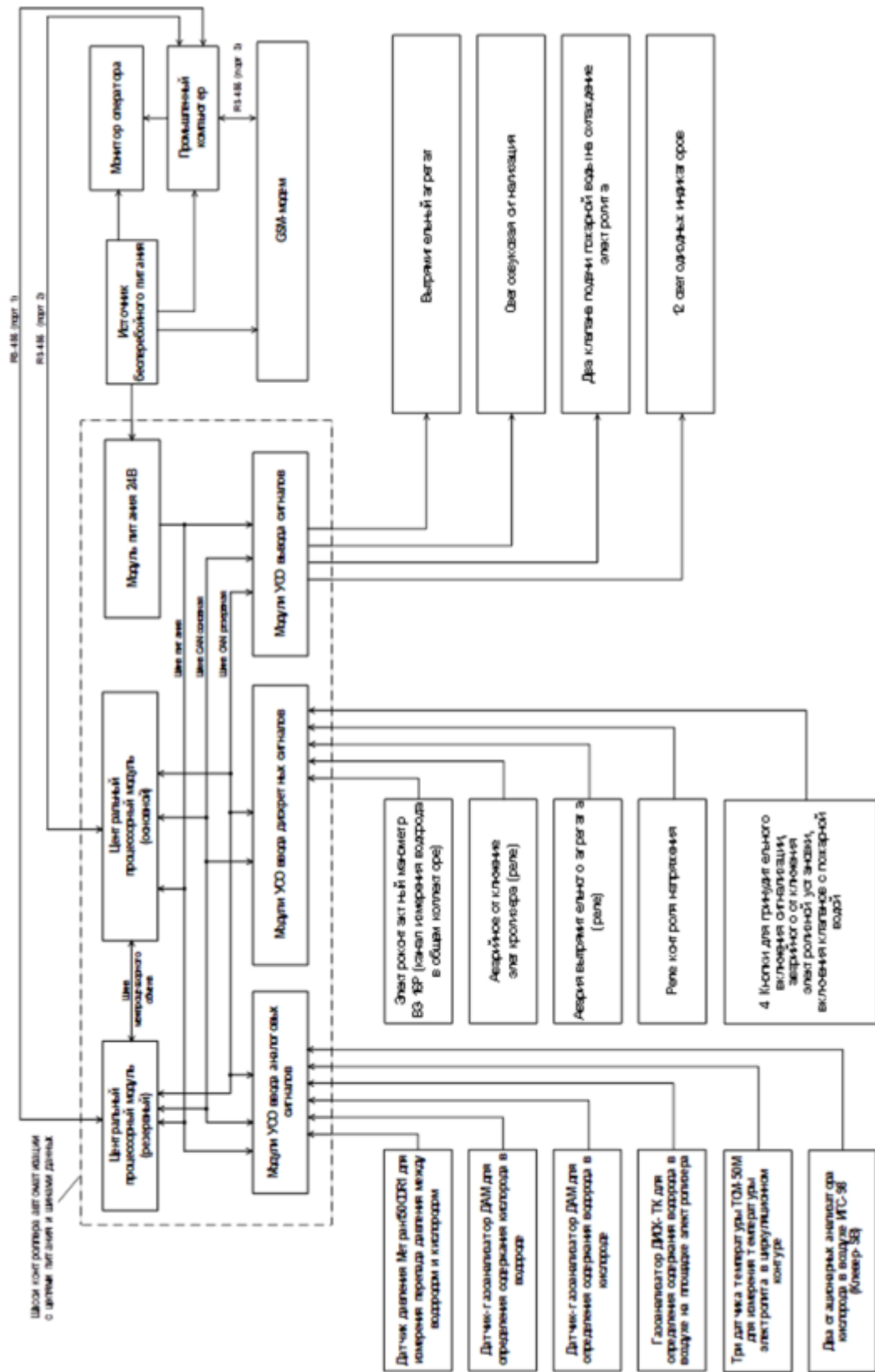


Рис. 1. – Электрическая структурная схема управления электролизной установкой СЭУ-20

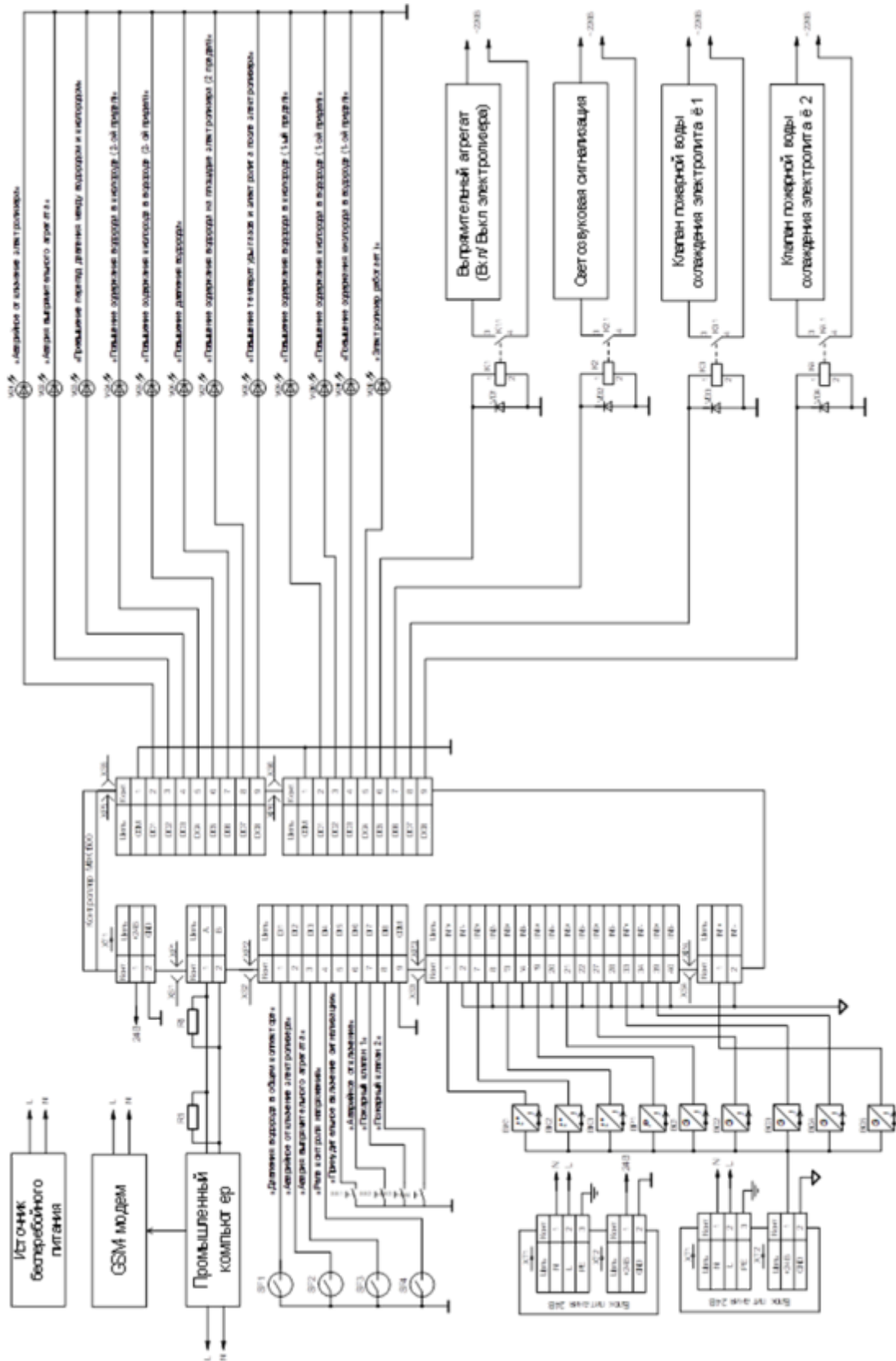


Рис. 2. – Электрическая функциональная схема управления электролизной установкой СЭУ-20



Рис. 3. – Алгоритм работы программы ПЛК, лист 1

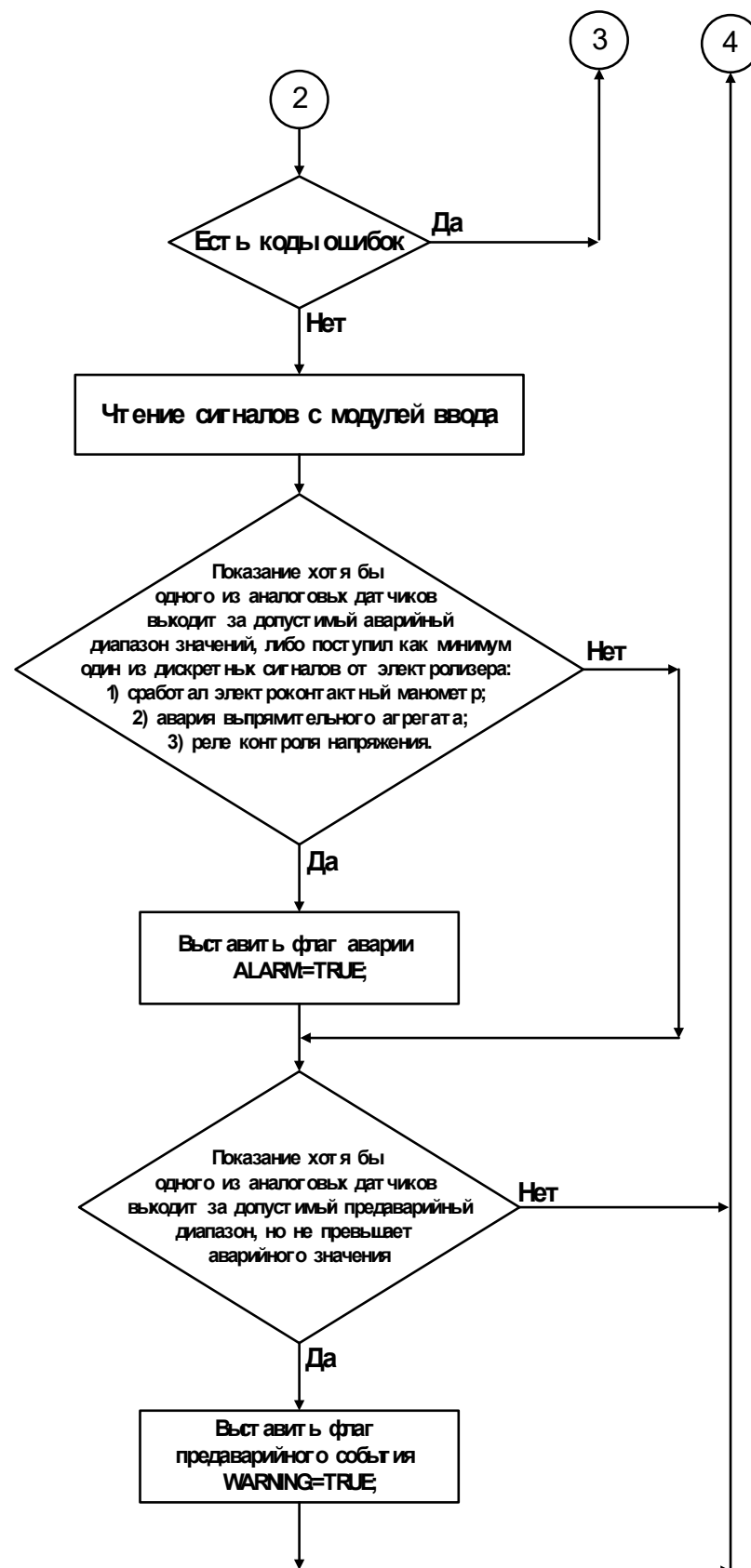


Рис. 4. – Алгоритм работы программы ПЛК, лист 2

При разработке управляющей программы необходимо учесть специфику настройки интерфейсов в CodeSys 3.5, которая имеет строгую последовательность (рис. 6).

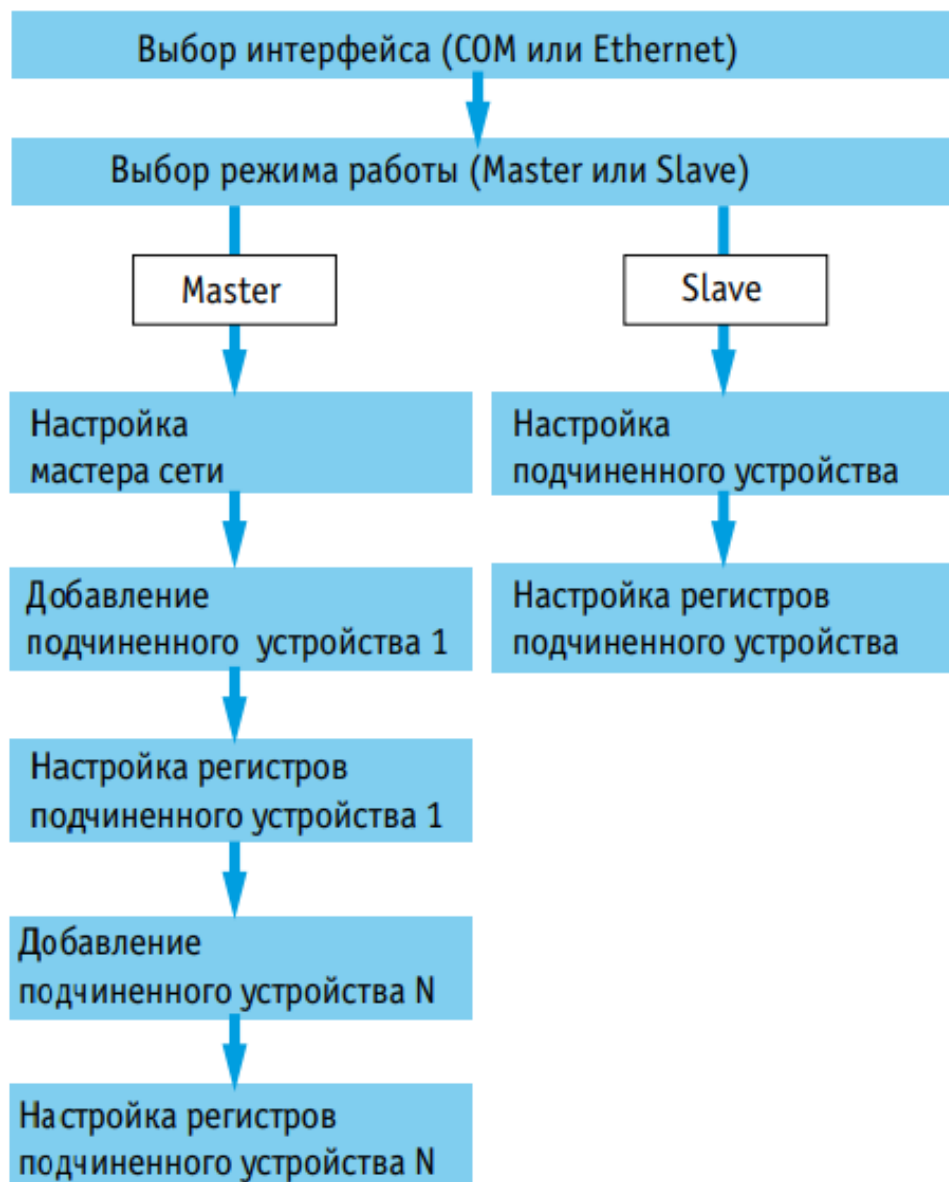


Рис. 6. – Последовательность настройки интерфейсов RS-485/232

Внешний вид среды программирования CodeSys в режиме запуска проекта с откомпилированной программой, выполненной на языке программирования ST, представлен на рис. 7.

На разработанную программу для программируемого логического контроллера получено свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ [14].

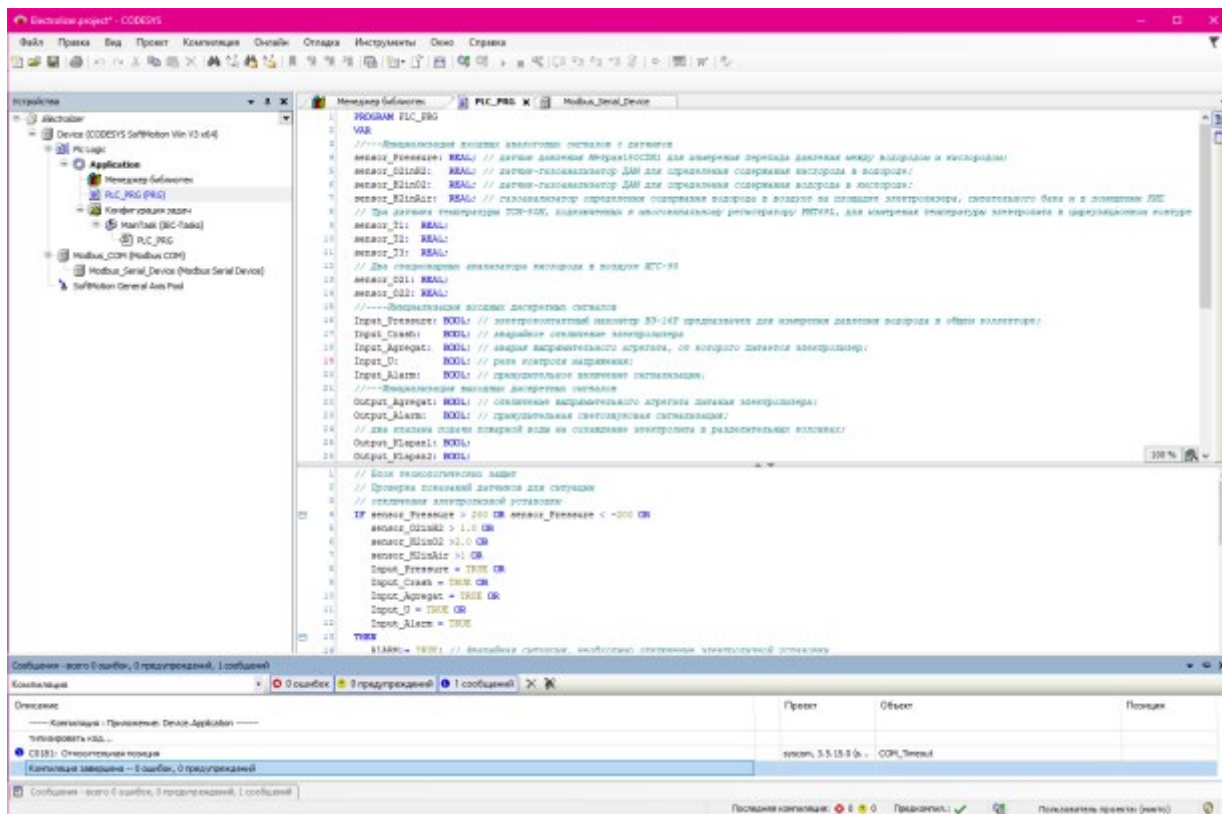


Рис. 7. – Среда разработки CodeSys, откомпилированная программа

На рисунке 8 приведен принцип добавления Modbus RTU устройства.

На рисунке 9 приведен принцип привязки внутренних переменных разработанной программы к каналам Modbus, далее эти переменные можно передавать, например, через OPC-сервер на SCADA.

На рисунках 10 – 12 приведено моделирование разработанной программы с обработкой различных ситуаций.

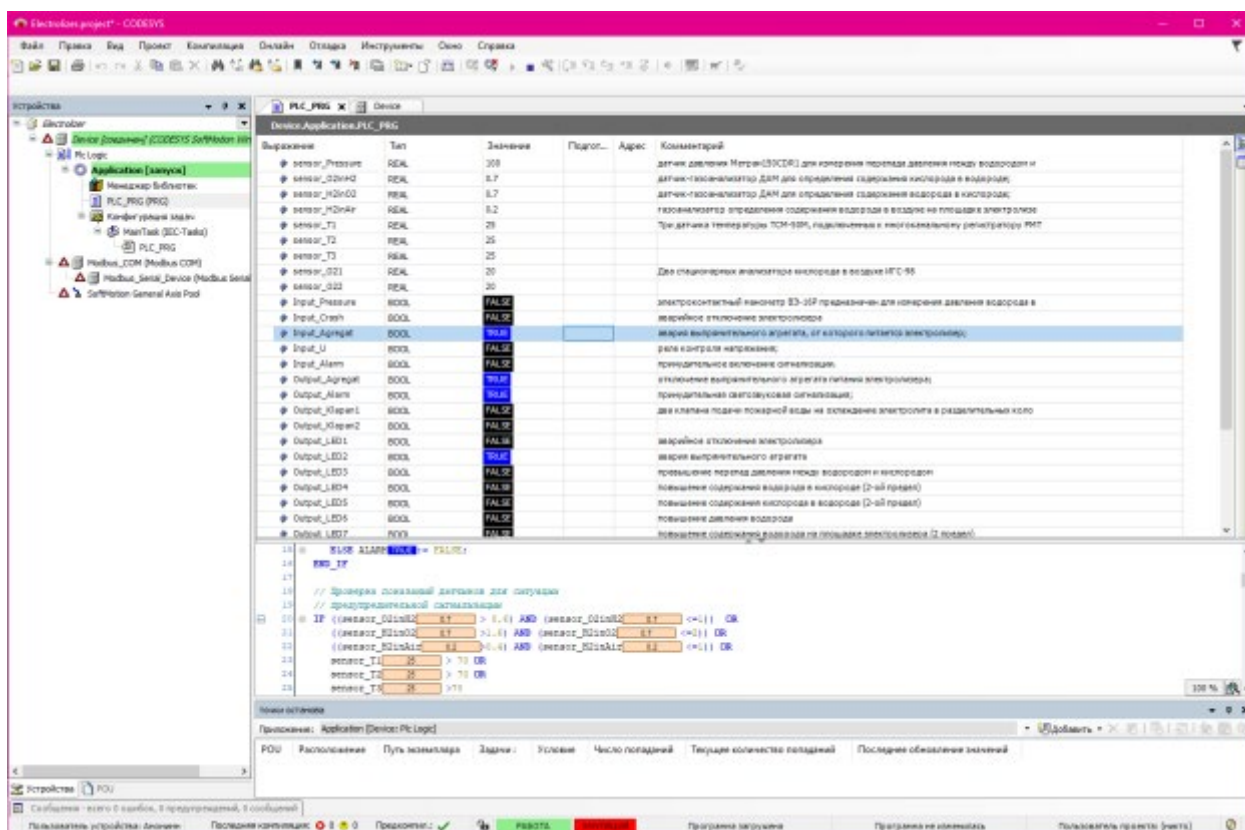


Рис. 12. - Ситуация аварийного события (авария выпрямительного агрегата)

Проведен комплексный анализ возможных решений с полной заменой установки и заменой только измерительно-вычислительной части (шкафа управления). Сделан вывод о том, что полная замена установки является экономически нецелесообразным решением, а замена на измерительно-вычислительный комплекс сторонних компаний является дорогостоящим решением по сравнению с собственной разработкой. Разработан проект модернизации электролизной установки СЭУ-20, включающий замену устаревшей контактно-релейной схемы управления на современный микропроцессорный блок управления на базе программируемого логического контроллера и функцией удаленного управления посредством АРМ оператора. Разработанная система управления имеет заведомо более низкую стоимость по сравнению с полной заменой электролизной установки. Для проекта произведен выбор необходимого оборудования и программного обеспечения. Реализована функция мгновенного GSM-оповещения

ответственных лиц. Разработаны структурная и функциональная схемы, листинг управляющей программы. В среде Simple Scada 2 разработан интерфейс АРМ оператора и произведено моделирование системы.

Литература

1. О филиале Березовская ГРЭС: ПАО «Юнипро». URL: unipro.energy/about/structure/affiliate/berezovskaya/details/ (дата обращения: 02.12.2024).
2. Trofimov V. Designing an intelligent control system for a basic oxygen furnace based on computer vision // Journal of Computer and Systems Sciences International. 2021. Vol. 60. №. 6. Pp. 995-1004.
3. Vassilyev S.N., Novikov D.A., Bakhtadze N.N. Intelligent control of industrial processes // in Proceedings of the 7th IFAC Conference on Manufacturing Modelling, Management, and Control, St. Petersburg. 2013. Pp. 49-57.
4. Тараненко М.Е. Импортозамещение контроллерного оборудования систем управления кислородно-конвертерным производством стали на Новолипецком металлургическом комбинате с использованием отечественного оборудования // Инженерный вестник Дона, 2024, № 2. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2024/9026.
5. Бартедьев В.П. Технологическая модернизация промышленного комплекса // Инженерный вестник Дона, 2007, № 1. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1y2007/49.
6. Антипов А.П. Электролизерные установки // Инновации природообустройства и защиты окружающей среды: Материалы I Национальной научно-практической конференции с международным участием, Саратов, 23–24 января 2019 года. – Саратов: ООО Издательство «КУБиК». 2019. С. 13-16.

7. Установка HySTAT-A URL: studbooks.net/2288301/matematika_himiya_fizika/opisanie_tehnologicheskoy_shemy (дата обращения: 02.12.2024).
8. Техническое описание установки ФС-20.25 URL: vodorod.com/tehnicheskoe-opisanie-ustanovki-po-proizvodstvu-vodoroda-fs-20.25. (дата обращения: 02.12.2024).
9. Установка получения водорода G48 URL: eav.su/catalog/oborudovanie-dlya-tehnicheskikh-gazov/proizvodstvo-vodoroda/ustanovki-polucheniya-vodoroda-g48-g64-ea48-ea64 (дата обращения: 02.12.2024).
10. Журавкова И.В. Импортзамещение в действии // Водоснабжение и санитарная техника. 2015. № 9. С. 18-20.
11. Зайцев А.И. Экономическая эффективность от Применения компенсационных выпрямителей для питания электролизных установок на Нововоронежской АЭС (НВАЭС) // Вестник Воронежского государственного технического университета. 2014. Т. 10. № 3-1. С. 76-78.
12. Зайцев А.И. Применение компенсационных выпрямителей для питания электролизных установок на АЭС // Электротехнические комплексы и системы управления. 2014. № 1. С. 21-23.
13. Богданов В.В. Электротехника: учебное пособие // Новосибирск: НГТУ. 2019. 148 с.
14. Климов А.С., Селютин И.Н., Шилкин С.В., Миллер В.А., Шилкина Т.А. Модуль управляющей программы для программируемого логического контроллера МФК1500. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2023680177. URL: fips.ru/registers-doc-view/fips_servlet.

References

1. О филиале Berezovskaja GRJeS: PAO «Junipro» [About Berezovskaya GRES branch: PJSC "Unipro"]. URL: unipro.energy/about/structure/affiliate/
-



berezovskaya/details/ (date assessed: 02.12.2024).

2. Trofimov V. Journal of Computer and Systems Sciences International. 2021. Vol. 60. №. 6. PP. 995-1004.

3. Vassilyev S.N., Novikov D.A., Bakhtadze N.N. In Proceedings of the 7th IFAC Conference on Manufacturing Modelling, Management, and Control, St. Petersburg. 2013. PP. 49-57.

4. Taranenko M.E. Inzhenernyj vestnik Dona, 2024, № 2. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2024/9026.

5. Barten'ev V.P. Inzhenernyj vestnik Dona, 2007, № 1. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1y2007/49.

6. Antipov A.P. Innovacii prirodoobustrojstva i zashhity okruzhajushhej sredy: Materialy I Nacional'noj nauchno-prakticheskoy konferencii s mezhdunarodnym uchastiem. Saratov, 2019, PP. 13-16.

7. Ustanovka HySTAT A [HySTAT A Installation] URL: studbooks.net/2288301/matematika_himiya_fizika/opisanie_tehnologicheskoy_shemy (date assessed: 02.12.2024).

8. Tehnicheskoe opisanie ustanovki FS 20.25 [G48 Hydrogen Production Plant] URL: vodorod.com/texnicheskoe-opisanie-ustanovki-po-proizvodstvu-vodoroda-fs-20.25. (date assessed: 02.12.2024).

9. Ustanovka poluchenija vodoroda G48 [G48 Hydrogen Production Plant] URL: eav.su/catalog/oborudovanie-dlya-tehnicheskikh-gazov/proizvodstvo-vodoroda/ustanovki-polucheniya-vodoroda-g48-g64-ea48-ea64 (date assessed: 02.12.2024).

10. Zhuravkova I.V. Vodosnabzhenie i sanitarnaja tehnika. 2015. № 9. PP. 18-20.

11. Zajcev A.I. Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo tehničeskogo universiteta. 2014. T. 10. № 3-1. PP. 76-78.



12. Zajcev A.I. Jelektrotehnicheskie kompleksy i sistemy upravlenija. 2014. № 1. PP. 21-23.

13. Bogdanov V.V. Jelektrotehnika: uchebnoe posobie [Electrical Engineering: a study guide] Novosibirsk: NGTU. 2019. 148 p.

14. Klimov A.S., Seljutin I.N., Shilkin S.V., Miller V.A., Shilkina T.A. Modul' upravljajushhej programmy dlja programmiruемого logicheskogo kontrollera MFK1500 [Control program module for the MFK1500 programmable logic controller]. Svidetel'stvo o gosudarstvennoj registracii programmy dlja JeVM № 2023680177. URL: fips.ru/registers-doc-view/fips_servlet.

Дата поступления: 26.11.2024

Дата публикации: 2.01.2025