

Исследование и модернизация автоматизированной системы налива нефтепродуктов

М.Ш. Минцаев, А.А.-В. Садулаев, М.Р. Исаева

Грозненский государственный нефтяной технический университет имени академика М.Д. Миллионщикова

Аннотация: В статье рассмотрены вопросы модернизации автоматизированной системы налива нефтепродуктов (АСН). Сложность обслуживания автоматизированной системы управления по причине отсутствия актуальной документации и обновленного программного обеспечения, а также периодические отказы и высокая стоимость запасных частей стали основными причинами модернизации АСН. Разработаны системы автоматического регулирования на основе ПИД-закона: с использованием запорно-регулирующего клапана с позиционным приводом и частотного преобразователя для управления АСН. В программе MATLAB разработаны математические модели, предлагаемых систем. В лабораторных условиях собрана экспериментальная модель насосной станции, проведено имитационное моделирование работы автоматизированной системы управления сливо-наливной станцией. По результатам экспериментальных исследований по прямым характеристикам оценки качества переходного процесса наилучшие результаты демонстрирует график схемы с частотным преобразователем.

Ключевые слова: автоматизированная насосная система, нефтепродукты, математические модели, ПИД-контроллер.

Автоматизированная система налива (АСН) представляет собой систему, предназначенную для осуществления отпуска определенного количества нефти, нефтепродуктов и других жидкостей из различных резервуаров хранения в автомобильные или железнодорожные цистерны. АСН, функционирующая в ТЭС, предназначена для заполнения баков и хранения дизельного топлива, как резервного топлива для турбины. АСН [1] была запущена в 2019 году и построена на аппаратно-программных средствах комплекса измерительного АСН, от компании ГЛАВНЕФТЕСНАБ. Предпосылками для модернизации существующей автоматизированной системы управления следующие:

- Изменение технологического процесса – требует перепрограммирования ПЛК и коррекции визуализации процесса под новые задачи;
- Выход оборудования из строя – требует замены оборудования;

- Устаревание компонентов или отсутствие возможности их приобретения – требует подбора аналогов и их интеграцию в существующую систему.

АСН является насосной станцией, осуществляющей перекачку жидкости из одного резервуара в другой. В зависимости от конструктивного исполнения, налив и слив может быть верхним или нижним. На рисунке 1 общая технологическая схема АСН с верхним наливом:

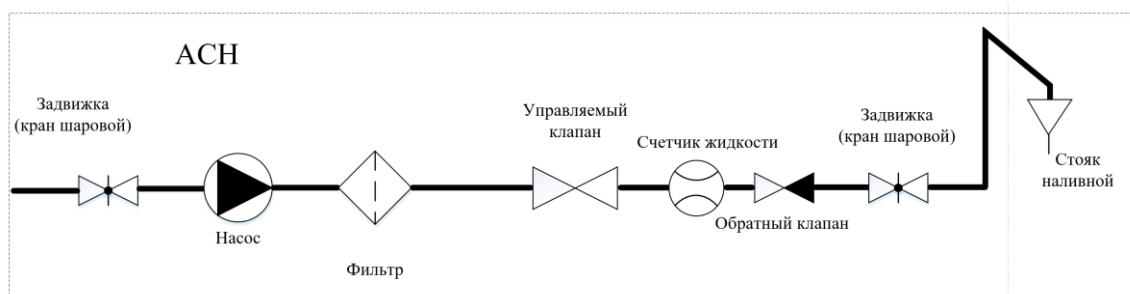


Рис. 1. – Общая технологическая схема АСН

В качестве основных компонентов данной системы выступают: насос, фильтр, счетчик жидкости, обратный клапан, кран шаровой, управляемый клапан и наливной стояк.

В качестве управляемого клапана зачастую используется электромагнитный двухходовой клапан, он выступает в качестве запорно-регулирующего устройства с дистанционным управлением в системах налива жидких сред. На рисунке 2 представлена схема АСН с электромагнитным двухходовым клапаном.

Преимущество использования рассматриваемого клапана заключается в том, что данный клапан имеет большой и малый затвор, через которые может протекать жидкость. Т.е. можно использовать следующий алгоритм работы:

- в начале открывается большой затвор выдачи заданной дозы, а затем большой затвор закрывается и открывается малый затвор;

- в начале и конце выдачи дозы открывается малый затвор, а основной расход жидкости протекает через большой затвор.

Данные алгоритмы предназначены для более плавного и точного дозирования жидкости.

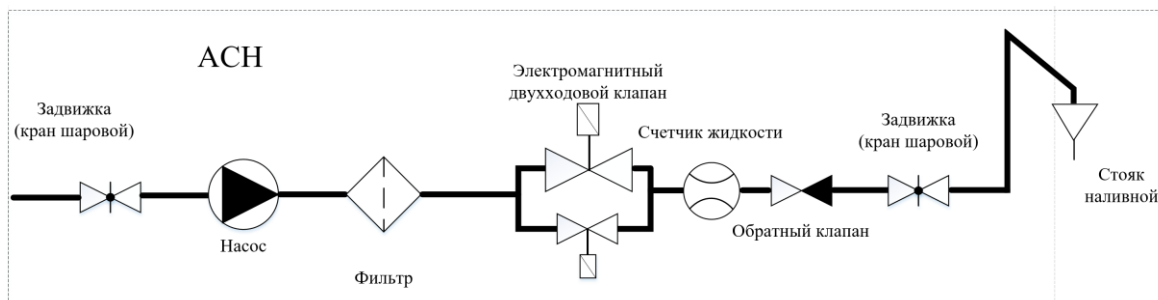


Рис. 2. – Технологическая схема АСН с электромагнитным двухходовым клапаном

В данной статье рассматривается модернизация АСН, заключающаяся в замене электромагнитного двухходового клапана клапаном запорно-регулирующим с позиционным приводом, а также возможность использования в системе частотного преобразователя для управления режимом работы насоса.

На рисунке 3 представлена общая функциональная схема системы автоматического управления [2]. В рассматриваемой АСН в роли регулятора (РЕГ) выступает контроллер с заданным алгоритмом работы. В качестве объекта управления (ОУ) выступает насос и двухходовой клапан, а измерительное устройство (ИУ) будет представлено счетчиком жидкости. Оставшиеся компоненты не входят в состав АСУ, т.к., например, шаровой кран открывается и закрывается операторами в ручном режиме, однако, в зависимости от масштаба АСН, используются электромагнитные клапана или электроприводы для возможности дистанционного управления, поэтому в данной рассматриваемой АСН они не учитываются.

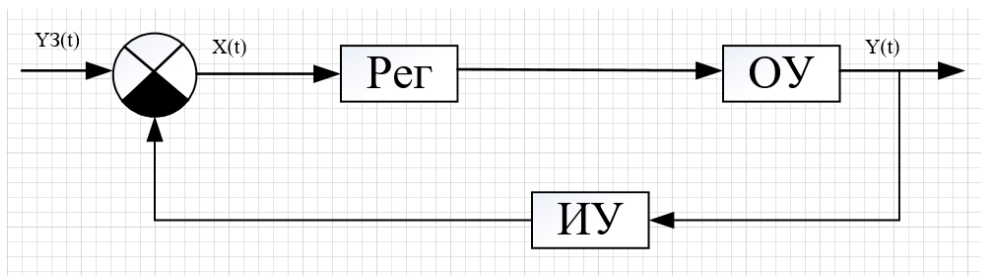


Рис. 3. – Функциональная схема системы автоматического управления

На основании функциональной схемы системы автоматического управления АСН с электромагнитным двухходовым клапаном построена математическая модель в программе MATLAB с помощью библиотеки Simulink (рис. 4).

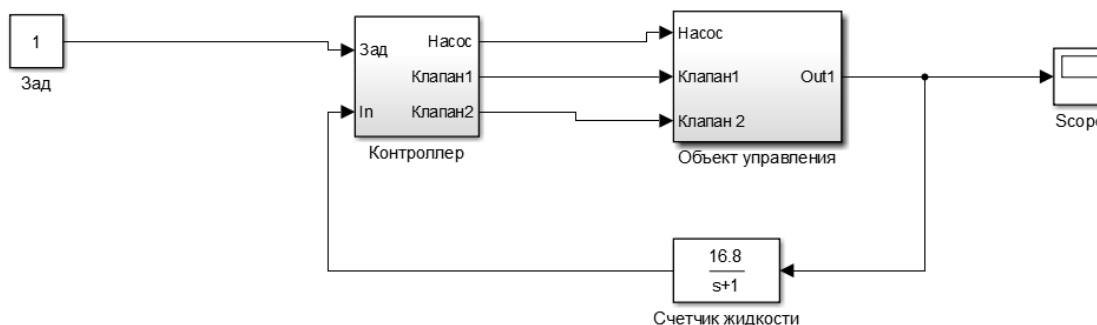


Рис. 4. – Математическая модель АСН с электромагнитным двухходовым клапаном

Программируемый логический контроллер (ПЛК) управляет режимами работы насоса и электромагнитного двухходового клапана через дискретные выходы, а информация об отпущенной жидкости поступает от счетчика жидкости. Далее рассмотрим технологическую схему АСН с запорно-регулирующим клапаном с позиционным приводом (регулирующий клапан), представленную на рисунке 5.

Регулирование клапана [3] производится изменением управляющего сигнал 4-20мА или 0-10В, следовательно, к ПЛК они подключаются через аналоговый выход (АО). Для точного регулирования режимом работы клапана можно использовать пропорционально-дифференциально-

интегральное регулирование (ПИД-регулирование). На рисунке 6 изображена блок-схема ПИД-регулятора [4].

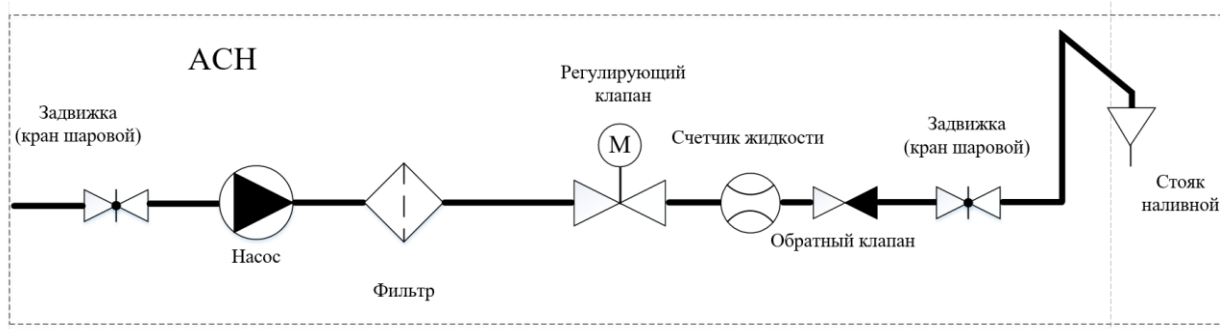


Рис. 5. – Технологическая схема АСН с регулирующим клапаном

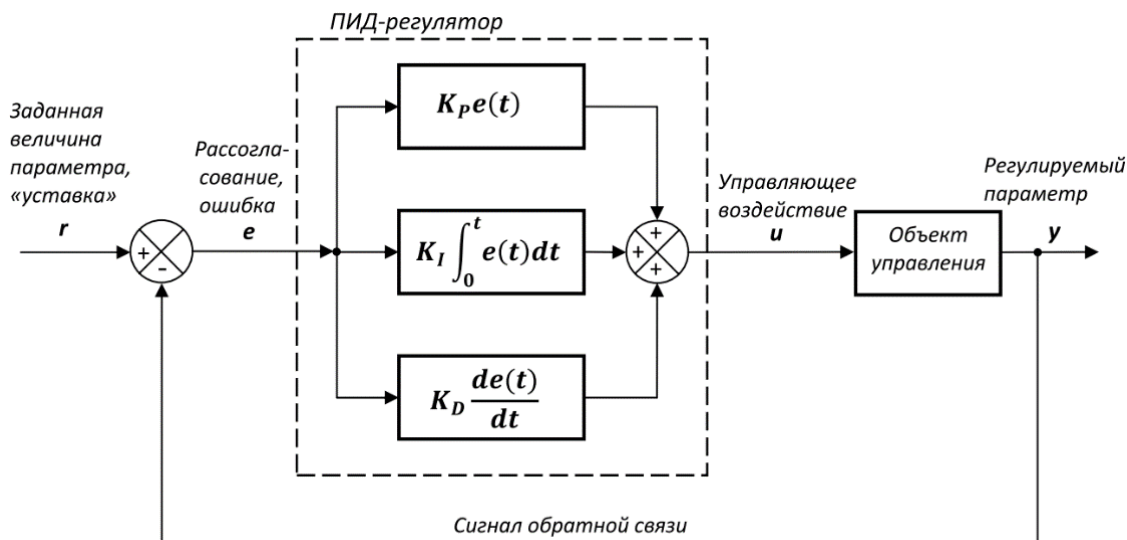


Рис. 6. – Блок-схема ПИД-регулятора

В качестве управляющего устройства используется контроллер или ПЛК, а во многих средах программирования есть библиотека с регуляторами, у которых присутствует режим автонастройки, и подобрать соответствующие коэффициенты не составит особой проблемы [5].

На рисунке 7 представлена математическая модель АСН с регулирующим клапаном.

Для разработанной АСН была проведена оценка устойчивости системы по критерию устойчивости Ляпунова.

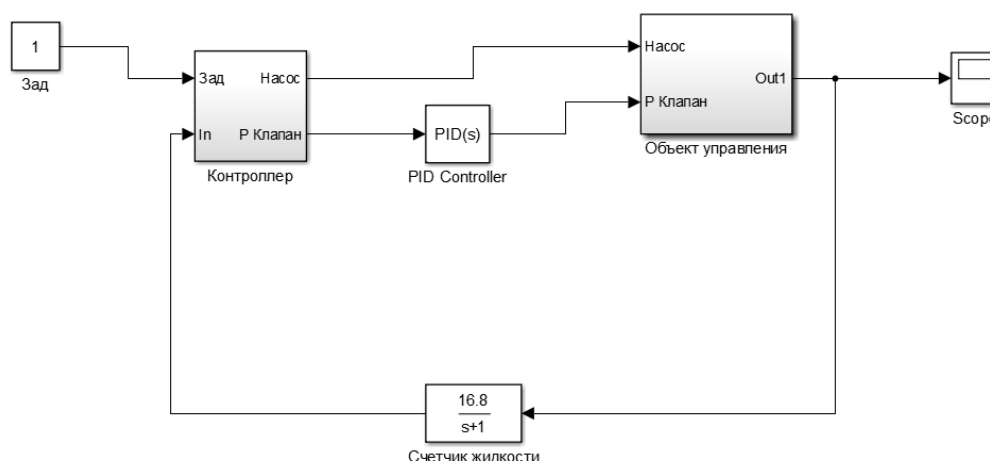


Рис. 7. – Математическая модель АСН с регулирующим клапаном

Для этого в командной строке программы MATLAB были заданы передаточные функции ПИД-регулятора W_{pid} , контроллера W_k , объекта управления W_u и счетчика жидкости W_g [6].

С учетом передаточных функций каждого компонента получаем следующую общую передаточную функцию системы:

$$W_{общ} = \frac{0.008s + 0.91}{0.02s^2 + 0.065s + 0.9}, \quad (1)$$

Следовательно, характеристическое уравнение системы имеет следующий вид:

$$K_p = 0.02s^2 + 0.065s + 0.9, \quad (2)$$

Корни данного уравнения также были найдены в программе MATLAB с помощью операнда `roots`:

$$r = \text{roots}(K_p)$$
$$r = \left\{ \begin{array}{l} -1.6250 + 6.5084i \\ -1.6250 - 6.5084i \end{array} \right\}, \quad (3)$$

Т.к. вещественная часть корней характеристического уравнения отрицательна, можно убедиться в том, что система является устойчивой.

Далее рассматривается возможность внедрения частотного преобразователя для управления режимом работы насоса [7]. На рисунке 8 представлена технологическая схема АСН с частотным преобразователем [8].

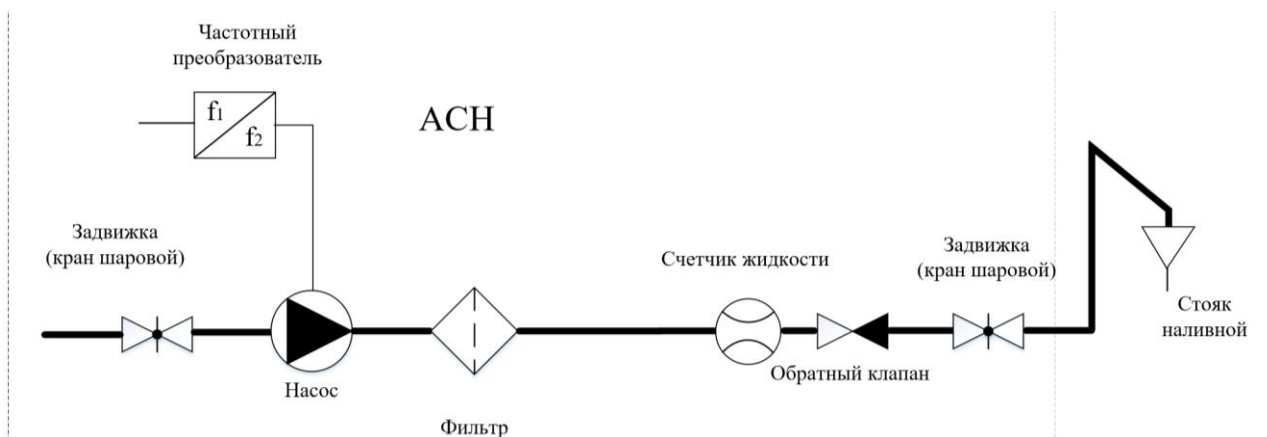


Рис. 8. – Технологическая схема АСН с частотным преобразователем

Так же, как и для предыдущей схемы, разрабатываем математическую модель (рис. 9).

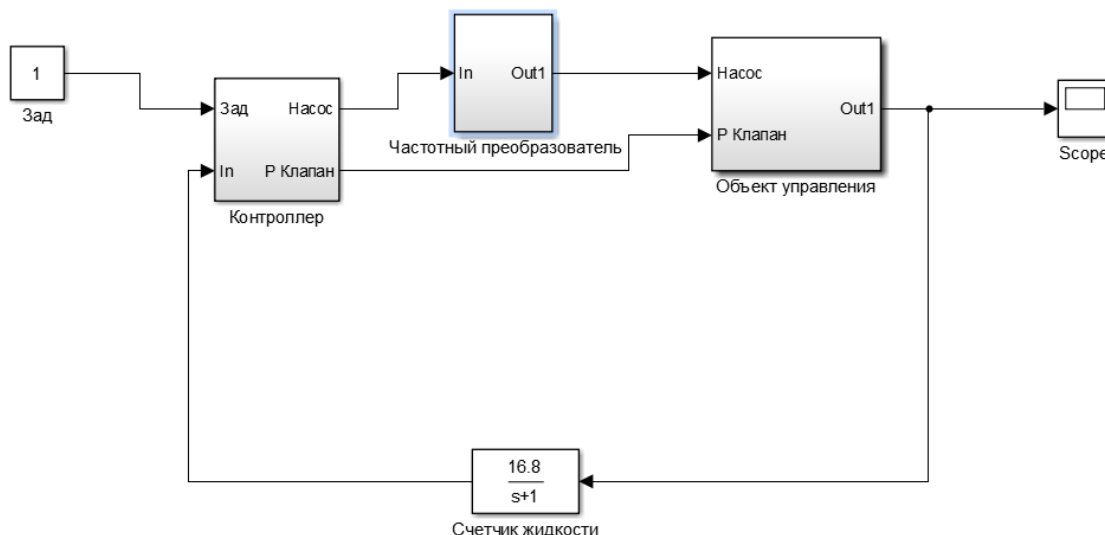


Рис. 9. - Математическая модель АСН с регулирующим клапаном

С помощью операндов «series» и «feedback» получаем общую передаточную функцию системы:

$$W_{общ} = \frac{0.007s + 0.91}{0.01s^2 + 0.055s + 0.88} , \quad (4)$$

Следовательно, характеристическое уравнение системы имеет следующий вид:

$$K_p = 0.01s^2 + 0.055s + 0.88 , \quad (5)$$

$$r = \text{roots}(Kp)$$
$$r = \begin{cases} -2.7500 + 68.9687i \\ -2.7500 - 68.9687i \end{cases}, \quad (6)$$

Т.к. вещественная часть корней данного характеристического уравнения отрицательна, можно убедиться в том, что система является устойчивой [9].

Рассмотрим графики переходных процессов, построенные для трех представленных схем АСН (рис. 10). 1 – схема с электромагнитным двухходовым клапаном, 2 – схема с запорно-регулирующим клапаном с позиционным управлением, 3 - с частотным преобразователем. На основании представленных графиков можно сделать вывод о том, что при не больших отличиях в графиках систем управления по прямым характеристикам оценки качества переходного процесса наилучшие результаты демонстрирует график схемы с частотным преобразователем. Схема с использованием запорно-регулирующего клапана с позиционным управлением имеет упрощенную логику, т.к. блок ПИД-регулятора во многих средах программирования уже заложен в базовой библиотеке. Еще более упрощается алгоритм управления при использовании схемы с частотным преобразователем, имеющим встроенный блок ПИД-регулятора и обладающим возможностью подключения к нему датчика, т.е. при малых масштабах производственного процесса

На кафедре «Автоматизация технологических процессов и производств» был разработан стенд, предназначенный для проведения учебно-исследовательских работ по изучению характеристик автоматизированного управления насосными системами, принципов работы и экспериментальному определению характеристик насосов динамического принципа действия (рис. 11), а также изучения возможностей использования частотного преобразователя для управления работой насосных агрегатов.

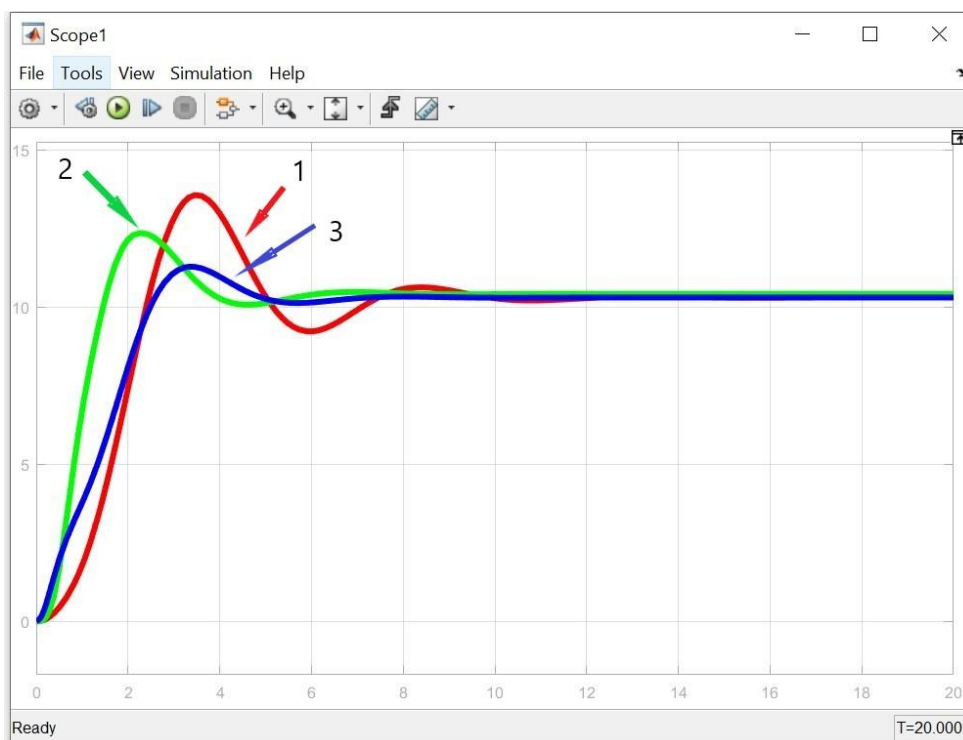


Рис. 10. – Графики переходных процессов АСН

Были проведены экспериментальные исследования имитационного моделирования работы автоматизированной системы управления сливно-наливной станции [10]. В разработанных математических моделях использовались коэффициенты компонентов, представленных на стенде, которые могут изменяться в зависимости от реального объекта. В качестве управляющего устройства выбран ПР100 от компании ОВЕН. Управляющая программа для данного процесса выполнена в среде программирования Owen Logic на языке FBD. На рис. 12 представлена часть разработанной программы управления на языке FBD, в частности контур управления работой насоса.

Проведенные экспериментальные исследования показывают, что при не больших отличиях в графиках систем управления по прямым характеристикам оценки качества переходного процесса наилучшие результаты демонстрирует график схемы с частотным преобразователем и подтверждают эффективность выбранной схемы регулирования.

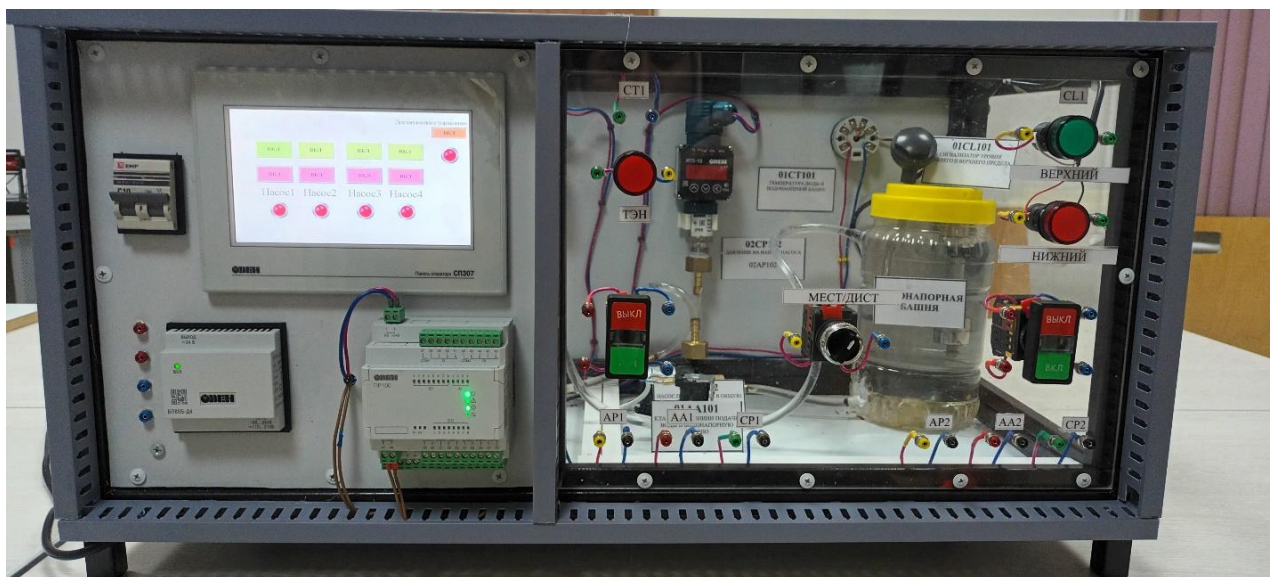


Рис. 11. – Учебно-лабораторный стенд

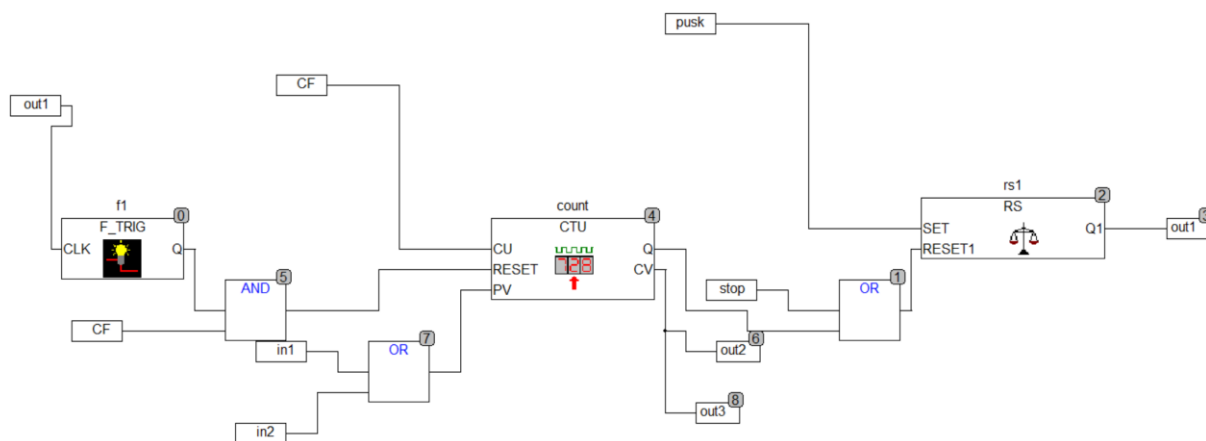


Рис. 12. – Программа управления работой насоса на языке FBD

Таким образом модернизация АСУ дает возможность проектирования автоматизированной системы управления с использованием частотного преобразователя на ПИД-регулировании для повышения точности регулирования, а также для упрощения программы управления. т.е. программа управления клапаном может быть представлена в виде одного блока. Еще одним очевидным достоинством является высокая адаптация предлагаемого технического решения к различным конфигурациям систем автоматизации независимо от производителя.

Литература

1. Сафаров И.М., Давлетхузина Э.М., Ишмухаметова Д.М., Баширова Л.И., Садыков Р.Д., Хлебников Д.А. Состояние уровня автоматизации энергетических объектов и решения, направленные на его повышение // Инженерный вестник Дона, 2021, №1. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1y2021/7382.

2. Лукас В.А. Теория управления техническими системами. Компактный учеб. курс для вузов – 3-е издание, перераб. и дополн. – Екатеринбург: Изд-во УГГГА, 2002. – 675 с.

3. Козярук А.Е., Рудаков В.В. Современное и перспективное алгоритмическое обеспечение частотно-регулируемых электроприводов / под. ред. А.Г. Народницкого. – СПб.: Санкт-Петербургская Электротехническая компания, 2004. – 127 с.

4. Топчеев Ю.И. Атлас для проектирования систем автоматического регулирования. Учеб. пособие для вузов. – М.: Машиностроение, 1989. – 752 с.

5. Revunov M.S., Semenov A.D., Nikulin S.V. Fuzzy extremal regulatory system with multidimensional input // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering 709 (2020) 022085 (ICMTMTE 2019). – IOP Publishing doi:10.1088/1757-899X/709/2/022085, 2020.

6. Бесекерский В.А., Попов Е.П. Теория систем автоматического регулирования. Издание третье, исправленное. – М.: Наука, 1975. – 347с.

7. Минцаев М.Ш., Хакимов З.Л., Лабазанов М.А. Автоматизированная система управления Ханкальской геотермальной станцией с циркуляционной схемой отбора глубинного тепла земли // «Известия высших учебных заведений. Северо-Кавказский регион. Технические науки». 2022. №1. С. 31-36.

8. Веселова Н.М., Иванов А.С., Иванова О.А., Кузнецова Т.А., Николаева С.И. Влияние частотных преобразователей насосных и вентиляционных установок на работу сети внутреннего электроснабжения предприятия // Инженерный вестник Дона, 2022, №3. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2022/7535.

9. Бабаков Н.А., Воронов А.А., Воронова А.А. Теория автоматического управления: Учеб. для ТЗЗ вузов по спец. «Автоматика и телемеханика». В 2-х ч. Ч. I. Теория линейных систем автоматического управления. – М.: Высшая школа, 1986. – 367 с.

10. Лысова Н.В., Мясникова Н.В. Регулирование веса бумажного полотна на основе метода экстремальной фильтрации для систем реального времени с помощью покадровой обработки сигнала // Инженерный вестник Дона, 2019, №5. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n5y2019/5882.

References

1. Safarov I.M., Davletxuzina E`M., Ishmuxametova D.M., Bashirova L.I., Sady`kov R.D., Xlebnikov D.A. Inzhenernyj vestnik Dona. 2021, №1. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1y2021/7382.

2. Lukas V.A. Teorija upravljenija tehničeskimi sistemami [Theory of control of technical systems]. Ekaterinburg: Izd-vo UGGGA, 2002. 675 p.

3. Kozyaruk A.E., Rudakov V.V. Sovremennoe i perspektivnoe algoritmičeskoe obespečenie častotno-reguliruemy`x e`lektroprivodov [Modern and promising algorithmic support for frequency-controlled electric drives]. SPb.: Sankt-Peterburgskaja Jelektrotehničeskaja kompanija, 2004. P. 127.

4. Topcheev Yu.I. Atlas dlya proektirovaniya sistem avtomatičeskogo regulirovaniya [Atlas for the design of automatic control systems]. M.: Mashinostroenie, 1989. 752 p.



5. Revunov M.S., Semenov A.D., Nikulin S.V. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering 709 (2020) 022085 (ICMTMTE 2019). IOP Publishing doi:10.1088/1757-899X/709/2/022085, 2020.

6. Besekerskiy V.A. Teoriya sistem avtomaticheskogo regulirovaniya [Theory of automatic control systems]. Nauka, 1975. 347p.

7. Minczaev M.Sh., Hakimov Z.L., Labazanov M.A. Izvestiya vy`sshix uchebny`x zavedenij. Severo-Kavkazskij region. Texnicheskie nauki. 2022. №1. pp. 31-36.

8. Veselova N.M., Ivanov A.S., Ivanova O.A., Kuzneczova T.A., Nikolaeva S.I. Inzhenernyj vestnik Dona. 2022, №3. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2022/7535.

9. Babakov N.A. Teoriya avtomaticheskogo upravleniya [The theory of automatic control]. Moskva: Vyshaya shkola, 1986. 367 p.

10. Lysova N.V., Mjasnikova N.V. Inzhenernyj vestnik Dona, 2019, №5. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n5y2019/5882.

Дата поступления: 16.07.2024

Дата публикации: 26.08.2024