

Научная статья

УДК 629.5.03-84:681.532

DOI 10.46845/1997-3071-2023-69-105-120

Разработка алгоритмов и программ управления системы управления аварийным дизель-генератором на примере сухогруза «Rix Lake»

Антон Борисович Вольский¹, Кирилл Андреевич Новоселов²

^{1,2}Калининградский государственный технический университет, Калининград, Россия

¹koha73@yandex.ru,

²kirill-n1996@mail.ru, <http://orcid.org/0000-0002-4206-6150>

Аннотация. При построении систем управления и электрооборудования судов особое внимание уделяется унификации аппаратуры и ее высокой надежности. Наиболее важной частью являются программируемые логические контроллеры, так как их применение обеспечивает высокую надежность и достаточно простое обслуживание устройств управления, ускоряет монтаж и наладку оборудования. Цель данной работы – модернизация системы управления аварийного дизель-генератора с внедрением программируемого логического контроллера. Причиной модернизации системы управления стала ее низкая эффективность, низкая надежность. В процессе работы проводился анализ систем управления от разных производителей, рассматривались оптимальные технические решения. Были учтены основные конструктивные и технико-эксплуатационные показатели, такие как высокая надежность работы системы и безопасность использования. Построены алгоритм пуска двигателя, включающий в себя автоматический пуск аварийного дизель-генератора, алгоритм системы управления аварийным дизель-генератором при нормальной и аварийной остановке дизель-генератора. Каждый алгоритм имеет подробную расшифровку компонентов, входящих в него. В процессе выполнения программирования микроконтроллера с использованием программного обеспечения «Logo Soft Comfort» был реализован ряд схем: включение схемы в работу, цепь блокировки работы стартера, схема пуска дизеля, цепь автоматической и ручной остановки, цепь аварийной сигнализации. Каждая схема имеет подробное описание как блоков, так и процессов, происходящих в ней. В результате исследования была проведена модернизация системы управления аварийным дизель-генератором на примере судна «Rix Lake», рассмотрена техническая документация, построены программы управления и контроля аварийного дизель-генератора для логического модуля, что позволит увеличить такой важный фактор, как надежность, повысить ремонтпригодность и информативность. По окончании программирования проведена эмуляция, которая показала, что данная система способна реализовывать задачу, под которую она была сконфигурирована в соответствии с правилами Регистра РФ.

Ключевые слова: алгоритм, программирование, система, управление, программируемый логический контроллер, модернизация, судно.

Для цитирования: Вольский А. Б., Новоселов К. А. Разработка алгоритмов и программ управления системы управления аварийным дизель-генератором на примере сухогруза «Rix Lake» // Известия КГТУ. 2023. № 69. С. 105–120. DOI: 10.46845/1997-3071-2023-69-105-120.

Original article

Development of algorithms and control programs for the emergency diesel generator control system on the example of the «Rix Lake» dry cargo ship

Anton B. Volskiy¹, Kirill A. Novoselov²

^{1,2}Kaliningrad State Technical University, Kaliningrad, Russia

¹koha73@yandex.ru,

²kirill-n1996@mail.ru, <http://orcid.org/0000-0002-4206-6150>

Abstract. When building control systems and electrical equipment of ships, special attention is paid to the unification of equipment and its high reliability. The most important part is programmable logic controllers, since their use provides high reliability and fairly simple maintenance of control devices, accelerates installation and commissioning of equipment. The purpose of this work is to modernize the control system of an emergency diesel generator with the introduction of a programmable logic controller. The reason for the modernization of the control system is its low efficiency and low reliability. In the course of the work, the analysis of control systems from different manufacturers and consideration of optimal technical solutions have been carried out. The main design and technical and operational indicators have been taken into account, such as high reliability of the system and safety in use. An algorithm for starting the engine has been built, including the automatic start of the emergency diesel generator, the algorithm of the emergency diesel generator control system during normal and emergency shutdown of the diesel generator. Each algorithm has a detailed explanation of the components included in it. In the process of programming the microcontroller using the «Logo Soft Comfort» a number of schemes has been implemented: the inclusion of the circuit in operation, the starter lock circuit, the diesel start circuit, the automatic and manual stop circuit, the alarm circuit. Each circuit has a detailed description of both the blocks and the processes taking place in it. As a result of our research, the emergency diesel generator control system has been upgraded using the example of the «Rix Lake» vessel, technical documentation has been reviewed; control and monitoring programs for the emergency diesel generator for the logic module have been built. All these will increase such an important factor as reliability, increase maintainability and informativeness. At the end of programming, emulation has been carried out, which showed that this system is capable of implementing the task for which it has been configured in accordance with the rules of the Register of the Russian Federation.

Keywords: algorithm, programming, system, control, programmable logic controller, modernization, ship.

For citation: Vol'skiy A. B., Novoselov K. A. Development of algorithms and control programs for the emergency diesel generator control system on the example of

the Rix Lake dry cargo ship. *Izvestiya KGTU = KSTU News*. 2023;(69):105–120. (In Russ.). DOI: 10.46845/1997-3071-2023-69-105-120.

ВВЕДЕНИЕ

Эффективность эксплуатации судна в значительной мере зависит от качества систем управления и электрооборудования, которое применяется в процессе его эксплуатации.

Одно из требований при построении систем управления и электрооборудования судов говорит о том, что необходимы унификация применяемой аппаратуры и использование элементов систем, обладающих высоким уровнем надежности [1, 2].

Основным преимуществом автоматических систем управления технологическими процессами (АСУТП) является снижение, вплоть до полного исключения, влияния «человеческого фактора» на процесс управления, что приводит к сокращению команды судна, повышает надежность и безопасность, а также эффективность работы судна. К главным функциям данных систем относят контроль и управление, обмен данными, обработку, накопление и хранение информации, формирование сигналов тревог, построение графиков и отчетов [3, 4].

Наиболее важная часть любой современной системы управления – программируемые логические контроллеры (ПЛК). Их применение обеспечивает высокую надежность и достаточно простое обслуживание устройств управления, ускоряет монтаж и наладку оборудования [5, 6].

Однако при всех преимуществах использования логических контроллеров ранние системы управления комплектовались модулями с довольно неудобным программным обеспечением. При выходе из строя такого модуля в судовых условиях необходима его замена и программирование [7, 8]. Это трудоемкий процесс, требующий значительных временных затрат и высокой квалификации обслуживающего персонала, в случае с аварийным дизель-генератором затяжной ремонт может привести и к трагическим последствиям [9–11].

По сравнению с ранними версиями контроллеров современные модули имеют более компактное исполнение, немаловажное для судна, интегрированный дисплей и клавиатуру, библиотеку встроенных функций (до двухсот на программу). Производить программирование можно без использования специального программатора, непосредственно со встроенной клавиатуры. Программное обеспечение позволяет проводить дистанционную диагностику и программирование, кроме того, возможно размножение и тиражирование программ с использованием карт памяти, помещаемых непосредственно в модуль [12–15].

Таким образом, при наличии программы на персональном компьютере или карте памяти время замены блока сводится к минимуму, исключаящему какие-либо значительные риски.

Сухогруз «Rix Lake» – грузовое судно речного или морского базирования, приспособленное для перевозки различных сухих грузов, например, сыпучих (в частности, зерна), леса, щепы, минеральных удобрений, специальных контейнеров международного стандарта и др.

Судовая электростанция имеет аварийный дизель-генератор (АДГ), управляемый системой автоматического управления. Исходная схема системы управ-

ления построена с применением логического контроллера релейного типа «Hyundai PLC CPU 36040».

Система управления АДГ осуществляет контроль показателей работы дизеля (оборотов, давления смазочного масла, уровня охлаждающей жидкости, температуры охлаждающей жидкости и масла). Защита двигателя обеспечивается по параметрам, указанным ниже:

- по пониженному давлению смазочного масла (2,5 бар);
- по повышенной температуре смазочного масла (120 °C);
- по пониженному уровню охлаждающей жидкости (задержка 5 с);
- по повышенной температуре охлаждающей жидкости (95 °C);
- по утечке топлива (задержка 5 с);
- по повышенным оборотам двигателя.

При анализе имеющейся на судне релейной системы управления выявлен ряд недостатков: присутствует вероятность выхода релейных элементов из строя в открытом море, а их замена и перепрограммирование требует довольно длительного времени и высокого профессионализма обслуживающего персонала, что может негативно сказаться на обеспечении безопасности судна; дисплей контроллера недостаточно информативен, расположен внутри шкафа системы управления, не имея открытого доступа.

Устранить выявленные недостатки можно посредством модернизации системы управления. В ходе модернизации предполагается замена штатного микроконтроллера и блоков расширения на более новые и функциональные.

РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ АВАРИЙНОГО ДИЗЕЛЬ-ГЕНЕРАТОРА

Принципиальное отличие ПЛК от релейных схем заключается в том, что все его функции реализованы программно. Используя лишь один контроллер, возможно реализовать схему, эквивалентную тысячам элементам жесткой логики. При этом надежность работы схемы не зависит от ее сложности, обеспечивается простое тиражирование и обслуживание устройств управления, ускоряется монтаж и наладка оборудования, происходит быстрое обновление алгоритмов управления, включая работающее оборудование.

Контроллер должен выполнять следующие функции:

- выдать команду на открытие топливного клапана;
- выдать сигналы на трехкратный пуск стартера с выдержкой времени после каждого пуска;
- при достижении номинальных оборотов дизеля выдать сигналы на отключение стартера, а также на прием нагрузки;
- при нарушении критериев пуска или работы АДГ (повышение температуры охлаждающей жидкости или масла, понижение давления масла, снижение уровня охлаждающей жидкости, утечка топлива, превышение максимальных оборотов двигателя) выдать сигнал на аварийный останов и сигнализацию;
- при нормальном останове выдать сигнал на отключение нагрузки; выдержав время, выдать сигнал на отключение АДГ.

Выбор управляющего устройства

В табл. 1 представлены основные мировые фирмы-производители, лидеры в области разработки программируемых логических контроллеров и программируемых реле.

Таблица 1. Виды ПЛК

Table 1. Types of PLC

Компания-производитель	Модель
«Siemens AG»	«Logo»
«Mitsubishi Electric»	«Alpha XL»
«Schneider Electric (Telemecanique)»	«Zelio Logic»
«Moeller Company Group»	«MFD-Titan»
«Omron Corporation»	«Zen»
«Automation Direct»	«Direct Logic»
«Owen»	«Owen Logic»

По результатам анализа микроконтроллеров от различных производителей наиболее подходящим по стоимости и требованиям стал логический модуль «Logo 24 RC» шестой серии от компании «Siemens AG».

Логические модули «Logo» обладают следующими преимуществами: простое управление, повышенный срок эксплуатации, высокая скорость передачи данных, стандартный интерфейс подключения, высокая степень защиты.

Следует отметить, что особенностью зарубежных брендов, таких как «Siemens», является широта продуктовых линеек, в то время как отечественные производители ПЛК предлагают продукцию для определенных областей, при этом необходима предварительная проверка совместимости изделий для конкретной задачи.

С помощью клавиш на передней панели данные модули программируются посредством программы «Logo Soft Comfort», что значительно упрощает работу. Модули «Logo» возможно дополнять различными блоками расширения, которые позволяют обеспечить работу со всеми видами сигналов. Цифровые модули «Logo» имеются для напряжений 12 В постоянного тока, 24 В постоянного и переменного тока и 115–240 В постоянного и переменного тока с 4 входами и 4 выходами. Аналоговые модули «Logo» есть для напряжений 12 и 24 В постоянного тока с двумя аналоговыми входами. Шестая серия дополнена текстовым дисплеем «Logo TD», совмещающего в себе как информационные функции, так и функции управления и программирования. Из всего вышеперечисленного следует, что выбранное устройство полностью соответствует поставленной задаче модернизации. Технические данные модуля «Logo 24 RC» приведены в табл. 2.

Таблица 2. Технические данные модуля «Logo 24 RC»
Table 2. Technical data of «Logo 24 RC» module

Технические данные	Ед. изм.	Количество
Входы	шт.	8
Напряжения питания	В	24
Допустимый диапазон	В	20,4–28,8
Входной ток	мА	2,5
Релейные выходы	шт.	4
Рассеиваемая мощность	Вт	0,5–2,9
Температура окружающей среды	°С	0–55

Для увеличения количества используемых выходов и входов необходимы модули расширения. В качестве таковых возможно использовать «Logo DM 16 24 R» и «Logo DM 8 24 R».

Разработка алгоритмов и программ управления аварийного дизель-генератора

Алгоритм пуска двигателя включает в себя автоматический пуск АДГ и контроль данного процесса. Если пуск состоялся, активируется функция автоматического включения генератора на аварийном распределительном щите (АРЩ). Исполнение функции автоматического пуска происходит при получении соответствующей команды, которая формируется при обесточивании АРЩ. На рис. 1 представлена упрощенная блок-схема алгоритма пуска АДГ.

Значение операторов алгоритма следующее:

- Н – начало;
- A1 – срабатывание реле по пониженному напряжению;
- B1 – проверка готовности системы к автоматическому пуску (положение Z2);
- A2 – команда на пуск дизеля;
- A3 – открытие топливного клапана;
- A4 – включение стартера;
- B2 – дизель вышел на минимальные обороты;
- B3 – время включения стартера истекло;
- A5 – блокировка топливного клапана, уменьшение числа попыток пуска на 1;
- A6 – задание выдержки времени между пусками;
- B4 – число попыток пуска АДГ больше заданного;
- A7 – включение аварийной сигнализации;
- A8 – отключение стартера;
- B5 – параметры работы в норме;
- A9 – вывод сообщения на дисплей «Пуск завершён»;
- A10 – вывод сообщения на дисплей «Пуск не состоялся»;
- A11 – команда аварийной остановки;
- К – конец.

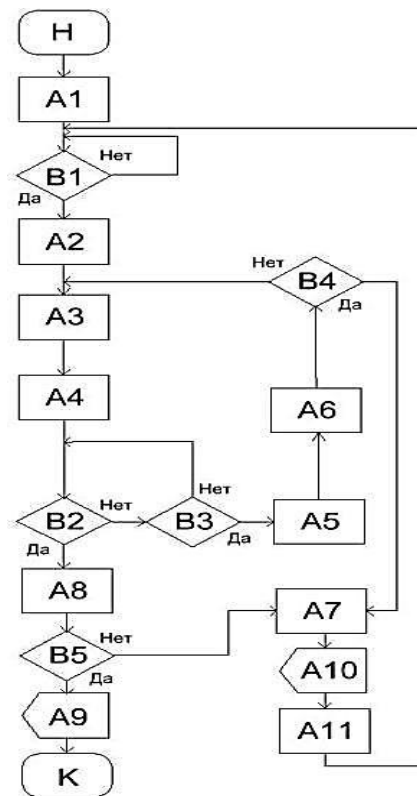


Рис. 1. Упрощенная блок-схема алгоритма пуска АДГ
Fig. 1. Simplified block diagram of the ADG start-up algorithm

Система управления АДГ должна предусматривать нормальную и аварийную остановку дизель-генератора. Блок-схема алгоритма нормальной остановки АДГ представлена на рис. 2.

Значение операторов алгоритма следующее:

- Н – начало;
- В1 – ручная остановка;
- В2 – автоматическая остановка;
- А1 – перевод переключателя Z2 в режим «Стоп»;
- А2, А7 – вывод сообщения на «Logo TD»;
- А3 – задержка включения 15 с;
- А4 – закрытие топливного клапана;
- А5 – появление напряжения на шинах ГРЩ;
- А6 – команда на остановку;
- А8 – задержка включения 5 мин.;
- А9 – остановка;
- К – конец.

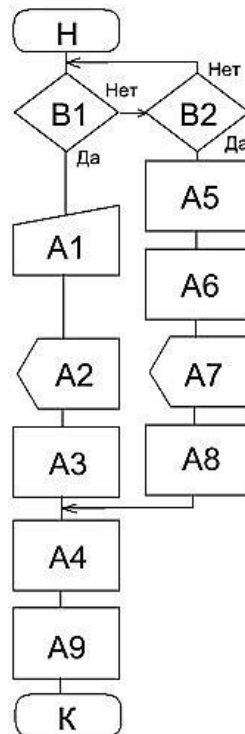


Рис. 2. Блок-схема алгоритма нормальной остановки АДГ
Fig. 2. Block diagram of the algorithm of ADG normal stop

Формирование алгоритма аварийного останова двигателя складывается из различных вариантов срабатывания системы защиты по тому или иному фактору. Блок-схема алгоритма аварийной остановки АДГ представлена на рис. 3. Значение операторов алгоритма следующее:

- Н – начало;
- B1 – защита по низкому давлению смазочного масла;
- B2 – защита по повышенной температуре смазочного масла;
- B3 – защита по утечке топлива;
- B4 – защита по низкому уровню охлаждающей жидкости;
- B5 – защита по повышенной температуре охлаждающей жидкости;
- B6 – защита по повышенным оборотам двигателя;
- A1 – задержка включения 5 с;
- A2 – включение аварийно-предупредительной сигнализации;
- A3 – включение соответствующей сигнальной лампы (HL3–HL7, HL9);
- A4 – вывод соответствующего сообщения на «Logo TD»;
- A5 – команда на аварийную остановку;
- A6 – задержка включения 15 с;
- A7 – закрытие топливного клапана;
- A8 – вывод сообщения «Аварийная остановка»;
- A9 – остановка;
- К – конец.

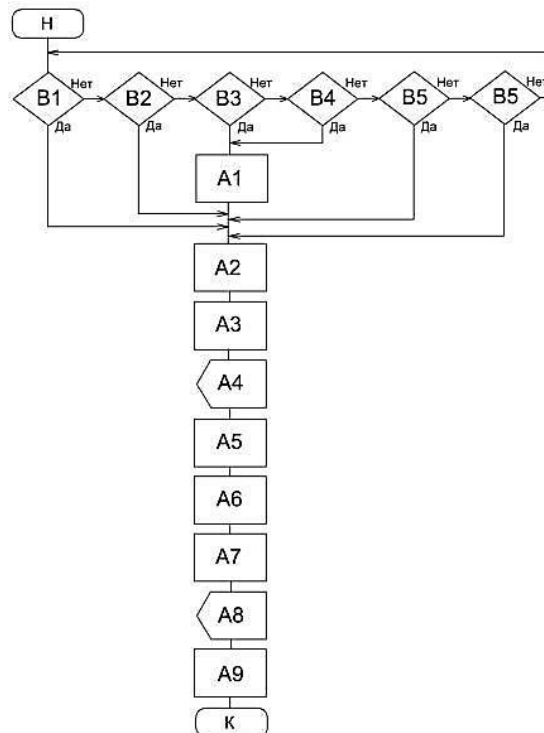


Рис. 3. Блок-схема алгоритма аварийной остановки АДГ
Fig. 3. Block diagram of the ADG emergency stop algorithm

Программирование микроконтроллера «Logo»

При программировании микроконтроллера целесообразно использовать программное обеспечение «Logo Soft Comfort», которое поставляется в комплекте. В процессе программирования различные этапы построения схемы реализуются следующим образом.

Включение в работу схемы показано на рис. 4.

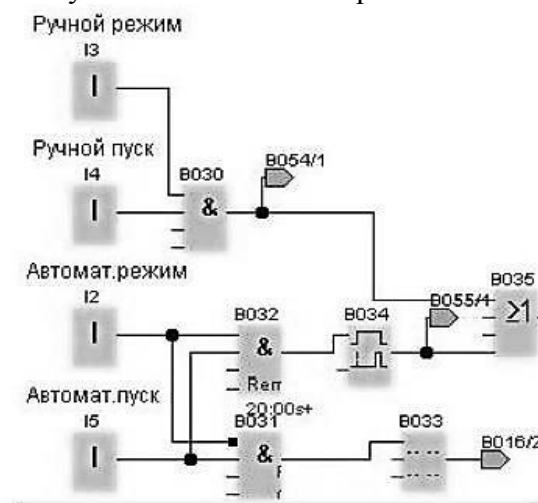


Рис. 4. Включение схемы в работу
Fig. 4. Putting the circuit into operation

Входы I3, I2 соответствуют положениям переключателя Z2, устанавливаемого в ручной или автоматический режимы работы. Вход I4 – кнопка пуска двигателя в ручном режиме (без выбора ручного режима пуск невозможен), I5 – подает сигнал при исчезновении напряжения на шинах АРЩ.

Если при активации входа I5 схема находится в ручном режиме или режиме «Стоп», через элемент «И» B031 сигнал поступает на текстовый блок, выводя 47 сообщение «Автоматический режим не выбран». При этом включается аварийная сигнализация. В автоматическом режиме сигнал поступает на блок задержки B034 и с выдержкой 20 секунд – на B035 непосредственно к цепи пуска. Связующие знаки B054/1 и B055/1 указывают направление к блокам «И», блокирующим работу стартера при отключении того или иного режима (рис. 5).

Далее представлена часть схемы управления, отвечающая за обеспечение трехкратного повторения пуска, блокировку топливного клапана между стартами и подключения генератора на шины (рис. 6).

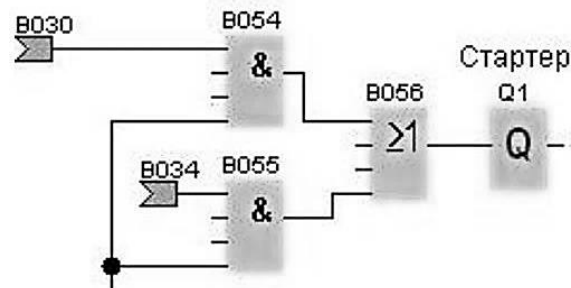


Рис. 5. Цепь блокировки работы стартера
Fig. 5. Starter operation blocking circuit

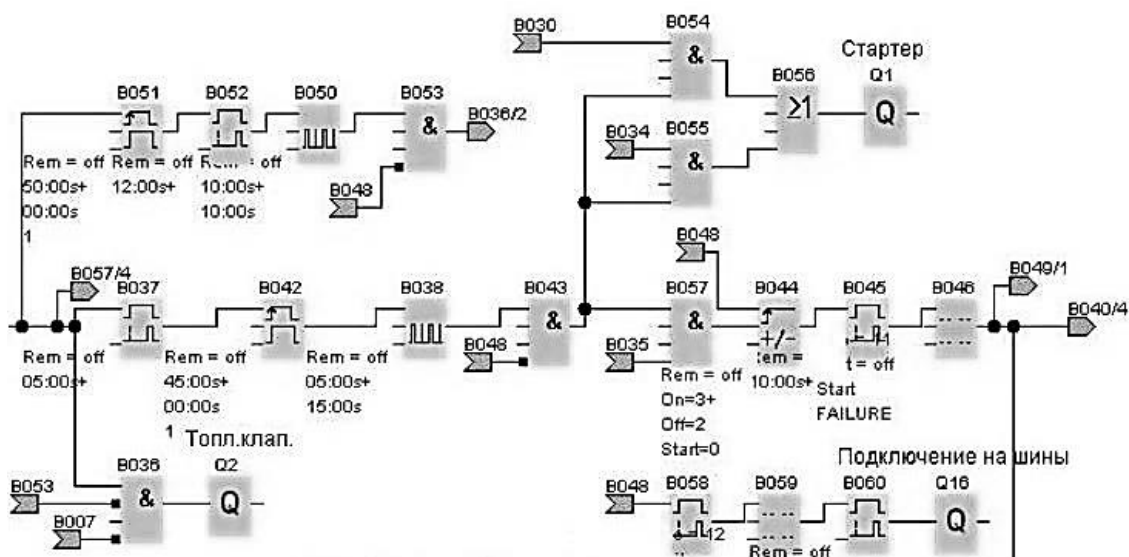


Рис. 6. Схема пуска дизеля
Fig. 6. Diesel start-up scheme

Сигнал пуска с блока В035 поступает на топливный клапан, открывая его, на элемент задержки В037 (цепь пуска стартера) и на интервальное реле цепи блокировки топливного клапана В051.

Интервальное реле цепи пуска стартера В042 устанавливается на 45 с, обеспечивая промежуток времени на три попытки пуска. Генератор импульсов В038 производит импульсы длительностью 5 с (время работы стартера) и выдерживает паузу в 15 с. Следующий элемент «И» (В043) имеет два входа – прямой и инверсный. На прямой вход подается сигнал на включение стартера, а на инверсный – с тахогенератора о наборе дизелем минимальных оборотов. При подаче на инверсный вход единицы блок закрывается и последующие попытки пуска блокируются.

Цепь блокировки топливного клапана, состоящая из интервального реле В051, элемента задержки включения В052, генератора импульсов В050 и элемента «И» В053, контролирует открытие и закрытие топливного клапана в перерывах между попытками пуска. При подаче сигнала на инверсный вход В053 от тахогенератора цепь также прекращает работу, оставляя клапан в открытом состоянии.

На четвертый инверсный вход элемента «И» В036 подается сигнал останова с блока В007, В036 закрывается, и топливный клапан перекрывается. Цепь аварийной сигнализации по неудачному пуску состоит из элемента «И», включающего цепь в работу только при наличии сигнала с В035, реверсивного счетчика В044, учитывающего количество попыток пуска, элемента задержки В045, текстового блока В046 («Пуск не состоялся»), выводов на световую, звуковую сигнализацию и на цепь аварийного останова. Счетчик срабатывает на третьей попытке пуска, с выдержкой времени 5 с выводится сообщение на дисплей, включается сигнализация, подается команда на останов. В случае, если двигатель запустился с третьей попытки, цепь блокируется, обнуляя счетчик.

Цепь подключения генератора на шины состоит из двух элементов задержки (В058 и В059) и текстового блока В060 («Двигатель работает»). Подключение происходит автоматически с выдержкой времени при поступлении сигнала о наборе необходимых оборотов.

На рис. 7 изображена цепь останова АДГ автоматического (при появлении напряжения на шинах ГРЩ) и ручного (при повороте переключателя Z2). В первом случае текстовый блок В019 выводит сообщение «Автоматический останов» и с выдержкой времени 5 с через блок В040 подает сигнал на закрытие топливного клапана.

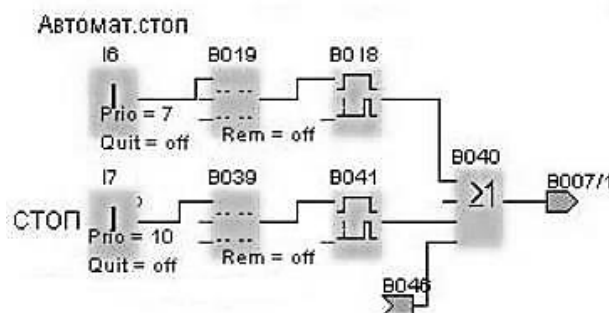


Рис. 7. Цепь автоматической и ручной остановки
Fig. 7. Automatic and manual installation circuit

В режиме ручного останова В039 выводит сообщение «Нормальный останов», выдержка времени составляет 15 с. В040 принимает сигнал из цепи аварийной сигнализации по неудачному пуску В046.

Следующим важным элементом программы является цепь аварийной сигнализации, представленная на рис. 8.

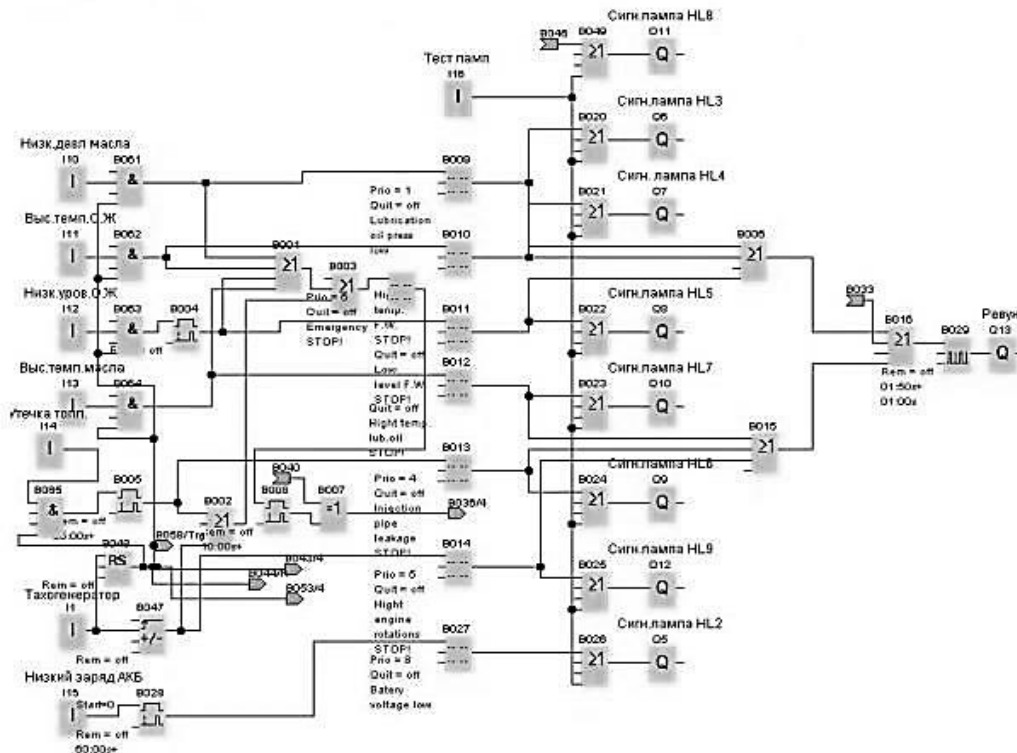


Рис. 8. Цепь аварийной сигнализации
Fig. 8. Alarm circuit

В левой части схемы размещены цифровые входы (I1, I10–I15), на которые поступают сигналы от различных датчиков (давления, температуры, уровня, оборотов). Элементы «И», следующие за ними, пропускают сигнал только при условии, что двигатель запущен, для предотвращения преждевременного срабатывания. В004, В005 и В028 – элементы задержки включения для некоторых параметров – низкого уровня охлаждающей жидкости, утечки топлива и низкого заряда АКБ. Блоки «ИЛИ» В001, В002 и В003 сводят сигналы от датчиков на текстовый блок, выводящий при срабатывании сообщение «Аварийный останов». Далее сигнал поступает на элемент задержки В008 и на закрытие топливного клапана.

Помимо цепи останова сигнал с каждого датчика поступает на свой текстовый блок (В009–В014, В027), выводящий соответствующее сообщение о той или иной неполадке. Элементы «ИЛИ» (В020–В026, В049) являются промежуточными перед сигнальными лампами и сочетают функцию тестовой проверки ламп по сигналу со входа I16. При поступлении сигнала аварийного режима запускается генератор импульсов В029, выдающий периодический сигнал на выход Q13, активирующий ревун.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате исследования были разработаны алгоритмы управления АДГ M/V «Rix Lake»; выполнен анализ конструкторской документации, проведено построение программы управления и контроля АДГ для логического модуля с последующей симуляцией в качестве проверки с использованием программного обеспечения «Logo Soft Comfort».

Внедрение модернизированной системы позволит увеличить надежность системы управления и контроля АДГ, что является очень важным фактором для такого рода систем. Проведенная эмуляция построенной программы показывает, что система способна выполнять свою задачу в полном соответствии с правилами Регистра РФ. Таким образом, можно сделать вывод, что модернизация системы управления АДГ является целесообразной.

Список источников

1. Баранов А. П. Судовые автоматизированные электроэнергетические системы. Москва: Транспорт, 1988. 328 с.
2. Правила классификации и постройки морских судов Регистра РФ. Москва: ФАУ «Российское Классификационное Общество», 2020.
3. Микропроцессорные системы контроля и управления судовых технических средств. Санкт-Петербург: Российский морской регистр судоходства, 2005.
4. Калявин В. П., Мозгалецкий А. В., Галка В. Л. Надежность и техническая диагностика судового электрооборудования и автоматики. Санкт-Петербург: ЭЛМОР, 1996. 295 с.
5. Рак А. Н. Применение программируемого логического контроллера «Овен 63/67» в системе автоматического ввода в действие резервного генератора // Сборник научных трудов ДонИЖТ. 2019. № 53. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/primenenie-programmiruemogo-logicheskogo-kontrollera-oven-63-67-v-sisteme-avtomaticheskogo-vvoda-v-deystvie-rezervnogo-generatora> (дата обращения: 10.04.2023).
6. Илющенко В. В., Тухалов Д. Е. Программирование логического модуля «Logo» с использованием сети PROFINET // Повышение эффективности производства и использования энергии в условиях Сибири: Материалы Всероссийской научно-практической конференции с международным участием (21–24 апреля 2020). Иркутск: Иркутский национальный исследовательский технический университет, 2020. Т. 2. С. 50–54.
7. Коннов Д. А. Программирование на языке FBD логических контроллеров (ПЛК/PLC) // Молодежь и системная модернизация страны: Сборник научных статей 7-й Международной научной конференции студентов и молодых ученых (19–20 мая 2022). Курск: Юго-Западный государственный университет, 2022. Т. 3. С. 380–383.
8. Гуляев Е. В. Разумные системы управления освещением на основе «Logo» и «Simatic S7-1200» // Автоматизация в промышленности. 2011. № 9. С. 26–29.
9. Матул Г. А., Семенов А. С. Анализ аппаратных и программных решений в программируемых логических контроллерах ведущих мировых производителей

лей // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. 2018. № 7. С. 32–36.

10. Банников Е. В. Использование ПЛК в промышленности // International scientific review. 2019. № 15. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/ispolzovanie-plk-v-promyshlennosti> (дата обращения: 06.04.2023).

11. Баранников В. К. Эксплуатация электрооборудования рыбопромысловых судов. Москва: Моркнига, 2013. 496 с.

12. Система промышленной автоматизации для хранения данных в среде промышленного производства, способ сохранения данных и интеллектуальный программируемый логический контроллер: пат. 2688451 Рос. Федерация. № 2018108056 / Беттенхаузен Курт Дирк, Ло Джордж, Лудвиг Хартмут, Роска Джастиниан; заявл. 20.07.2016; опубл. 21.05.2019.

13. Top 20 Secure PLC Coding Practices. URL: <https://plc-security.com/> (дата обращения: 06.04.2023).

14. Обзор и анализ современных программируемых логических контроллеров / В. Д. Володин, А. А. Шаронов, К. С. Мозжегоров, И. С. Полевщиков // Science Time. 2016. № 1 (25). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/obzor-i-analiz-sovremennyh-programmiruemyh-logicheskikh-kontrollerov> (дата обращения: 10.04.2023).

15. Мустаев А. Ф. Сравнительный анализ рыночных моделей ПЛК // Вестник науки. 2020. № 1 (22). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/sravnitelnyy-analiz-rynnochnyh-modeley-plk> (дата обращения: 10.04.2023).

References

1. Baranov A. P. *Sudovye avtomatizirovannye elektroenergeticheskie sistemy* [Ship automated electric power systems]. Moscow, Transport Publ., 1988, 328 p.

2. *Pravila klassifikatsii i postroyki morskikh sudov Registra RF* [Rules of classification and construction of naval vessels of the Register of the Russian Federation]. Moscow, Russian Classification Society Publ., 2020.

3. *Mikroprotsessornye sistemy kontrolya i upravleniya sudovykh tekhnicheskikh sredstv* [Microprocessor control and management systems of ship technical means]. Saint-Petersburg, Russian Maritime Register of Shipping Publ., 2005.

4. Kalyavin V. P., Mozgalevskiy A. V., Galka V. L. *Nadezhnost' i tekhnicheskaya diagnostika sudovogo elektrooborudovaniya i avtomatiki* [Reliability and technical diagnostics of ship electrical equipment and automation]. Saint-Petersburg, ELMOR Publ., 1996, 295 p.

5. Rak A. N. *Primenenie programmiruemogo logicheskogo kontrollera «Oven 63/67» v sisteme avtomaticheskogo vvoda v deystvie rezervnogo generatora* [Application of the programmable logic controller "Aries 63/67" in the system of automatic commissioning of the backup generator]. *Sbornik nauchnykh trudov DonIZHT*, 2019, no. 53, available at: <https://cyberleninka.ru/article/n/primenenie-programmiruemogo-logicheskogo-kontrollera-oven-63-67-v-sisteme-avtomaticheskogo-vvoda-v-deystvie-rezervnogo-generatora> (Accessed 10 April 2023).

6. Ilyushchenko V. V., Tukhalov D. E. *Programmirovaniye logicheskogo modulya «Logo» s ispol'zovaniem seti PROFINET* [Programming of the logic module «Logo» using the PROFINET network]. *Povysheniye effektivnosti proizvodstva i*

ispol'zovaniya energii v usloviyakh Sibiri: Materialy Vserossiyskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii s mezhdunarodnym uchastiem [Improving the efficiency of energy production and use in Siberia: Materials of the All-Russian Scientific and Practical Conference with international participation]. Irkutsk, 2020, vol. 2, pp. 50-54.

7. Konnov D. A. Programmirovaniye na yazyke FBD logicheskikh kontrollerov (PLK/PLC) [Programming in the FBD language of logic controllers (PLC/PLC)]. *Molodezh' i sistemnaya modernizatsiya strany* [Youth and system modernization of the country]. Kursk, 2022, vol. 3, pp. 380-383.

8. Gulyaev E. V. Razumnye sistemy upravleniya osveshcheniem na osnove «Logo» i «Simatic S7-1200» [Intelligent lighting control systems based on «Logo» and «Simatic S7-1200»]. *Avtomatizatsiya v promyshlennosti*, 2011, no. 9, pp. 26–29.

9. Mantul G. A., Semenov A. S. Analiz apparatnykh i programmnykh resheniy v programmiruemykh logicheskikh kontrollerakh vedushchikh mirovykh proizvoditeley [Analysis of hardware and software solutions in programmable logic controllers of leading world manufacturers]. *Mezhdunarodnyy zhurnal prikladnykh i fundamental'nykh issledovaniy*. 2018, no. 7, pp. 32–36.

10. Bannikov E. V. Ispol'zovanie PLK v promyshlennosti [The use of PLC in industry]. *International scientific review*, 2019, no. 15, available at: <https://cyberleninka.ru/article/n/ispolzovanie-plk-v-promyshlennosti> (Accessed 06 April 2023).

11. Barannikov V. K. *Ekspluatatsiya elektrooborudovaniya rybopromyslovykh sudov* [Operation of electrical equipment of fishing vessels]. Moscow, Morkniga Publ., 2013, 496 p.

12. Bettenhausen Kurt Dirk, Lo George, Ludwig Hartmut, Rosca Justinian. Sistema promyshlennoy avtomatizatsii dlya khraneniya dannykh v srede promyshlennogo proizvodstva, sposob sokhraneniya dannykh i intellektual'nyy programmiruemyy logicheskiy kontroller [Industrial automation system for data supply in industrial production environment, data supply method and intelligent programmable logic controller]. Patent RF, no. 2018108056, 2016.

13. Top 20 Secure PLC Coding Practices. Available at: <https://plc-security.com/> (Accessed 06 April 2023).

14. Volodin V. D., Sharonov A. A., Mozzhegorov K. S., Polevshchikov I. S. Obzor i analiz sovremennykh programmiruemykh logicheskikh kontrollerov [Review and analysis of modern programmable logic controllers]. *Science Time*, 2016, no. 1 (25), available at: <https://cyberleninka.ru/article/n/obzor-i-analiz-sovremennykh-programmiruemykh-logicheskikh-kontrollerov> (Accessed 10 April 2023).

15. Mustaev A. F. Sravnitel'nyy analiz rynochnykh modeley PLK [Comparative analysis of market models of PLC]. *Vestnik nauki*, 2020, no. 1 (22), available at: <https://cyberleninka.ru/article/n/sravnitelnyy-analiz-rynochnyh-modeley-plk> (Accessed 10 April 2023).

Информация об авторах

А. Б. Вольский – кандидат технических наук, доцент кафедры электрооборудования и автоматики судов

К. А. Новоселов – старший преподаватель кафедры электрооборудования и автоматики судов

Information about the authors

A. B. Volskiy – PhD in Engineering, Associate Professor of the Department of Electrical Equipment and Ship Automation

K. A. Novoselov – Senior lecturer of the Department of Electrical Equipment and Ship Automation

Статья поступила в редакцию 07.04.2023; одобрена после рецензирования 10.04.2023; принята к публикации 13.04.2023.

The article was submitted 07.04.2023; approved after reviewing 10.04.2023; accepted for publication 13.04.2023.