

УДК 681.5

РАЗРАБОТКА АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ УСТАНОВКОЙ ПОВЫШЕНИЯ ДАВЛЕНИЯ В СИСТЕМЕ ГОРОДСКОГО ВОДОСНАБЖЕНИЯ

Репников А.И., Сердобинцев Ю.П., Кухтик М.П.

ФГБОУ ВО «Волгоградский государственный технический университет»,
Волгоград, e-mail: 1996repa@mail.ru

Тенденция сегодняшнего развития промышленности такова, что необходимо полностью автоматизировать как новые разрабатываемые системы, так и уже существующие. Помимо активной автоматизации предприятий и заводов также набирает тенденцию автоматизация систем водоснабжения: водопроводных насосных станций, установок повышения давления, канализационных насосных станций и пр. Программа управления установкой повышения давления должна отвечать требуемым условиям надежности, защищать систему от аварийных ситуаций и обеспечивать максимальную энергоэффективность. Основными требованиями, предъявляемыми к HMI-интерфейсу, являются простота, максимальная информативность и наглядность. В данной статье приводится описание этапов разработки HMI-интерфейса для сенсорной графической панели оператора, включающее в себя разработку мнемосхемы насосной станции, окон перехода, архивов аварийных событий и трендов. Показаны макросы, осуществляющие построение графиков с динамическими пределами и переключения между текущими и аварийными событиями. Приведены рекомендации по разработке мнемосхемы, исполнительных механизмов системы (насосных агрегатов, датчиков, клапанов, задвижек), цветовой гаммы, фона экранов. HMI-интерфейс сенсорной графической панели оператора разработан для панели фирмы Weintek в программной среде EasyBuilderPro. HMI-интерфейс и программа управления, приведенные в данной статье, внедрены в систему городского водоснабжения Ростова-на-Дону и активно используются в настоящее время.

Ключевые слова: водоснабжение, насосный агрегат, человеко-машинный интерфейс, мнемосхема, программа управления, программируемый логический контроллер

DEVELOPMENT OF AN AUTOMATED CONTROL SYSTEM FOR A PRESSURE INCREASING UNIT IN THE URBAN WATER SUPPLY SYSTEM

Repnikov A.I., Serdobintsev Yu.P., Kukhtik M.P.

Volgograd State Technical University, Volgograd, e-mail: 1996repa@mail.ru

The trend of today's industrial development is such that it is necessary to fully automate both new systems being developed and existing ones. In addition to the active automation of enterprises and plants, automation of water supply systems is also gaining momentum: water pumping stations, pressure boosting units, sewage pumping stations, etc. The control program of pressure increasing unit must meet the required reliability conditions, protect the system from emergencies and ensure maximum energy efficiency. The main requirements for the HMI interface are simplicity, maximum information content and clarity. This article describes the stages of developing an HMI interface for a touchscreen graphic operator panel, including the development of a mnemonic diagram of a pumping station, transition windows, archives of emergency events and trends. The macros are shown that perform graphing with dynamic limits and switching between current and emergency events. Recommendations for the development of a mnemonic diagram, actuating mechanisms of the system (pumping units, sensors, valves, gate valves), colors, background of screens are given. The HMI-interface of the touchscreen graphic operator panel is developed for the Weintek company panel in the Easy Builder Pro software environment. The HMI interface and the control program presented in this article have been introduced into the urban water supply system of Rostov-on-Don and are actively used at the present time.

Keywords: water supply, pumping unit, human-machine interface, mnemonic diagram, control program, programmable logic controller

Установка повышения давления необходима для поддержания требуемого давления в трубопроводе при подаче воды в жилые дома и помещения [1].

На сегодняшний день в подавляющее большинство систем водоснабжения внедряются автоматизированные системы управления технологическими процессами, основными управляющими элементами которых являются программируемые логические контроллеры (ПЛК) и сенсорные графические панели оператора (HMI-интерфейс). ПЛК необходим для непосред-

ственного приема, обработки и выдачи сигналов управления. HMI-интерфейс служит средством визуализации получаемых системой данных и в ряде случаев также используется для их хранения, обработки и генерирования управляющих воздействий [2].

Современный HMI-интерфейс должен быть максимально прост, информативен, способен отслеживать, хранить и обрабатывать получаемые данные, представлять информацию пользователю в наиболее удобном для него виде [3, 4].

Целью работы является повышение энергоэффективности установки повышения давления в системе городского водоснабжения и обеспечение поддержания заданного давления в трубопроводе путем разработки HMI-интерфейса автоматизированной системы управления и программы управления установкой.

Материалы и методы исследования

HMI-интерфейс сенсорной графической панели оператора разработан для панели фирмы Weintek в программной среде EasyBuilderPro, бесплатной и доступной для скачивания любому пользователю с сайта производителя.

Программа управления установкой повышения давления разработана в среде PCWorx компании Phoenix Contact и реализована на базе ПЛК Inline 131.

Результаты исследования и их обсуждение

Рассмотрим порядок построения HMI-интерфейса более подробно. Сначала создается основное окно, с которым оператор будет работать больше всего времени. В данном случае это окно с мнемосхемой насосной станции (рис. 1).

На мнемосхеме показаны насосные агрегаты Н1-Н5. Зеленый треугольник обозначает, что насос запущен и находится в состоянии работы. В целях обеспечения полной информативности на мнемосхему вынесены значения датчиков давления на входе и выходе насосной станции, показатели, получаемые с частотных преобразователей (ПЧ), управляющих насосными агрегатами: частота, мощность и ток, а также индикация сообщений о состоянии

системы (перегрев насоса, авария ПЧ, обрыв датчика давления и т.д.). Элементами управления являются кнопки запуска и останова автоматического режима, расположенные в нижней части мнемосхемы, кнопки добавления и удаления насосов из каскада, а также поля ввода уставки давления, которое необходимо поддерживать в трубопроводе, и задания частоты работы насосных агрегатов в ручном режиме. Ручной режим используется преимущественно при пуско-наладочных работах. Кроме того, на данном окне расположены кнопки перехода в окна событий, учетных записей, графиков, настроек.

Окно событий, показанное на рис. 2, отображает события, которые произошли в системе, в режиме реального времени. Глубина хранения архивов составляет 30 дней, однако этот параметр является настраиваемым, в зависимости от объема памяти панели оператора и наличия Flash-карты [5]. В данном окне отображены окна перехода на текущие и архивные события, выпадающий список для выбора требуемой даты.

Экран графиков, изображенный на рис. 3, предназначен для отображения изменения в течение времени выбранного параметра: давления на входе и выводе водопроводной насосной станции, температуры в помещении, частоты, тока, мощности двигателя, получаемых с частотного преобразователя.

На данном экране также присутствуют поля пределов оси ординат и полоса прокрутки значения изменяющегося параметра в течение времени. В верхней части экрана знаками «плюс» и «минус» обозначены кнопки масштабирования графика, его увеличения или уменьшения.

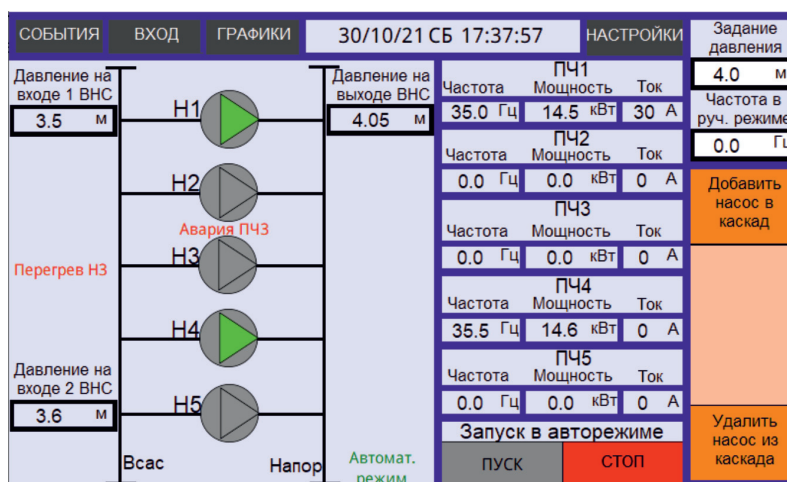


Рис. 1. Мнемосхема насосной станции

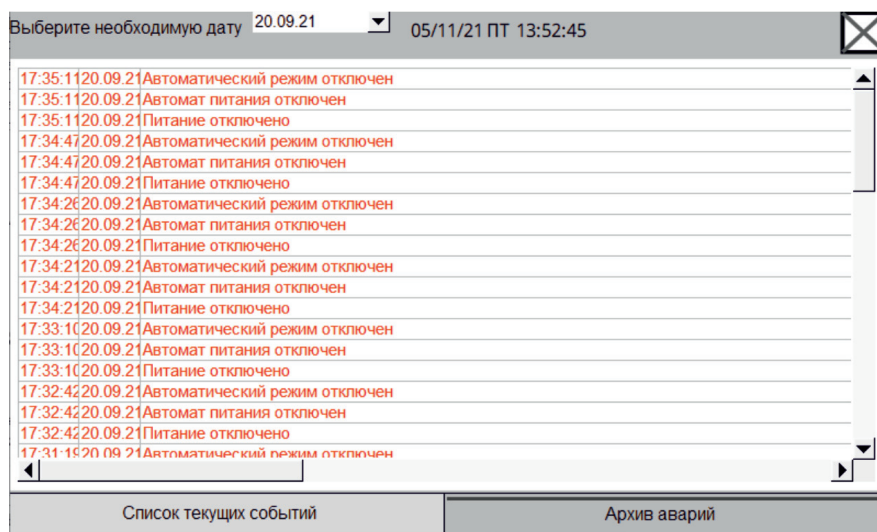


Рис. 2. Экран событий насосной станции

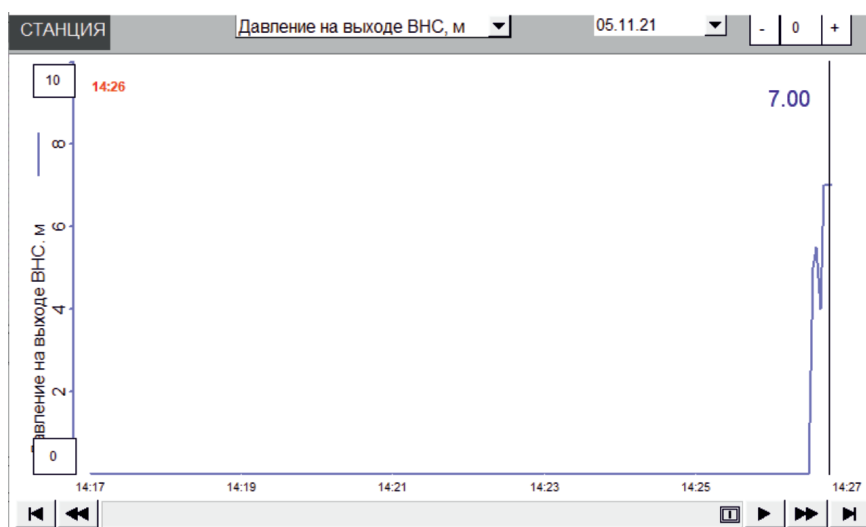


Рис. 3. Экран графиков

Экран настроек (рис. 4) необходим для корректной работы системы водоснабжения.

Как видно из рис. 4, экран настроек разбит на две части. В первой части экрана расположены уставки для ПИД-регулятора, предельные значения датчиков давления, взятые из паспорта, и настройки каскада, куда входят время каскадирования и декадирования насосного агрегата, задержка подключения резервного насоса и уставка давления, при достижении которой он включится в работу. Вторая часть экрана представляет собой уставки технологических защит, куда входит защита от сухого хода насосных агрегатов, задержка для срабатывания аварий (необходима для защиты от ложного срабатывания). Коэффициент

мощности двигателя и номинальная мощность системы необходимы для своевременного вывода из работы лишнего насосного агрегата, если поддерживать заданное давление способно меньшее число насосных агрегатов. Эта защита выполнена в целях обеспечения максимальной энергоэффективности. Управление технологическими защитами служит для включения и отключения реакций системы на определенные аварии. Эта функция необходима в том случае, если датчик защиты системы вышел из строя, отсутствует или технологический процесс работы системы обладает некоторыми нюансами, при которых использование определенной защиты насосных агрегатов нецелесообразно.

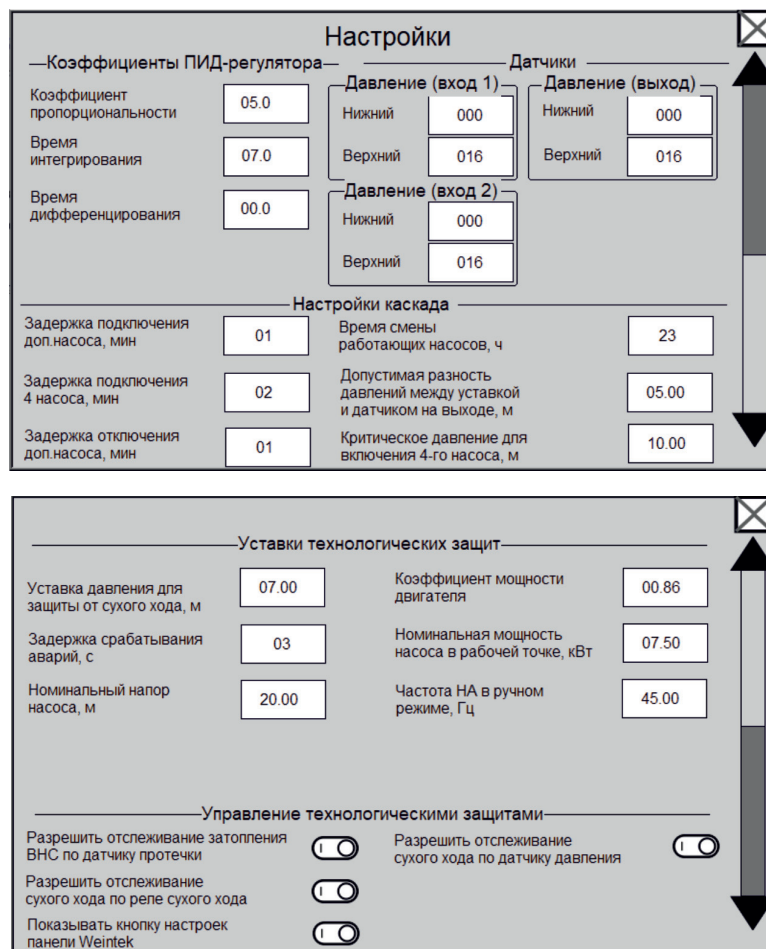


Рис. 4. Экран настроек

Рассмотрим алгоритм работы установки повышения давления в системе водоснабжения более подробно. Основным управляющим элементом является ПЛК, расположенный в шкафу управления. В него загружена программа управления, осуществляющая прием, преобразование, обработку сигналов и выдачу управляющих воздействий.

Перед запуском системы в окне настроек вносятся все параметры и коэффициенты, а в окне с мнемосхемой насосной станции вносится уставка давления. Затем нажимается кнопка «Пуск».

При нажатии кнопки «Пуск» на панели оператора происходит запуск одного насосного агрегата. Для запуска ПЛК выбирает тот насосный агрегат, время простоя которого минимально. Это время начинает рассчитываться с момента останова насосного агрегата и обнуляется при его запуске.

Если один насосный агрегат справляется с поддержанием заданной уставки давления, то он продолжает работу без подключения дополнительных насосов. Однако если мощ-

ность работы электродвигателя насоса приближается к значению номинальной мощности, заявленной в паспорте, то ПЛК начинает отсчет заданного времени для подключения второго насосного агрегата. По окончании отсчета включается (каскадируется) в работу второй насосный агрегат, имеющий максимальное время простоя.

Аналогичным образом, если два насосных агрегата, находящихся в работе, не справляются с поддержанием заданной уставки давления, в работу подключается третий насосный агрегат, находящийся не в состоянии работы наибольшее время.

Если частота работы насосных агрегатов начинает понижаться, понижается и текущая мощность электродвигателя. При понижении частоты работы насосного агрегата ниже 30 Гц система начинает отсчет временной задержки для отключения одного из насосов. Выводится из работы (декаскадируется) тот насосный агрегат из числа находящихся в работе, чья работа максимальна.

Аналогичным образом, если один насосный агрегат справляется с поддержанием уставки давления на фиксированной частоте, то из работы выводится второй насосный агрегат, имеющий максимальную наработку.

Также системой предусмотрена смена работы насосных агрегатов по часам. Часы, встроенные в ПЛК, синхронизированы с часами реального времени. При достижении определенного часа, который задан в окне настроек, насосный агрегат, имеющий наибольшее время работы, отключится. Если в состоянии работы на момент достижения часовой уставки в работе находился один насосный агрегат, то он отключится и в работу подключится насос, имеющий максимальное время простоя. Данная функция используется системой для равномерного расходования ресурса насосных агрегатов.

При необходимости имеется возможность принудительного добавления и удаления насоса из каскада с помощью соответствующих кнопок, расположенных на окне с мнемосхемой насосной станции.

Основной алгоритм программы написан на структурированном языке ST [6], а формирование сигнала запуска и смены насосов по часовой уставке – на языке функциональных блочных диаграмм FBD [7]. Использование языка FBD в разработанной автоматизированной системе удобно тем, что код программы легко переносится из одной программной среды в другую, в зависимости от выбранной модели и производителя ПЛК. Ниже приведен фрагмент программы управления, выполненный на языке ST, который отвечает за каскадирование и декаскадирование насосных агрегатов:

```

F_ADD (CLK:= HMI.ADD_Pump );
F_DEL(CLK:= HMI.DELETE_Pump);
IF (TON_ADD.Q OR TON_ADD_FOUR.Q OR F_ADD.Q ) AND (counter < 4) THEN
    counter := counter + 1;
ELSIF ((counter < 5) AND TON_DELETE.Q) OR (counter > 1 AND Sys.Switch_Pumps)
OR (F_DEL.Q AND (counter <> 1)) AND (counter > 1) THEN
    counter := counter - 1;
ELSIF NOT Sys.Run OR Sys.ALAR_Station OR FLT.ALAR_IN_Press THEN
    counter := 1;
END_IF;
pump_found:=FALSE;
IF Sys.Run AND (counter > (in_wrk)) THEN
    FOR i:=1 TO n DO
        IF max_time = Pump[i].Downtime AND NOT pump_found THEN
            Pump[i].CMD_Run := TRUE;
            pump_found:=TRUE;
        END_IF;
    END_FOR;
END_IF;
pump_found:=FALSE;
IF Sys.Run AND ((counter < in_wrk) OR (counter = 1 AND Sys.Switch_Pumps)) THEN
    FOR i:=1 TO n DO
        IF Pump[i].IN_Running AND (Pump[i].Block OR Pump[i].ALAR_Pump OR NOT Sys.Run OR
(wrk_mins = Pump[i].Worktime))
        AND NOT pump_found THEN
            Pump[i].CMD_Run := FALSE;
            pump_found:=TRUE;
        END_IF;
    END_FOR;
END_IF;
FOR i:=1 TO n DO
    IF NOT Sys.Run OR Sys.ALAR_Station OR Pump[i].ALAR_Pump OR Pump[i].Block THEN
        Pump[i].CMD_Run := FALSE;
        Pump[i].OUT_Frequency := 0.0;
    END_IF;
END_FOR;
Sys.Pumps_count := 0;
IF Sys.Run THEN
    Sys.Pumps_count := in_wrk;
END_IF;
FOR i:=1 TO n DO
    IF NOT Pump[i].ALAR_Pump AND NOT Pump[i].Block AND NOT Sys.Run THEN
        Pump[i].CMD_Run := Pump[i].HMI_Run;
    END_IF;
END_FOR;

```

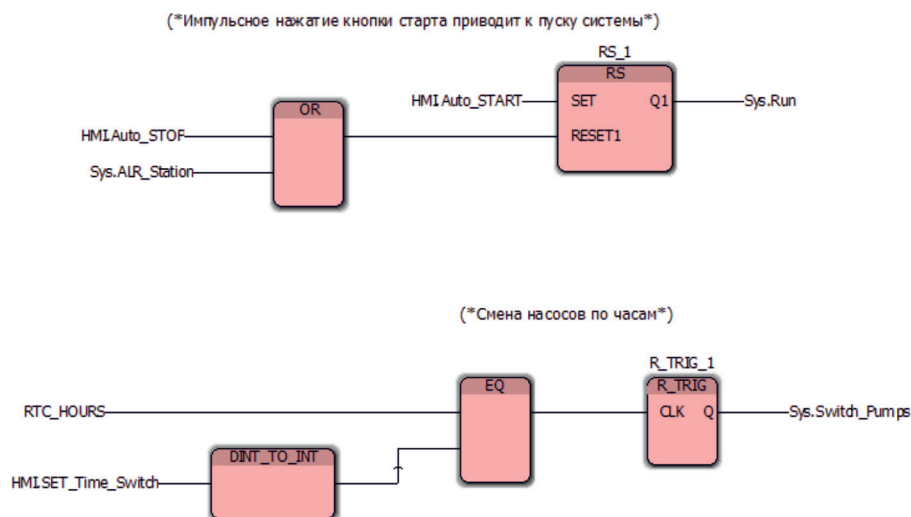



Рис. 5. Фрагмент программы управления

На рис. 5 представлен фрагмент программы управления, выполненный на языке FBD.

Заключение

Разработанные HMI-интерфейс и программа управления внедрены в систему городского водоснабжения Ростова-на-Дону и позволяют обеспечить поддержание требуемого давления в трубопроводе и наиболее оптимальный расход электроэнергии за счет декаскадирования насосных агрегатов.

Список литературы

1. Репников А.И., Сердобинцев Ю.П., Кухтик М.П. Разработка нейронной сети для определения кавитационного запаса насосных агрегатов // Известия ВолгГТУ. Сер. Прогрессивные технологии в машиностроении. 2021. № 3 (250). С. 69–71.

2. Современный человеко-машинный интерфейс на производстве: актуальные тенденции [Электронный ресурс]. URL: https://up-pro.ru/library/information_systems/automation_production/hmi-schneider/ (дата обращения: 03.11.2021).

3. Ситуационное восприятие. Новый подход к дизайну человеко-машинных интерфейсов [Электронный ресурс]. URL: <https://isup.ru/articles/2/5410/> (дата обращения: 03.11.2021).

4. HMI как интеллектуальные периферийные устройства [Электронный ресурс]. URL: <https://controleng.ru/cheloveko-mashinny-j-interfejs-hmi/intellektualnye-ustrojstva/> (дата обращения: 03.11.2021).

5. Weintek. EasyBuilderPro [Electronic resource]. URL: https://www.plcsystems.ru/catalog/weintek/doc/EBPro_Manual_All_In_One.pdf (date of access: 03.11.2021).

6. ПЛК. Основы программирования (язык структурированного текста) [Электронный ресурс]. URL: https://www.mitsubishielectric.com/fa/assist/e-learning/pdf/rus/1-Program_Basics_ST_na_rus.pdf (дата обращения: 05.11.2021).

7. Общие сведения о языке FBD [Электронный ресурс]. URL: https://sm1820.github.io/beremiz/iec_guide/fbd_guide.html (дата обращения: 06.11.2021).