

УДК 004.41

***РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ПОГРУЖНЫМИ НАСОСАМИ С  
ПРИМЕНЕНИЕМ SWITCH-ТЕХНОЛОГИИ***

***Ташев А.А.***

*магистр 2 курса,*

*Орловский государственный университет имени И.С. Тургенева,*

*г. Орел, Россия*

**Аннотация**

В статье описана разработка системы управления погружными насосами на основе switch-технологии. Спроектирована структурная схема системы управления и защиты. Приведено описание алгоритма работы управляющей программы. Рассмотрены основные принципы switch-технологии при разработке программного обеспечения для микроконтроллеров и показана их реализация на языке программирования Си.

**Ключевые слова:** switch-технология, автоматное программирование, микроконтроллер, система управления, автоматизация водоснабжения.

***DEVELOPMENT OF CONTROL SYSTEM SUBMERSIBLE PUMPS  
WITH THE APPLICATION OF SWITCH-TECHNOLOGY***

***Tashev A.A.***

*master 2 course*

*Orel state University named after I.S. Turgenev,*

*Orel, Russia*

**Abstract**

The article describes the development of control system for submersible pumps based on switch technology. Designs the structural scheme of control and protection system. The following is the description of the algorithm of the control program. Considers the basic principles of switch-technology in the development of software for microcontrollers and shows their implementation in the C programming language.

**Keywords:** switch-technology, FSM-based programming, microcontroller, control system, automation of water supply.

Автоматизация на объектах, обеспечивающих водоснабжение и канализацию, необходима для повышения эффективности технологического процесса добычи и транспортировки воды, снижения затрат электроэнергии, повышения качества и надежности подачи воды потребителям [1].

Оборудование, использованное для подъема воды с большой глубины, относится к высокотехнологичному сегменту. Насос для автономного водоснабжения можно назвать основным элементом автономной системы водоснабжения. Он всегда должен снабжаться системой управления. Это обеспечит не только стабильное поступление воды, но и защитит водоподъемное оборудование от чрезмерного износа и поломок. С помощью блока автоматики запуск насосов происходит при сниженном давлении, а также производится своевременная остановка прибора в то время, когда водяной поток в системе водоснабжения останавливается. Более того, автоматика для насосов способна защитить его в период работы без воды.

Целью данной статьи является разработка системы управления погружными насосами, реализованная на основе switch-технологии, имеющей базовую конструкцию в виде конечных автоматов.

Switch-технология — технология разработки систем логического управления. Ключевым понятием в рассматриваемой технологии программирования является конечный автомат (КА). Центральным понятием

разрабатываемого подхода является понятие "состояние" автомата. Правила перевода из одного состояния в другое задаются структурой КА [2].

Данный стиль программирования был выбран исходя из следующих преимуществ:

- в наглядной графической форме могут быть выражены как связи между автоматами, так и их внутренняя структура;
- автомат является автономной единицей программы, его связи с остальными автоматами сведены к минимуму и унифицированы;
- программы, построенные по SWITCH-технологии, легко поддаются модификации [3].

Представленная автоматическая система управления погружными насосами выполняет следующие функции:

- защита электродвигателя от сухого хода;
- защита двигателя по величине тока в трехфазной сети;
- защита двигателя по величине напряжения в трехфазной сети;
- защиты двигателя от нарушения чередования фаз;
- управление насосом по датчикам уровня и давления;
- блокировка работы двигателя при обнаружении неисправности датчиков;
- подсчет расхода воды и времени работы насоса;
- сохранение данных по пропаданию сетевого напряжения;
- передача данных через интерфейс RS-485 по протоколу Modbus.

Ниже (рис.1) представлена структурная схема устройства управления погружными насосами и защиты электродвигателей.

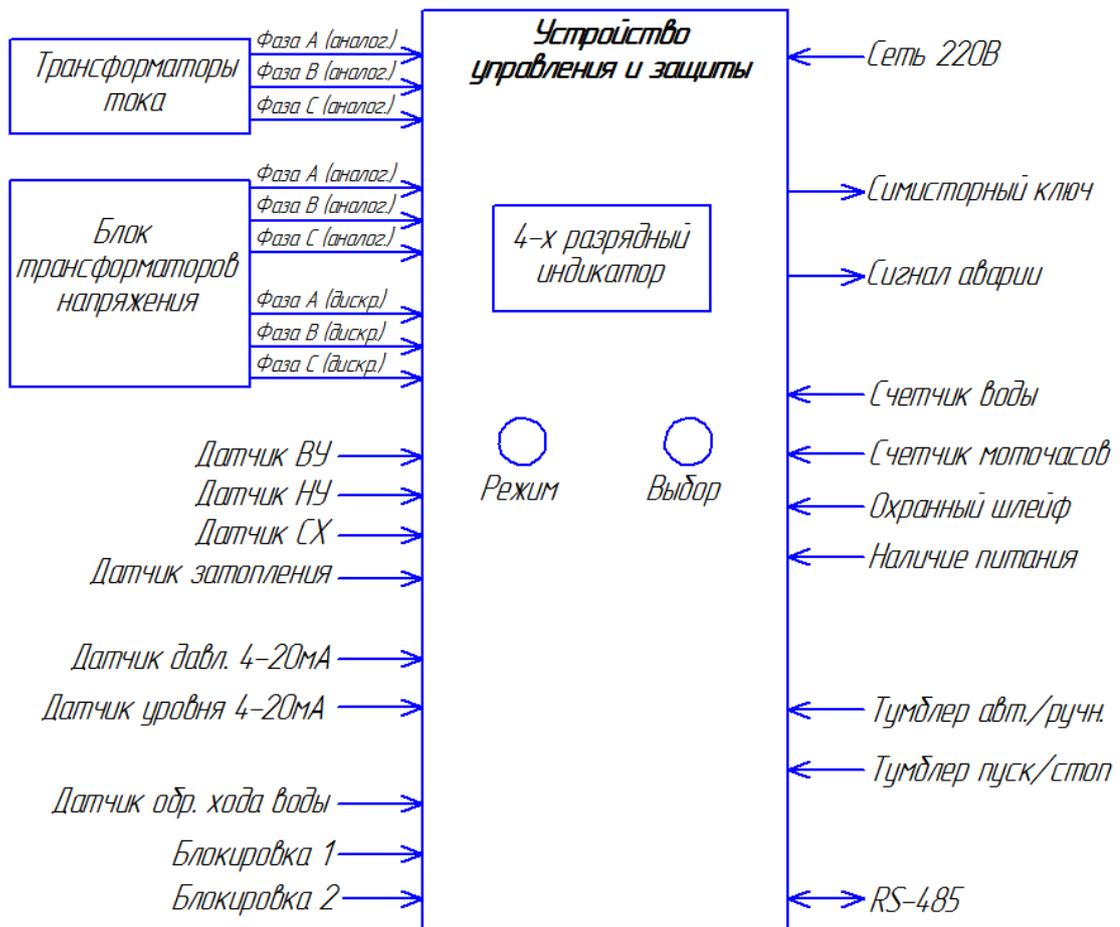


Рис.1 – Структурная схема устройства управления и защиты

Для управления погружным насосом и защиты двигателя используются сигналы дискретных и аналоговых датчиков. Для защиты двигателя по «сухому ходу» применяется датчик кондуктометрического типа, принцип действия которого основан на изменении электропроводности между общим и сигнальным электродами в зависимости от уровня сигнализируемой жидкости. Датчик затопления представляет собой обычный контактный датчик, подающий логическую единицу в нормально разомкнутом состоянии, и служит для информирования о том, что произошло затопление на объекте. Для отслеживания уровня в скважине можно использовать три типа датчиков: кондуктометрического типа, электроконтактный манометр (ЭКМ) или аналоговый датчик уровня 4-20мА. Для отслеживания давления в трубопроводе используется аналоговый датчик давления 4-20мА. Для предотвращения выхода из строя двигателя при обратном ходе воды используется

соответствующий датчик контактного типа, подающий логическую единицу в нормально разомкнутом состоянии. При использовании дополнительных средств защиты двигателей (напр. защита от перегрева с использованием датчика температуры) предусмотрены дискретные входы «Блокировка 1» и «Блокировка 2», при подаче на которые логического нуля устройство производит аварийный останов двигателя и находится в состоянии блокировки до тех пор, пока не пропадут сигналы с соответствующих входов.

Устройство обрабатывает аналоговые сигналы, поступающие с трансформаторов тока и блока трансформаторов напряжения, производя расчет действующего значения тока  $I_d$  и действующего значения напряжения  $U_d$  по трем фазам. На основе рассчитанных величин осуществляется защита электродвигателя погружного насоса по току (минимальному, аварийному, интегральному) и напряжению (минимальному и максимальному). С блока трансформаторов напряжения также поступают дискретные сигналы по трем фазам, представляющие собой прямоугольные сигналы частотой, равной частоте напряжения в сети. Данные сигналы используются для определения прямого чередования фаз в сети.

В устройстве предусмотрена возможность ручного управления насосом. Для этого используются дискретные входы «авт./ручн.» и «пуск/стоп». Для управления симисторным ключом используется соответствующий дискретный выход, осуществляющий замыкание ключа. В случае возникновения аварийных ситуаций формируется сигнал об аварии. Для подсчета расхода воды и времени работы насоса используются соответствующие входы устройства. Реализована функция сохранения данных по пропаданию сетевого напряжения.

Для передачи данных используется интерфейс RS-485. Работа приема-передачи устройства происходит по протоколу Modbus в режиме Slave (ведомый).

В устройстве применяется 4-х разрядный 7-ми сегментный индикатор для просмотра измеряемых параметров.

За работу управляющей программы отвечает микроконтроллер (МК) ATXMEGA128A3 компании Atmel.

Основная логика работы программы заключается в последовательном опросе следующих конечных автоматов, реализованных в виде функций языка Си:

- КА обработки сигналов с датчиков и их перевода в требуемые единицы измерения;

- КА основного модуля управления, отвечающего за принятие решения о включении\выключении насоса и обработку сообщений об авариях;

- КА модуля контроля датчиков, формирующего управляющие команды согласно требуемому режиму работы, а также следящего за исправностью данных датчиков;

- КА модуля защиты, формирующего сообщение об аварии в случае отклонения показаний по току и напряжению от заданных параметров.

Все вышеописанные КА реализуются в виде двух внешних функций, имеющие следующий общий вид:

```
void InitFSM(void);
```

```
void ProcessFSM(void);
```

Функция InitFSM инициализирует автомат, а функция ProcessFSM отвечает за работу автомата. На каждой итерации основного цикла программы вызываются функции ProcessFSM всех автоматов [3].

Структура функции ProcessFSM реализована с помощью конструкции «switch case» языка Си. Тело оператора switch состоит из ряда меток case и необязательной метки default [5]. Для остановки выполнения и контроля передачи после оператора switch используется оператор break. Каждой конструкции «case break» соответствует определенное состояние автомата.

Для взаимодействия автоматов между собой используется система сообщений. Каждое сообщение представляет собой флаг. Автомат, передающий сообщение, устанавливает соответствующий флаг, а автомат, принимающий сообщение, проверяет состояние флага. За обработку сообщений

отвечает отдельная функция ProcessMessages(). Как правило, ее вызов происходит в конце итерации основного цикла.

Рассмотрим работу автомата на примере основного модуля управления, представленного на рис.2.

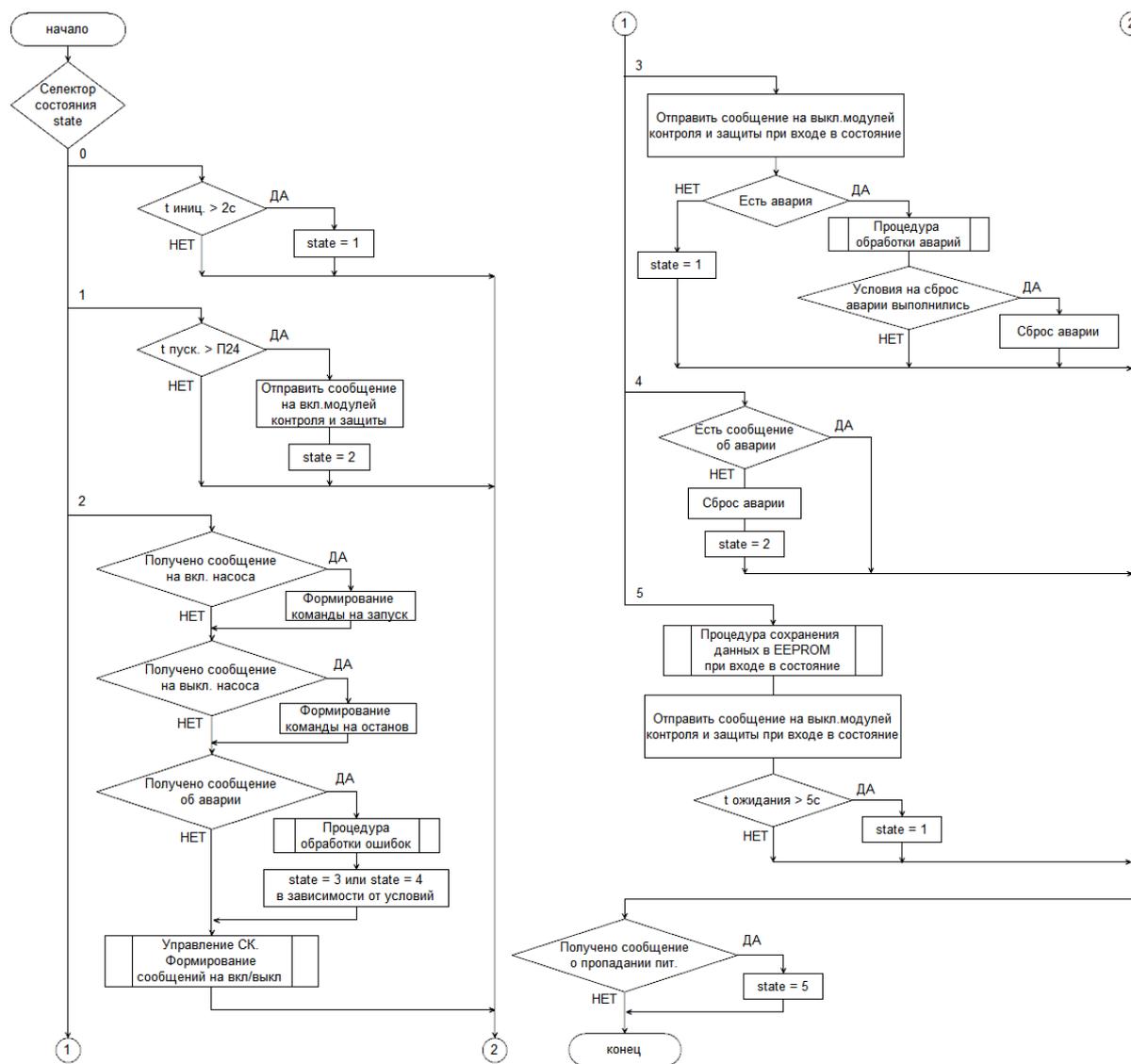


Рис.2 — Алгоритм работы основного модуля управления

В каждый момент времени модуль находится в определенном состоянии (0-5). В зависимости от условий происходит переход в другое состояние, определяемое различными воздействиями.

Селектор состояния является аналогом ключевого слова switch языка Си. Для выбора состояния автомата используется переменная state. Для перехода из одного состояния в другое данная переменная меняет свое значение.

При включении устройства модуль находится в состоянии 0 в течение двух секунд. Это нужно для того, чтобы датчики и периферия успели произвести инициализацию. После этого модуль переходит в состояние задержки первого пуска, ожидая истечения данного времени. Данная задержка необходима для того, чтобы при подаче питания исключить вероятность одновременного включения всех насосов на станции, что может привести к просадке напряжения в сети вследствие высокой нагрузки на объекте. По истечении времени первого пуска посылается команда на включение модулей управления и защиты и осуществляется переход в состояние 2.

В состоянии 2 модуль обрабатывает команды на запуск/останов насоса и аварии. В случае получения сообщения об аварийной ситуации происходит переход в состояния 3 или 4 в зависимости от кода ошибки и состояния симисторного ключа. В состоянии аварии (3) происходит отключение модулей защиты и управления и запускается таймер времени перезапуска после останова по сухому ходу в случае данной ошибки. После срабатывания таймера происходит сброс ошибки, и модуль возвращается в состояние 2 по истечению времени первого пуска. После сброса ошибки декрементируется счетчик перезапусков. Если количество попыток пуска станет равным нулю, то после очередной аварии не произойдет перезапуска, и устройство будет находиться в состоянии аварии до тех пор, пока не поступит команда сброса устройства. В состоянии блокировки (4) устройство находится до пропадания сигнала об аварии. Если неисправность устраняется, то происходит возврат модуля в состояние 2 и продолжается работа в штатном режиме.

В случае получения сообщения о пропадании питания происходит переход в состояние 5 и запускается процедура сохранения данные в энергонезависимую память. В данном состоянии модуль находится в течение

пяти секунд. Если за данный промежуток времени не произошло отключения устройства, то возврат в состояние 2 и продолжается работа модуля.

В результате проведенной работы была разработана система управления погружными насосами. При написании программного обеспечения была использована switch-технология и показана ее реализация на языке программирования Си. Данный подход дает большие возможности для применения в различных прикладных задачах. В рамках приведенной концепции предлагается понятие «автомат», что принципиально отличает его от других парадигм программирования и позволяет описывать состояния системы в любой момент времени, что соответствует его месту в теории управления [4].

#### **Библиографический список**

1. Зуев К.И. Автоматизация систем водоснабжения и водоотведения / К.И. Зуев. - Владимир: Изд-во ВлГУ, 2016. - 224с.
2. Шалыто А.А. Switch-технология. Алгоритмизация и программирование задач логического управления / А.А. Шалыто. - СПб: Наука, 1998 – 628 с.
3. Татарчевский В. Применение SWITCH-технологии при разработке прикладного программного обеспечения для микроконтроллеров / В. Татарчевский / Компоненты и технологии. - 2006. - №11. - с.90-93.
4. Шалыто А.А. Switch-технология - автоматный подход к созданию программного обеспечения "реактивных систем" / А.А. Шалыто, Н.И. Туккель / Программирование. - 2001. - №5, - с.45-62.
5. Дейтел Х. Как программировать на C++ / Х. Дейтел, П. Дейтел. - Бином-Пресс, 2008. – 1456 с.