



eISSN 2311-2468
Том 6, № 13. 2018
Vol. 6, no. 13. 2018

электронное периодическое издание
для студентов и аспирантов

Огарёв-онлайн Ogarev-online

<https://journal.mrsu.ru>



КЛЕМЕНТЬЕВ В. Ю., КОРОТКОВ М. В., БАЛЬЗАМОВ А. Ю.
АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА ТЕХНИЧЕСКОЙ ДИАГНОСТИКИ
ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ЦЕПЕЙ
ОПЕРАТИВНОГО ПОСТОЯННОГО ТОКА

Аннотация. В статье рассматриваются особенности проектирования средств мониторинга и контроля систем резервного электропитания. Реализованный комплекс технической диагностики позволяет проводить измерение и регистрацию электрических параметров системы оперативного постоянного тока в режиме реального времени. Задавать установки возможно, как с панели оператора, так и удаленно с персонального компьютера.

Ключевые слова: автоматика, релейная защита, система оперативного тока, микроконтроллерная система управления, автоматизированная система диагностики.

KLEMENTYEV V. YU., KOROTKOV M. V., BALZAMOV A. YU.
AUTOMATED SYSTEM FOR TECHNICAL DIAGNOSTICS
OF ELECTRICAL PARAMETERS OF OPERATIVE DC CIRCUITS

Abstract. The article considers the design features of automated systems for monitoring and testing backup power supply. The implemented complex of technical diagnostics makes it possible to measure and record the electrical parameters of the operative DC system in real time. Configuration is set up from the operator panel or personal computer.

Keywords: automatics, relay protection, operative DC system, microcontroller-based control system, automated system of diagnostics.

Под системой оперативного постоянного тока (СОПТ) на электростанциях и подстанциях чаще всего подразумевается комплект электронного оборудования для обеспечения резервного электропитания аппаратов релейной защиты и автоматики, систем предупредительной сигнализации и аварийного освещения. Типовой состав СОПТ предполагает наличие зарядно-подзарядных преобразователей аккумуляторных батарей, щита постоянного тока, а также электрических шкафов ввода/распределения и блоков предохранителей. Проектирование СОПТ с точки зрения надежности, долговечности и ремонтпригодности предполагает решение вопросов, связанных с организацией системы мониторинга, контролем сопротивления изоляции и ряда других важных проблем [1, с. 119].

Автоматизированные системы технической диагностики предоставляют возможность контролировать состояния электрических параметров системы оперативного постоянного тока в режиме реального времени [2, с. 51]. Применение аппаратно-программных средств

мониторинга значительно повышает надежность системы, сокращает время на восстановление СОПТ. В дополнение к этому, грамотно спроектированная современная система мониторинга должна программно реализовывать «интеллектуальные» алгоритмы прогнозирования возможных неисправностей для своевременного проведения ремонтно-профилактических работ.

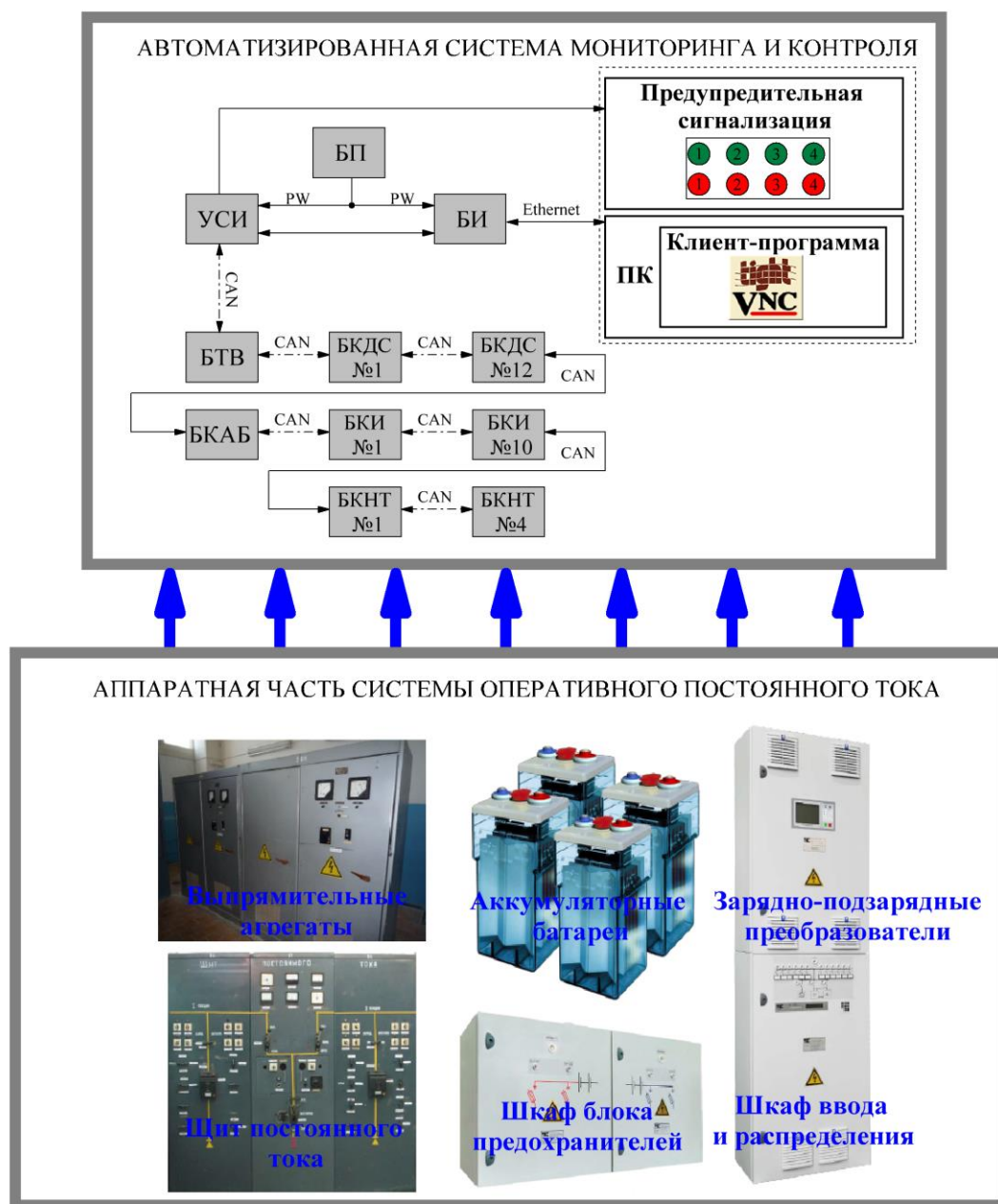


Рис.1. Структура системы мониторинга электрических и технологических параметров системы оперативного постоянного тока: БП – блок питания; УСИ – устройство сбора информации; БИ – блок индикации; БТВ – блок тестового воздействия; БКДС – блок контроля дискретных сигналов; БКАБ – блок контроля аккумуляторной батареи; БКИ – блок контроля изоляции; БКНТ – блок контроля напряжения и тока; ПК – персональный компьютер.

Функции мониторинга и контроля электрических и технологических параметров в структуре системы оперативного тока, предлагаемой на рисунке 1, реализуются в виде отдельного автоматизированного комплекса технической диагностики.

Разработка программного обеспечения для каждого измерительного блока предполагает применение специализированных IDE для конкретной фирмы-производителя микроконтроллера, лежащего в его основе. В рассматриваемой конфигурации вычислительное ядро микропроцессорного блока представляет собой микроконтроллер STM32.

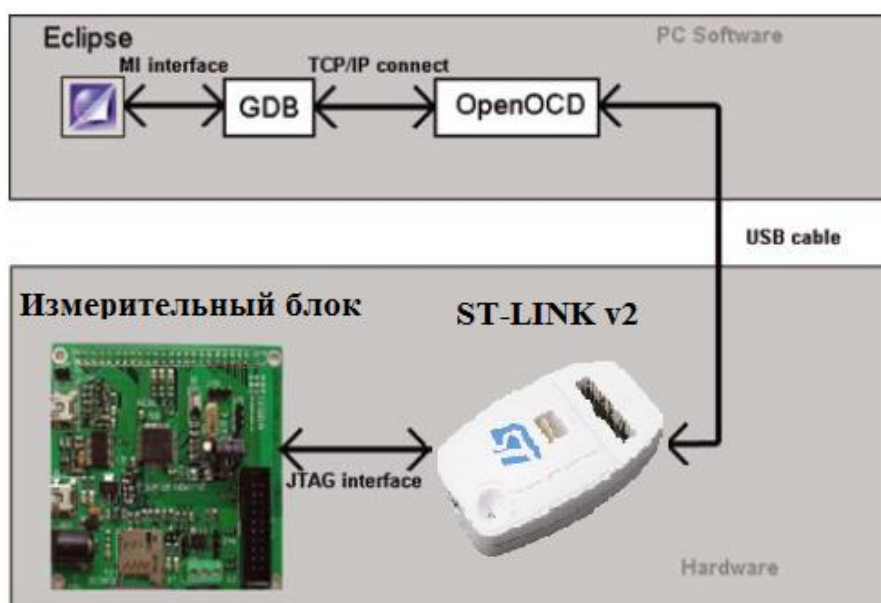


Рис. 2. Схема взаимодействия IDE с целевой платформой.

На рисунке 2 наглядно продемонстрирована схема взаимодействия интегрированной среды разработки Eclipse с целевой платформой микропроцессорного измерительного блока. Связь с микроконтроллером осуществляется через драйвер ST-LINK/V2. При установлении связи OpenOCD (Open On-Chip Debugger) открывает telnet-соединение. Это необходимо для того, чтобы отладочная утилита GDB (GNU Debugger) могла управлять микроконтроллером. Далее, как только telnet-соединение произошло, Eclipse запускает файл GDB с указанием порта, к которому нужно подключиться. После этого в отладочную программу отправляются команды инициализации: стереть flash-память, провести запись файла прошивки, а также установить точку остановки на `main.c`.

Питание функциональных блоков системы производится от шины питания 24 В, а обмен данными – по интерфейсу CAN [3]. В БИ через УСИ поступают данные от

функциональных блоков. Кроме этого, с панели оператора передаются команды управления реле сигнализации в УСИ, а также в АСУ ТП.

Блок тестового воздействия получает уставки от БИ, в соответствии с которыми выполняет функции измерения и контроля общего сопротивления изоляции СОПТ, сопротивления изоляции полюсов и секций СОПТ, напряжения полюсов относительно «земли» и напряжения главных шин.

Функция микропроцессорного измерительного блока контроля напряжения и тока сводится к измерению тока, напряжения его пульсаций в заданных точках СОПТ. Измерение тока проводится с помощью шунтов и датчиков тока. Похожий на БКНТ по конструктивному исполнению и выполняемым функциям, БКАБ, кроме всего прочего, определяет степень заряда и разряда аккумуляторной батареи. Блок контроля дискретных сигналов, соответственно, осуществляет мониторинг состояния коммутационных аппаратов шкафа ввода и распределения [4].

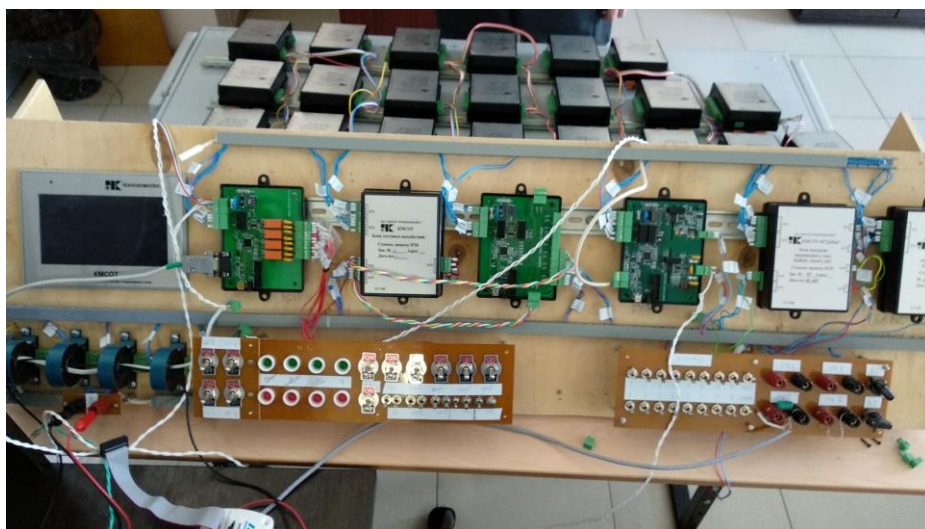


Рис. 3. Макет испытательного стенда системы мониторинга оперативного тока.

Поскольку в условиях учебной лаборатории проведение проверки функционирования комплекса на реальной системе оперативного тока не представляется возможным, был разработан макет испытательного стенда. На рисунке 3 приведен общий вид экспериментального стенда для проверки функционирования, отладки программного обеспечения системы мониторинга и контроля оперативного тока.

Главные шины СОПТ имитируются подачей на входы измерительных блоков постоянного напряжения 0-300 В от двух последовательно соединенных лабораторных блоков питания на 150 В и 1,2 А. Пульсации тока можно задать универсальным генератором сигналов. С помощью ключевых элементов реализуется возможность формирования

дискретных сигналов, а применение схемы магазина сопротивлений позволяет задавать сопротивление изоляции.

Отображение и задание уставок может производиться как с блока индикации, реализованного на платформе операционной системы Linux, так и удаленно с рабочего ПК оператора участка. Для связи панели оператора с ПК устанавливается программное обеспечение удаленного доступа. В разработанной конфигурации используются программа Tight VNC. В блоке индикации запускается сервер-программа, а на ПК – программа-клиент.

Пользовательский интерфейс панели оператора максимально прост и интуитивно понятен. Некоторые оконные формы интерфейса системы мониторинга и контроля оперативного тока представлены на рисунках 4 – 6 соответственно.

Сигнализация осуществляется посредством индикации аварийных и предупредительных цветовых маркеров и сообщений самодиагностики комплекса в окне «Состояние комплекса» панели оператора (рис. 4). При выходе параметров микропроцессорного блока за пределы уставок индикатор окрашивается желтым цветом.

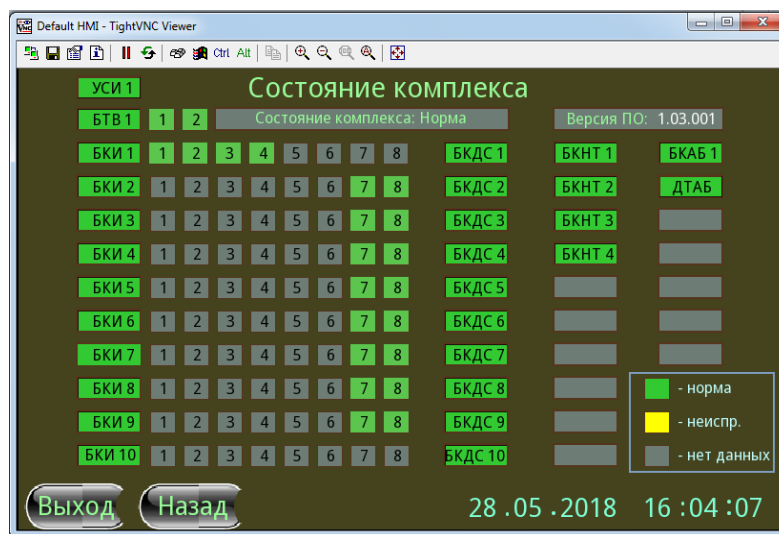


Рис. 4. Вкладка «Состояние комплекса».

Аварийные сообщения для каждого блока регистрируются в журнале с одновременным срабатыванием соответствующего реле сигнализации при первом определении комплексом аварийного состояния. Оконная форма вкладки «Журнал событий» представлена на рисунке 5. Зеленый цвет записи в журнале означает, что параметр возвращается в нормальное состояние. Помимо этого, интерфейс предполагает задание уставок для каждого измерительного блока. Так для блока контроля напряжений и токов задается верхняя и нижняя граница действующих значений пульсаций тока и напряжения, а

из вкладки «Аккумуляторная батарея», показанной на рисунке 6, можно узнать находится ли в нормальном состоянии напряжение асимметрии и температура аккумуляторной батареи.

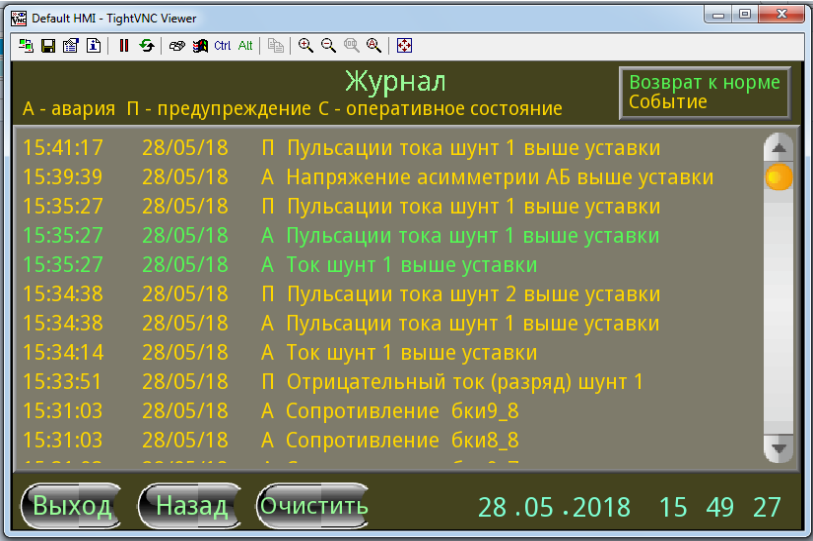


Рис. 5. Вкладка «Журнал событий».

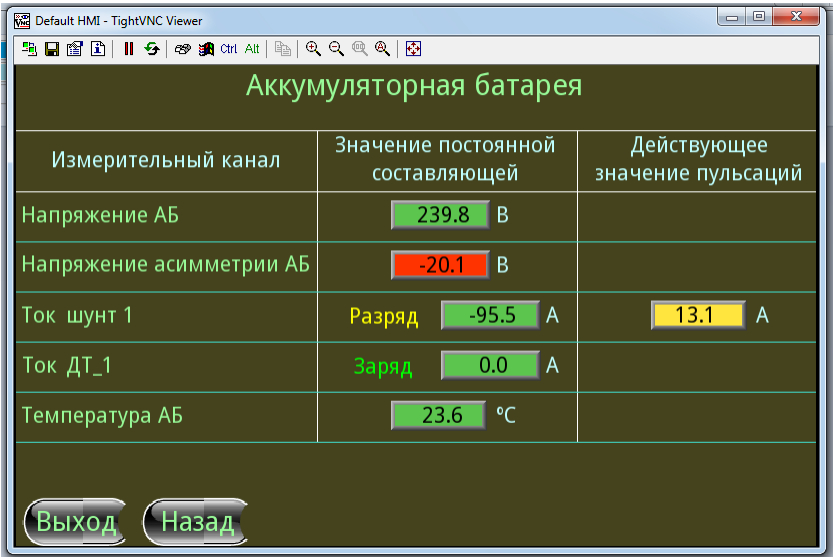


Рис. 6. Вкладка «Аккумуляторная батарея».

Созданная автоматизированная система технической диагностики выгодно отличается от аналогичных средств мониторинга и контроля распределенной организацией микропроцессорных измерительных блоков. Применение операторной панели на платформе операционной системы Linux позволяет оператору анализировать электрические параметры системы оперативного постоянного тока в режиме реального времени и удаленного доступа. Это позволяет значительно повысить надежность СОПТ, сократить время на ее восстановление, а программно реализуемые «интеллектуальные» алгоритмы

прогнозирования неисправностей делают возможным своевременно проводить ремонтно-профилактические работы.

ЛИТЕРАТУРА

1. Крючков И. С., Старов М. А., Гусев К. П., Пираморов М. В. Релейная защита электроэнергетических систем: учебник для вузов / под ред. И. П. Кобялко. – М.: Издательский дом МЭИ, 2009. – 416 с.
2. Кобялко И. П. Старова М. А. Реле и элементы промышленной автоматики: учеб. пособие / под ред. И. П. Кобялко. – 2-е изд., стер. – М.: Академия, 2006. – 416 с.
3. Сайт компании «ТЕХНОКОМПЛЕКТ». Комплекс мониторинга систем оперативного тока серии КМСОТ «Дубна» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.technocomplekt.ru/produktsiya/kmsot-m-dubna.html>.
4. Клементьев В. Ю., Бальзамов А. Ю. Устройство для мониторинга первичных электрических параметров систем оперативного постоянного тока // Роль технических наук в развитии общества: сборник материалов III Международной научно-практической конференции (15 марта 2018 года). – Выпуск 3. – Кемерово: ЗапСибНЦ, 2018. – С. 179–181.

БЕСПАЛОВ Н. Н., ДЬЯКОВ П. Ф., КОНДРАШИН Д. С., ВАНИЧКИН А. Д.
ОЗОНАТОРНОЕ УСТРОЙСТВО С ТАЙМЕРНЫМ УПРАВЛЕНИЕМ

Аннотация. В статье рассмотрено озонаторное устройство с таймерным управлением, его структура и принцип работы. Приведены временные диаграммы, поясняющие режимы работы таймерного устройства.

Ключевые слова: мощный озонатор, таймер, платформа Arduino UNO на микроконтроллере ATmega328, высоковольтный трансформатор.

BESPALOV N. N., DIAKOV P. F., KONDRASHIN D. S., VANICHKIN A. D.
OZONATOR DEVICE WITH TIMER CONTROL

Abstract. The article considers the ozonator device with timer control, its structure and principle of operation. Time diagrams explaining the operation modes of the timer device are provided.

Keywords: powerful ozone generator, timer, Arduino UNO ATmega328 microcontroller, high-voltage transformer.

Воздух в жилых и промышленных помещениях содержит в своем составе вредные вещества. Источниками болезнетворных загрязнений воздуха (плесень, грибки и бактерии) являются внутренние и внешние поверхности помещений, искусственные покрытия, мебель, краски и лаки, чистящие и моющие средства, а также продукты жизнедеятельности насекомых и грызунов. Химические вещества, находящиеся в воздухе, имеют свойство накапливаться в организме человека. Многие из этих веществ попадают в организм человека через дыхательные пути и питьевую воду. Но даже в малых количествах эти химические соединения способны вызывать самые различные симптомы (головная боль, головокружение) если время их воздействия достаточно велико. Поэтому необходимо принимать меры, для того чтобы свести к минимуму ущерб, причиняемый здоровью человека. Для этого требуется регулярно проводить озонирование жилых и промышленных помещений.

Озон является газообразным веществом, состоящим из трех атомов кислорода. В больших концентрациях озон имеет резкий специфический запах, а в малых количествах – запах свежести. Но вдыхать его крайне опасно и не рекомендуется даже в малых количествах. Поэтому озонируемое помещение необходимо подготовить, т.е. на период обработки закрытого помещения вывести из озонируемого помещения весь рабочий персонал и животных. В процессе озонирования уничтожаются вредоносные бактерии, в том

числе и бактерии гниения, поэтому рекомендуется применять озонатор даже в овощехранилищах и погребах – это увеличит срок хранения продуктов. Скорость разложения озона при комнатной температуре в воздухе низкая, поэтому входить в помещение разрешено только через 20–30 минут после окончания сеанса озонирования. Но при температуре озонозудушной среды выше комнатной разложение ускоряется, а при температурах выше 100 °С озон разлагается мгновенно.

Существует несколько способов получить озон: физический и химический (в данной статье не рассмотрен). Существует два физических метода получения озона – облучение воздуха жестким ультрафиолетом и пропускание электрических разрядов высокого напряжения через воздух [1].

Под озонированием помещения понимается проведение сеанса обеззараживания помещения при помощи специальной аппаратуры, которая пропускает через себя воздух, находящийся в помещении, и при помощи создания разрядов высокого напряжения вырабатывает озон. Озон способен разрушать в замкнутых помещениях большинство летучих соединений (органические вещества). Примерно через 20–30 минут с момента создания озона он начинает превращаться в привычный и безопасный для человека кислород. Поскольку в закрытых помещениях не идут естественные процессы образования озона, его концентрацию необходимо поддерживать при помощи генератора озона.

Разработано мощное озонаторное устройство, структурная схема которого представлена на рисунке 1.

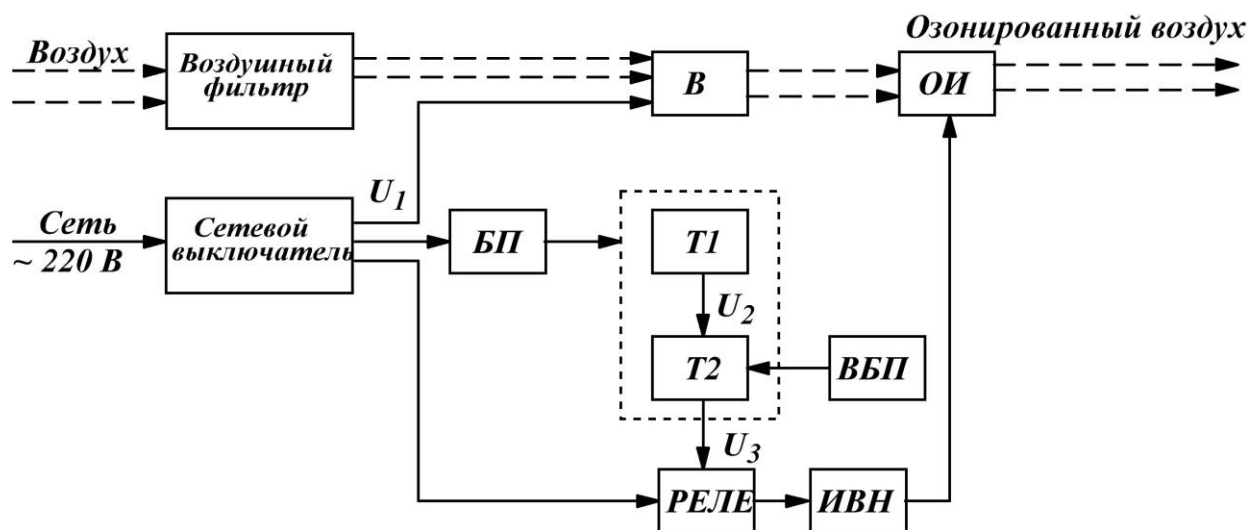


Рис. 1. Структурная схема озонатора ОЗОН-МГУ-1.

Озонирующий излучатель (ОИ) выполнен в виде набора открытых металlostеклянных озонирующих элементов, установленных в стеклотекстолитовую раму и электрически соединен высоковольтными проводами с источником высоковольтного напряжения (ИВН). Обдувка ОИ осуществляется внутренним осевым вентилятором (В) с производительностью 1 600 л/час (направление потока воздуха показано пунктирной линией на рисунке 1), вентилятор имеет предварительный механический фильтр (воздушный фильтр) для очистки поступающего из помещения воздуха. Причем воздух всасывается через внешнее отверстие корпуса озонатора, проходит очистку, а с выхода вентилятора подается в разрядную область ОИ. Далее синтезированный озон выдувается из ОИ в помещение. Таймерный блок (содержит в себе два таймера: Т1 – это первый, Т2 – второй) предназначен для регулирования времени сеанса озонирования в пределах от 10 минут до 90 минут с шагом установки в 10 минут.

Озонатор подключен к сети через реле JQC-3FF-S-Z. Сигнал включения (выключения), подаваемый на это реле, формируется при помощи платы Arduino UNO по заранее запрограммированному алгоритму (временные диаграммы показаны на рисунке 2). Тот же программный код отвечает за вывод оставшегося времени работы второго таймера на двухразрядный семисегментный индикатор в режиме обратного отсчета.

Питание озонатора осуществляется через сеть ~220 В. Питание Arduino UNO +12 В, для этого был использован трансформаторный блок питания (БП), на реле питания поступает с платы Arduino UNO.

На рисунке 2 приведены временные диаграммы работы таймерного управления озонаторного устройства. Моменты времени t_1 и t_5 указывают на включение или отключение (соответственно) сетевого переключателя-предохранителя (показано как напряжение U_1 на рисунке 2, а). Интервал времени от t_2 до t_3 указывает на время работы первого таймера (показано как напряжение U_2 на рисунке 2, б). Интервал времени от t_3 до t_4 указывает на время работы второго таймера (показано как напряжение U_3 на рисунке 2, в).

В интервале времени от 0 до t_1 (рисунок 2, а) озонаторное устройство еще не подключено в сеть, либо подключено в сеть, но сетевой переключатель-предохранитель (обозначен цифрой 2 на рисунке 3) отключен, поэтому на выходе сетевого переключателя-предохранителя напряжение U_1 равно нулю. После подключения питания озонатора при включенном сетевом переключателе-предохранителе включается вентилятор (т. е. $U_1 = 220$ В). Это значит, что поток дутьевого очищенного воздуха через неработающую камеру разряда будет поступать в помещение (направление потока воздуха показано двумя пунктирными линиями на рисунке 1). При этом загорается светодиод индикации питания (обозначен цифрой 9 на рисунке 3). В этом случае на двухразрядном индикаторе

отображается «00». Это означает, что таймер ожидает ввода времени проведения сеанса и подтверждения начала работы. После ввода необходимого времени работы при помощи кнопки «Уст. времени сеанса» (обозначена цифрой 3 на рисунке 3), путем нажатия на нее нужное количество раз, выставляется необходимое время сеанса от 10 до 90 минут. После нажатия кнопки «ПУСК» Arduino UNO активируется первый таймер, время отсчета которого задано программой (3 минуты) и не может быть изменено пользователем. Этот таймер необходим для того, чтобы оператор успел покинуть озонируемое помещение до включения камеры разряда озонатора (т.е. до момента времени t_3). По истечении времени первого таймера Arduino UNO запустит второй таймер. В этот момент загорится индикация камеры разряда (светодиод обозначен цифрой 10 на рисунке 3), а по мере отсчета таймером времени на двухразрядный семисегментный индикатор выводится оставшееся время работы (в минутах). Время озонирования было задано ранее при помощи кнопки «Уст. времени сеанса». По окончании работы основного таймера на двухразрядном индикаторе будет показано «00». Но по окончании процедуры озонации входить в помещение разрешается только через 30–60 минут.

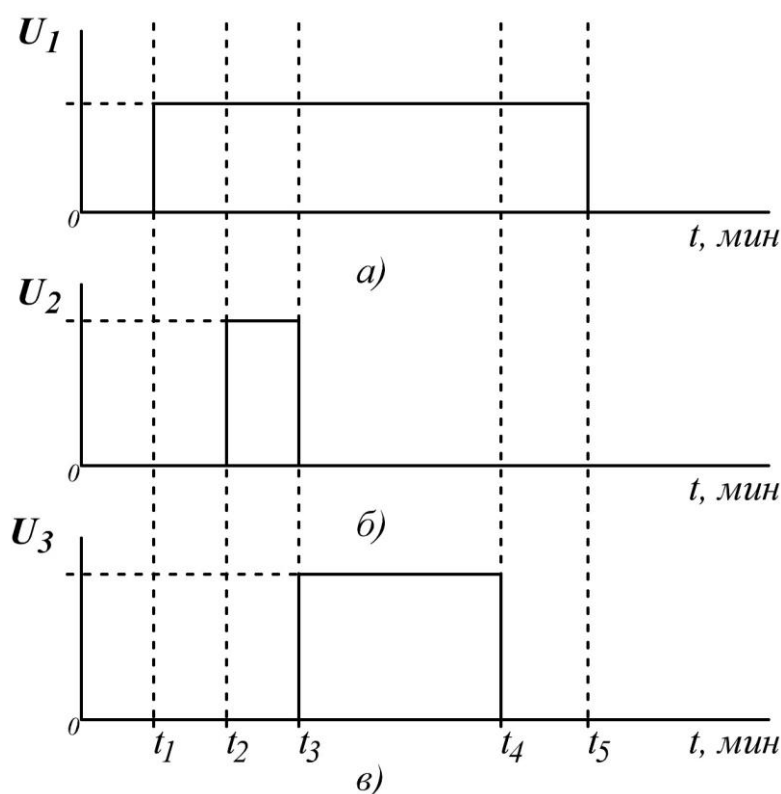


Рис. 2. Временные диаграммы, поясняющие работу таймерного управления озонаторного устройства.



- 1 – шнур «СЕТЬ»;
- 2 – переключатель ВКЛ/ВЫКЛ сеть;
- 3 – кнопка «Уст. Времени сеанса»;
- 4 – кнопка «ПУСК»;
- 5 – кнопка «Экстренный ВЫКЛ»;
- 6 – цифровой двухразрядный дисплей;
- 7 – верхние вентиляционные решетки;
- 8 – боковые вентиляционные решетки;
- 9 – светодиодный индикатор включения тумблера в положение «ВКЛ»;
- 10 – светодиодный индикатор включения камеры разряда ОИ;
- 11 – предохранитель на 3 А;

Рис. 3. Внешний вид операторной панели озонаторного устройства ОЗОН–МГУ–1.

Внешний вид озонаторного устройства с таймерным управлением ОЗОН–МГУ–1 показан на рисунке 4. Некоторые его технические характеристики представлены ниже:

- напряжение питания 220 В от сети переменного тока с частотой 50 Гц;
- производительность, 40 ± 4 г/час;
- время непрерывной работы не более 1,5 час;
- потребляемая мощность озонатора от сети не более 500 ВА;
- озонатор работоспособен при температуре от 0 °С до 40 °С и относительной влажности воздуха до 80% при температуре 25 °С;
- способ защиты от поражения электрическим током соответствует классу 1 ГОСТ 27570.0-87 [2].



Рис. 4. Внешний вид озонаторного устройства с таймерным управлением ОЗОН–МГУ–1.

Данное устройство используется на фабрике по изготовлению сухого яичного порошка «Рузово» в г. Рузаевка для дезинфекции и обеззараживания помещений и производственных цехов от плесени, грибков и других микроорганизмов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Беспалов Н. Н., Дьяков П. Ф., Каргаполов Н. А., Фадейкин А. Н. Озонаторное устройство с таймером // XLV Огарёвские чтения. – Саранск: Мордов. гос. ун-т, 2017. – С. 147–151.
2. Безопасность бытовых и аналогичных электрических приборов. Общие требования и методы испытания (с Изменением N 1): ГОСТ 27570.0-87 – 2002. – Введ. 1988-07-01. – М.: ИПК Издательство стандартов, 2002. – 120 с.
3. Яйцеперерабатывающая фабрика «Рузово» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://ruzovo.ru/>.

БЕСПАЛОВ Н. Н., ПАНЬКИН К. Ю.

ОПТИМИЗАЦИЯ ВЕЛИЧИН НЕКОТОРЫХ ПАРАМЕТРОВ ЛИНЕЙНЫХ ИСТОЧНИКОВ ПИТАНИЯ НА ОСНОВЕ СТАБИЛИЗАТОРОВ НАПРЯЖЕНИЯ

Аннотация. В статье исследуется влияние величины емкости входного конденсатора фильтра параметрического стабилизатора на основные параметры линейного источника питания. Приведены графики зависимостей, с помощью которых можно подобрать оптимальную величину параметров для линейного источника питания на базе параметрического стабилизатора. Исследование проводилось с помощью моделирования в программе Multisim 11.

Ключевые слова: линейный источник питания, пульсации, напряжение на вторичной обмотке, конденсатор, ток в нагрузке, мощность, сетевое напряжение, площадь радиатора.

BESPALOV N. N., PANKIN K. YU.

OPTIMIZATION OF VALUES OF SOME PARAMETERS OF LINEAR POWER SOURCES BASED ON VOLTAGE REGULATORS

Abstract. The article investigates the effect of the input capacitor value on the parameters of a linear power source. Dependency graphs, which help to select the optimum parameter value for a linear power source, are provided. The study was carried out using modeling in the program Multisim 11.

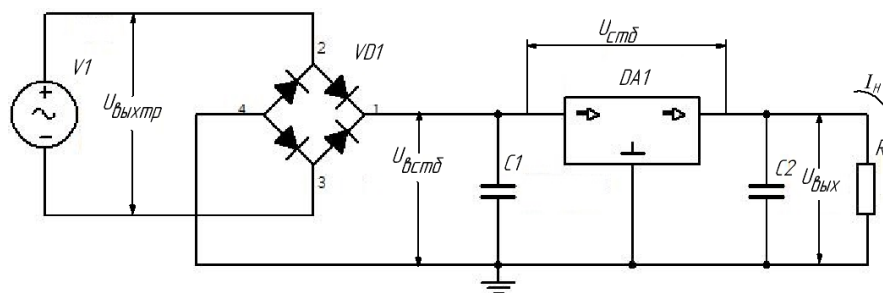
Keywords: linear power source, voltage ripple, secondary voltage, capacitor, load current, power, line voltage, heatsink area.

Стабилизированные линейные источники питания (ЛИП) на основе параметрических стабилизаторов напряжения обладают относительно низким коэффициентом полезного действия (КПД) по сравнению с импульсными высокочастотными источниками питания. Однако первые создают существенно меньшие помехи и имеют относительно малые низкочастотные пульсации выходного напряжения, поэтому такие источники питания широко используются в измерительной технике, для питания усилительных и преобразовательных каскадов. Для выполнения своей задачи ЛИП должны, прежде всего, обеспечивать минимальные пульсации на выходе, осуществлять стабилизацию при колебаниях напряжения питающей промышленной сети, обладать относительно малыми габаритами и нормально работать при повышении температуры окружающей среды [1; 2]. Одним из факторов, способствующих выполнению этих комплексных требований, является выбор величин входной емкости конденсатора фильтра на входе компенсационного стабилизатора ЛИН.

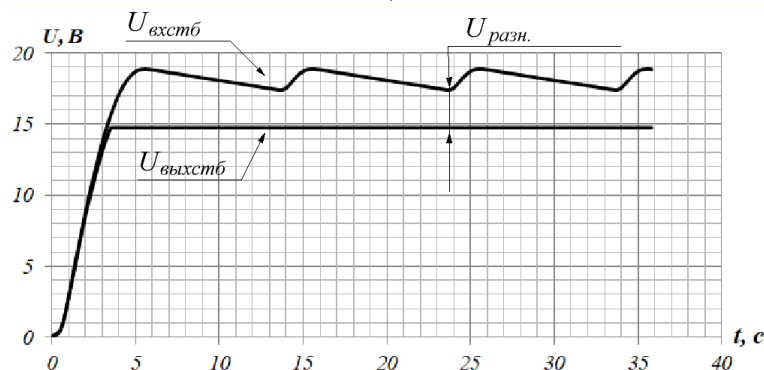
Цель работы заключалась в определении входной емкости конденсатора при которой достигаются оптимальные величины параметров ЛИП, которые обеспечат стабильную работу ЛИП в случае колебания сетевого напряжения и в случае изменения температуры окружающей среды T_{OKP} . Выполнение работы велось в Multisim 11.

Моделирование схемы источника питания в программном комплексе Multisim 11.

В программном комплексе Multisim 11 реализована модель ЛИН на микросхеме LM7815CT (рис. 1а). Микросхема позволяет получить стабильное напряжение на выходе $U_{ВЫХ}$ равное 15 В и стабильный ток в нагрузке I_H до 1 А. Элемент V1 имитирует выходную обмотку трансформатора ($U_{ВЫХТР}$).



а)



б)

Рис. 1. Модель ЛИН с параметрическим стабилизатором на основе микросхемы LM7815CT и временные диаграммы напряжения на входе и выходе стабилизатора.

На рисунке 1б приведены временные диаграммы напряжения $U_{ВХСТБ}$ на входном конденсаторе C1 и, соответственно, на входе стабилизатора моделируемого ЛИП и выходного стабилизированного напряжения $U_{ВЫХ} = 15$ В, полученного с минимальными пульсациями. Моделирование всех режимов проводилось при соблюдении обязательного условия: минимальная разница между входным и выходным напряжением микросхемы $U_{разн.}$ должна быть не менее 2 В, чтобы обеспечивать заданный режим стабилизации при любых условиях.

Опытным путем было выявлено, что, увеличивая емкость входного конденсатора

$C1$, можно добиться уменьшения величин следующих параметров: напряжения вторичной обмотки трансформатора $U_{ВЫХТР}$, мощности, выделяемой регулирующим элементом параметрического стабилизатора (P), площади радиатора охлаждения (S).

Результаты моделирования.

На основе моделирования ЛИП при различных сочетаниях величин различных параметров получены данные, по которым построены следующие графики зависимостей.

На рисунках 2 и 3 приведены графики зависимости изменения $U_{ВЫХТР}$ от емкости входного конденсатора $C1$ при стандартном разбросе напряжения питающей промышленной сети и величинах тока нагрузки $I_H = 0,5$ А и 1 А.

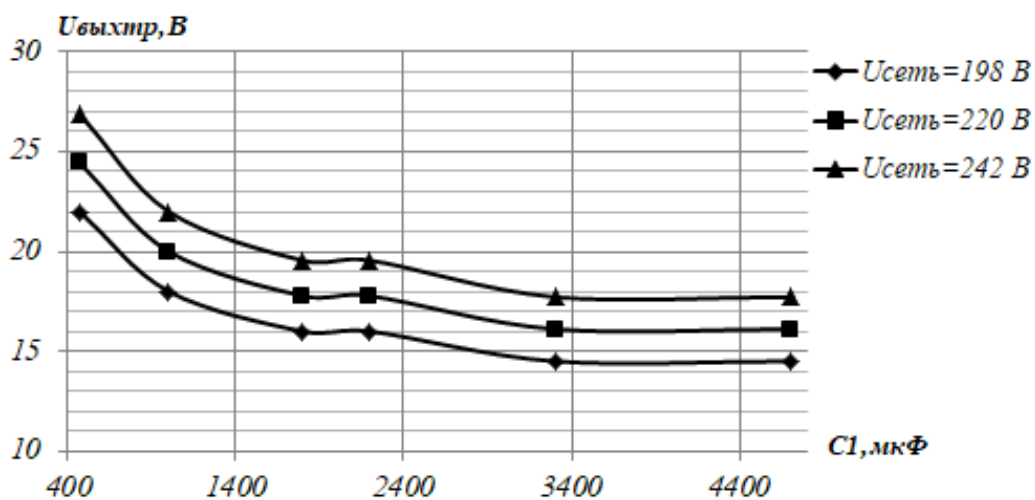


Рис. 2. Графики зависимости напряжения $U_{ВЫХТР}$ на выходной обмотке трансформатора от емкости конденсатора $C1$ при разных значениях сетевого напряжения и токе нагрузки $I_H = 0,5$ А.

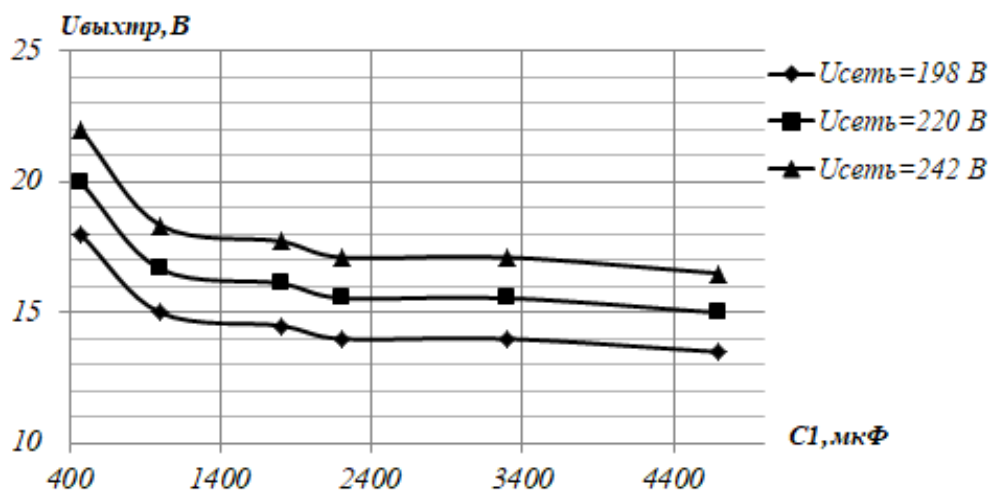


Рис. 3. Графики зависимости напряжения $U_{ВЫХТР}$ на выходной обмотке трансформатора от емкости конденсатора $C1$ при разных значениях сетевого напряжения и токе нагрузки $I_H = 1$ А.

Из зависимостей, представленных на рисунках 2 и 3 видно, что выходное напряжение $U_{ВЫХТР}$ уменьшается при увеличении емкости конденсатора $C1$ при обеспечении обязательного установленного условия $U_{разн} \geq 2$ В, что позволяет выбрать трансформатор с относительно малым выходным напряжением на вторичной обмотке.

На рисунках 4 и 5 показаны графики зависимости выделяемой мощности на стабилизаторе от $U_{ВЫХТР}$ при разных номиналах $C1$ и разных токах нагрузки.

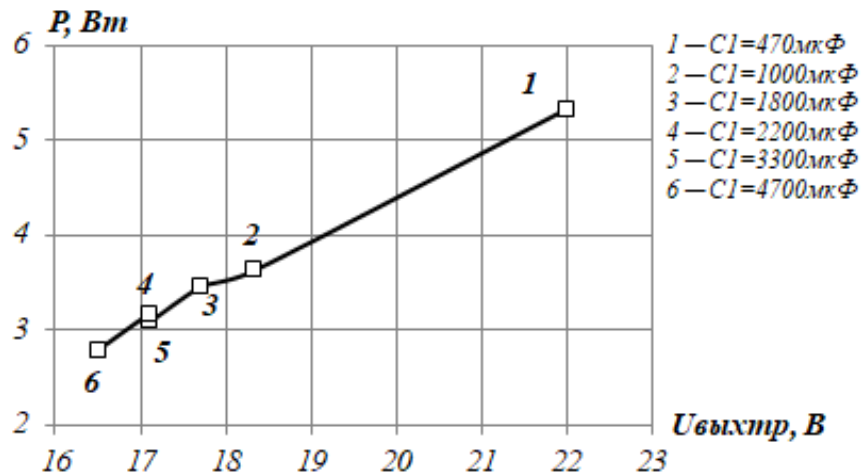


Рис. 4. График зависимости мощности, выделяемой на стабилизаторе, от напряжения с вторичной обмотки трансформатора при сетевом напряжении 242 В и $I_H = 0,5$ А.

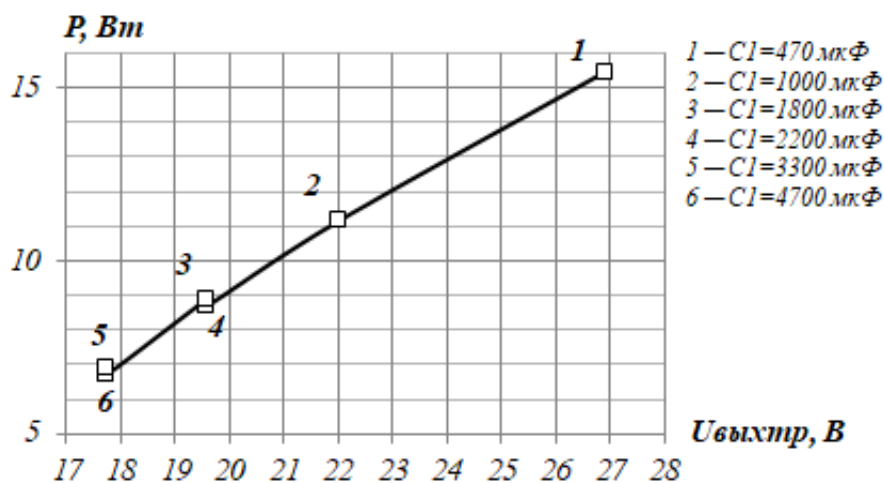


Рис. 5. Графики зависимости мощности, выделяемой на стабилизаторе, от напряжения с вторичной обмотки трансформатора при сетевом напряжении 242 В и $I_H = 1$ А.

Из графиков на рисунках 4 и 5 видно, что с увеличением емкости входного конденсатора $C1$ уменьшается выделяемая мощность P на микросхеме, что, естественно, увеличивает КПД стабилизатора и снижает температуру кристалла. Уменьшение выделяемой мощности также приводит к уменьшению площади S охлаждающего

радиатора микросхемы при обеспечении требуемой температуры T_{Π} , что существенно уменьшает габариты всей конструкции стабилизатора.

На рисунке 6 показана зависимость площади радиатора S стабилизатора от напряжения с вторичной обмотки трансформатора $U_{ВЫХТР}$ при температуре прибора T_{Π} равной 80°C и 125°C с учетом температуры окружающей среды равной 40°C .

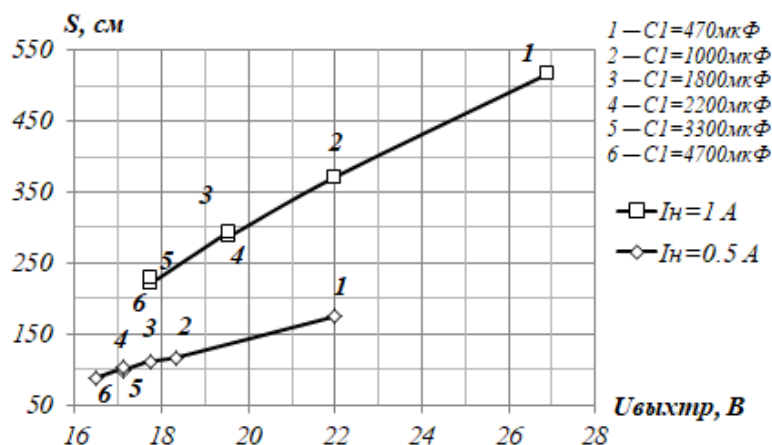


Рис. 6. Графики зависимости площади радиатора стабилизатора от напряжения с вторичной обмотки трансформатора при входном сетевом напряжении 242 В и T_{Π} 80°C .

На рисунке 6 представлены графики, на которых видно, что увеличивая емкость входного конденсатора $C1$ возможно уменьшать площадь радиатора охлаждения микросхемы без снижения качества питания.

На основании проведенного исследования определено, что для стабилизированного ЛИП на 15 В оптимальное значение емкости входного конденсатора составляет величину не менее 3300 мкФ. При данном номинале емкости конденсатора фильтра достигается минимальное значение мощности потерь на регулирующем транзисторе стабилизатора на микросхеме, что ведет к увеличению КПД стабилизатора и уменьшению площади радиатора охлаждения микросхемы, что, естественно, предопределяет снижение массогабаритных показателей ЛИП.

ЛИТЕРАТУРА

1. Обрусник В. П., Шадрин Г. А. Стабилизированные источники питания радиоэлектронных устройств. – Томск: ТУСУР, 2011. – 280 с.
2. Шустов М. А. Практическая схемотехника. Источники питания и стабилизаторы. – М.: Алекс А, 2002. – 190 с.

ШИШОВ О. В., ЗАВОДУНОВ А. О., СЛАВКИН А. С.
ПРЕДСТАВЛЕНИЕ СОВРЕМЕННЫХ СЕТЕВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ АСУ ТП
В УЧЕБНОМ ПРОЦЕССЕ

Аннотация. Рассматриваются принципы построения лабораторного комплекса и порядок проведения учебных работ по изучению современных информационных технологий разработки АСУ ТП нижнего и верхнего уровня (уровней ПЛК и SCADA). Лабораторный комплекс создавался на базе аппаратных средств и программного обеспечения российских компаний ОВЕН и ИнСАТ.

Ключевые слова: промышленная автоматизация, программируемые контроллеры, SCADA-система, OPC-сервер, интернет вещей, облачные вычисления, промышленные сети.

SHISHOV O. V., ZAVODUNOV A. O., SLAVKIN A. S.
PRESENTATION OF MODERN NETWORK TECHNOLOGIES
FOR INDUSTRIAL CONTROL SYSTEMS IN EDUCATIONAL PROCESS

Abstract. The article considers the principles of setting up the laboratory complex and the training procedure of modern information technologies for the development of industrial control systems of lower and upper levels (PLC and SCADA). The laboratory complex in question was set up on the basis of hardware and software by the Russian companies OWEN and INSAT.

Keywords: industrial automation, programmable controllers, SCADA system, OPC-server, Internet of things, cloud computing, industrial networks.

В Мордовском государственном университете им. Н. П. Огарева на кафедре электроники и нанoeлектроники уже несколько лет функционирует учебная лаборатория «Современные технологии промышленной автоматизации». Во время занятий в лаборатории учащиеся знакомятся с базовыми компонентами современной автоматики – свободно программируемыми логическими контроллерами (ПЛК), модулями ввода-вывода, преобразователями частоты вращения двигателей и операторными панелями, с их аппаратными ресурсами, с возможностями их конфигурирования и программирования. Изучение этих вопросов ведется на примерах аппаратных и программных продуктов компании ОВЕН, которая на рынке выпуска средств автоматизации занимает в России ведущее положение. Разработаны и реализованы учебные стенды для изучения универсальных моноблочных контроллеров серий ПЛК-100/150/110, релейных контроллеров ПР110/114/200, операторных панелей ИП320, СП307/310, модулей ввода-вывода Мх110, выпущено соответствующее методическое обеспечение. Все это позволило лаборатории стать еще и Региональным учебным центром компании ОВЕН и вести курсы повышения квалификации для работников предприятий.

Одной из основных тенденций создания систем автоматизации на современных предприятиях является их комплексность. Сегодня для эффективного ведения бизнес-процесса они должны охватывать горизонтальными и вертикальными связями все его звенья. Это требует подготовки специалистов, которые могут создавать не только системы управления низового уровня (отдельных станков, линий, конвейеров), но и уровня диспетчеризации, мониторинга на уровне производственного участка, цеха и шире. Таким образом, перед учебной лабораторией была поставлена задача разработки соответствующего лабораторного комплекса. Представим круг вопросов, поднимаемых в лаборатории при изучении современных сетевых технологий в промышленности, и подходы к их рассмотрению.

Первое и самое главное, на что обращается внимание при рассмотрении современных системы автоматизации – это то, что они не просто охватывают все уровни производства, а все чаще часть компонентов этих систем выходит за границы локальной сети и переходит на уровень глобальной. То, с чем приходилось, в первую очередь, при этом сталкиваться – высокая стоимость каналов связи, если они создавались для этого специально. Выход был очевиден и прост, он диктовался логикой развития всего информационного мира – в этих условиях наиболее экономически выгодным оказывается применение интернета.

Безусловно, интернет-технологии не рассчитаны на передачу больших объемов данных и быстрое их обновление, но эти недостатки скрадываются там, где данные технологии интегрируются в системы АСУ ТП для контроля лишь основных показателей процесса, а не попытки полного охвата всей информации, предоставляемой системой. Тогда всемирная паутина может явиться идеальным решением организации обмена с удаленными объектами, обеспечения своевременной связи (в том числе мобильной) с руководителем предприятия, инженером-технологом или оператором системы.

Таким образом, у контроллеров, являющихся базовыми элементами построения низовых уровней автоматизации, появление веб-интерфейса было абсолютно естественным шагом. Сначала, как минимум, это позволяло через него производить настройки с локального или удаленного компьютера, получать с него информацию устройствам более высокого уровня. Задачи уровня верхнего управления, как правило, решаются с помощью SCADA-систем (Supervisory Control And Data Acquisition – диспетчерское управление и сбор данных), а нижнего – с помощью контроллеров. SCADA-система устанавливается на компьютер и выступает в такой системе сервером, контроллеры – клиентами. Разнесенные пространственно они обмениваются информацией по каналам связи. Хотя SCADA-системы зачастую позволяют реализовать сложный логический анализ и массу вычислений, обычно основные алгоритмы управления реализуются все же в контроллере. Пока в сложной

многоконтроллерной распределенной системе управления это позволяет добиться в целом большей надежности и стабильности. При таком распределении функций между SCADA-системой и контроллером, обмен между ними сводится к передаче ограниченного объема команд и данных без жестких требований по скорости доставки. И налицо возможности использования для связи между элементами распределенной системы интернет-каналов.

Следующим шагом развития веб-интерфейса в ПЛК стало появление в них веб-сервера. Сервер осуществляет формирование необходимых HTML-страниц и связывает их с данными, поступающими в контроллер с объекта. В зависимости от возможностей конкретного контроллера и поставленной задачи может быть реализована визуализация процесса, мониторинг и управление системой, архивирование информации, обработка аварийных сигналов и т.п. Существенным преимуществом применения этой технологии является возможность использования на компьютере диспетчера (руководителя, специалиста) любого веб-браузера, в том числе установленного на мобильном устройстве.

Использование веб-сервера безусловно предполагает создание соответствующего программного обеспечения в рамках которого будет осуществляться формирование интернет-страниц, связывание переменных программы с элементами визуализации и управления, реализация алгоритмов обработки, архивирование данных, составление отчетов и пр. Безусловно, это задача, требующая специальных знаний – как минимум умения программировать на языке HTML (XML), работать с java/svg скриптами и пр. Для широкого внедрения технологии использования встроенного веб-сервера обязательно должны были появиться подходы, максимально упрощающие реализацию такого программного обеспечения. В некоторых пакетах для программирования ПЛК есть возможности создания визуализаций – экранных форм (страниц) для иллюстрации на экране компьютера-программатора или на панели контроллера работы прикладной программы управления. Если в программируемые контроллеры заложена возможность работы с веб-сервером, то пакет может брать на себя и функции описания объектов визуализации проекта в формате HTML (XML) и загрузки их в контроллер. Программа реализации веб-сервера обрабатывает данные контроллера и в формате HTML (XML) создает постоянно обновляемую визуализацию. Таким образом она может отображаться в веб-браузере на любом подключенном через интернет компьютере независимо от платформы.

Такой подход к созданию веб-визуализаций, в частности, заложен в пакет CoDeSys, используемый в лаборатории при изучении языков программирования ПЛК и работы с ними. Как указывалось выше, прежде всего, это контроллеры компании ОВЕН. К сожалению, функционал не всех контроллеров этой компании позволяет работать с созданными с использованием такого подхода веб-визуализациями (по крайней мере тех

контроллеров, которые позиционируются производителем как устройства, ориентированные на построение систем управления простыми объектами).

При изучении SCADA-систем в учебной лаборатории используется пакет Master-SCADA. Как и другие SCADA-пакеты последнего поколения, он, кроме традиционных функций по созданию систем сбора данных и диспетчеризации, выполняет также функции программирования ПЛК и создания веб-визуализаций. Рисунок 1 иллюстрирует создание экрана визуализации в пакете Master-SCADA и отображение созданного экрана визуализации в браузере.

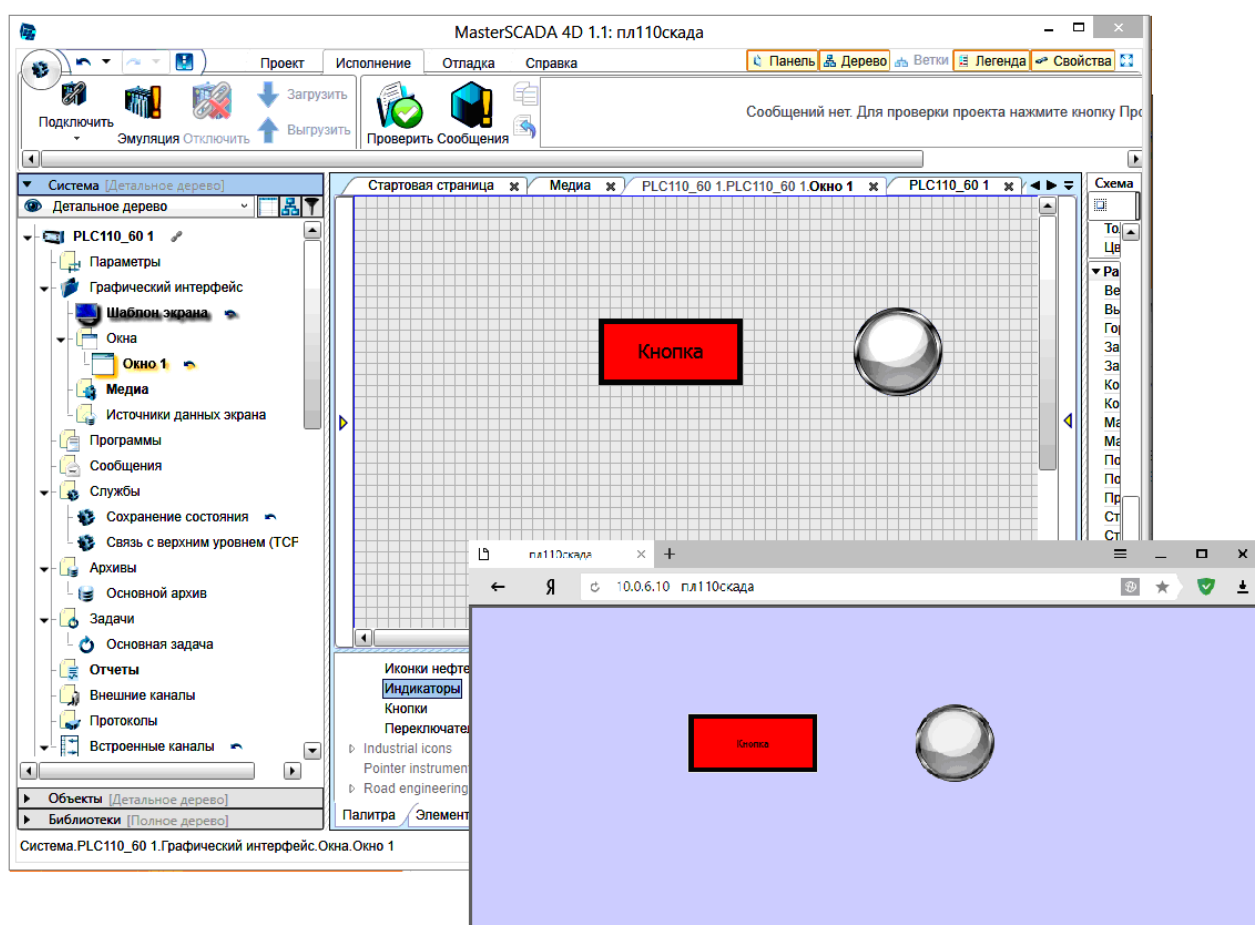


Рис. 1. Создание экрана визуализации в пакете Master-SCADA и его отображение в браузере.

Для удаленного управления в АСУ ТП часто достаточно иметь на сервере всего одну-две несложные веб-страницы. В свое время мы привыкли, что веб-серверы для интернета обычно располагаются на мощных компьютерах и содержат жесткие диски большой емкости. Здесь, конечно, речи об этом не ведется. В данном случае это программные средства ограниченного объема, работающие с относительно небольшими массивами данных. С любой точки зрения тут лучше подойдет использование термина микро веб-сервер (встраиваемый веб-сервер, Embedded Web-Server), особенно если его

задачи реализуются отдельной БИС, располагаемой на печатной плате ПЛК. Появление таких специализированных БИС, например дешевых однокристальных микроконтроллеров со встроенной реализацией протокола TCP/IP, позволило начать встраивать веб-серверы фактически везде: внутри датчика, в холодильнике, в кондиционере, в офисном оборудовании и пр. Технологию применения микро веб-серверов называют «встроенным интернетом» (Embedded Internet). Распространение этого явления привело к появлению понятия «интернет вещей» (Internet of Things, IoT).

Термин «интернет вещей» распространяется и на промышленные объекты. Развитие распределенной сетевой инфраструктуры в АСУ ТП привело к появлению «Industrial Internet of Things» (IIoT, индустриальный или промышленный интернет вещей). Это система объединенных компьютерных сетей и подключенных промышленных (производственных) объектов со встроенными датчиками и программным обеспечением для сбора и обмена данными с возможностью удаленного контроля и управления в автоматизированном режиме без участия человека.

Данные, которые раньше были не доступны и соответственно не использовались, с распространением встроенных интернет-устройств могут являться ценной дополнительной информацией о характере использования продукта и оборудования для всех участников производственного цикла. Получение таких данных предполагает появление их огромных массивов, необходимость их хранения и, как само собой разумеющееся, их обработку. Даже крупные предприятия сталкиваются с проблемой хранения и обработки «больших» данных, поэтому обязательно должны были появиться технологии решения этих проблем не только для крупных, но и для малых предприятий. Неслучайно практически одновременно с концепцией «интернет вещей» появилось понятие «облачные технологии» или «облачные вычисления».

Наиболее простым образом облачные вычисления определяют как технологию распределенной обработки данных, в которой компьютерные ресурсы и мощности предоставляются пользователю как интернет-сервисы. Используя этот подход, компания в «облаке» может исполнять весь необходимый функционал АСУ (программные алгоритмы обработки данных и управления) как низовых систем, так и систем управления уровня предприятия и выше. Другими словами, «облако» одновременно выполняет функции универсального средства интеграции ресурсов и функции исполнения сколь угодно сложных разнообразных алгоритмов.

Использование облачных технологий в лаборатории учащимся иллюстрируется на примере облачного сервиса OwenCloud, предоставляемого компанией ОВЕН. Данный облачный сервис применяется для удаленного мониторинга, управления и хранения архивов данных приборов, используемых в системах автоматизации.

Сервис предоставляет пользователям возможность сбора данных с подключенных устройств, хранение считанных данных, отображение данных в виде графиков и таблиц, отображение устройств на карте, удаленное управление устройствами, аварийные уведомления по электронной почте и через Telegram, интеграция со SCADA-системами с помощью бесплатного OWEN OPC-сервера, открытый API для интеграции с другим ПО. Пользователь осуществляет доступ к сервису с помощью web-интерфейса или мобильного приложения. Web-версия сервиса доступна по адресу: <https://owencloud.ru>.

Для работы с сервисом OwenCloud нужна учетная запись – профиль, зарегистрированный в сервисе и ассоциированный с компанией или конкретным клиентом. При регистрации учетной записи автоматически создается главный пользователь, который может добавлять других пользователей и настраивать их права. Таким образом, у нескольких пользователей может быть доступ к одной учетной записи с разными наборами привилегий.

Для использования в облаке конкретного прибора (контроллера) его необходимо зарегистрировать. При этом для прибора генерируется идентификационный код, так называемый токен (CloudToken). При добавлении прибора в сервис для каждого типа задается индивидуальный период опроса. Окно регистрации прибора показано на рисунке 2.

The screenshot displays the OwenCloud web application interface. The top navigation bar includes the logo, a home icon, a notification bell with '0' (Аварии), and a map icon (Приборы на карте). The left sidebar contains links for 'Приборы', 'Шаблоны', 'Пользователи', and 'Профиль компании'. The main content area is titled 'Управление прибором: OWEN ПЛК 110' and features tabs for 'Общие', 'События', and 'Параметры'. Under the 'Общие' tab, there are sub-sections for 'Общие настройки' and 'Настройки расположения на карте'. The 'Общие настройки' section contains the following fields:

- Текущий идентификатор:** 6A:77:00:FF:B1:29
- Тип прибора:** ПЛК через Modbus TCP
- Новый идентификатор:** Введите какое-либо из следующих значений: заводской номер прибора, (with a text input field)
- Токен авторизации для ПЛК:** ZY1YZY0M (with a 'Сгенерировать новый' button)
- Заводской номер:** 54222180232054786
- Название прибора*:** OWEN ПЛК 110
- Категории:** plc110 (dropdown menu)
- Часовой пояс*:** GMT+3:00 (dropdown menu)

A note at the bottom states: 'Время на странице прибора будет смещаться в зависимости от часового пояса.'

Рис. 2. Регистрация прибора в облаке OwenCloud.

Приборы подключаются к сервису с помощью сетевого шлюза или через Ethernet по одному из поддерживаемых протоколов обмена. В лаборатории, как уже указывалось выше, используются контроллеры компании ОВЕН, которые программируются в пакете CoDeSys. Работа с контроллером в пакете начинается с конфигурирования, в рамках которой в том числе определяются сетевые протоколы. При конфигурировании канала работы в облаке в качестве интерфейса указывается, что работа будет вестись через облако (Cloud), а в параметрах интерфейса указывается полученный при регистрации данного прибора CloudToken (см. рис. 3).

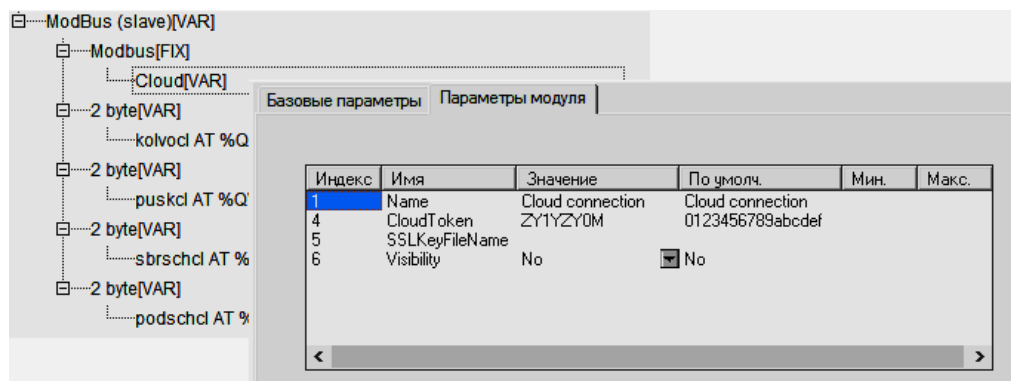


Рис. 3. Конфигурация канала для работы в OwenCloud.

Созданная для контроллера конфигурация экспортируется и загружается на сервис. После чего появляется возможность наблюдать текущие значения переменных (параметров управляемого процесса) в виде таблицы (рис. 4) или графика, записывать новые значения параметров.

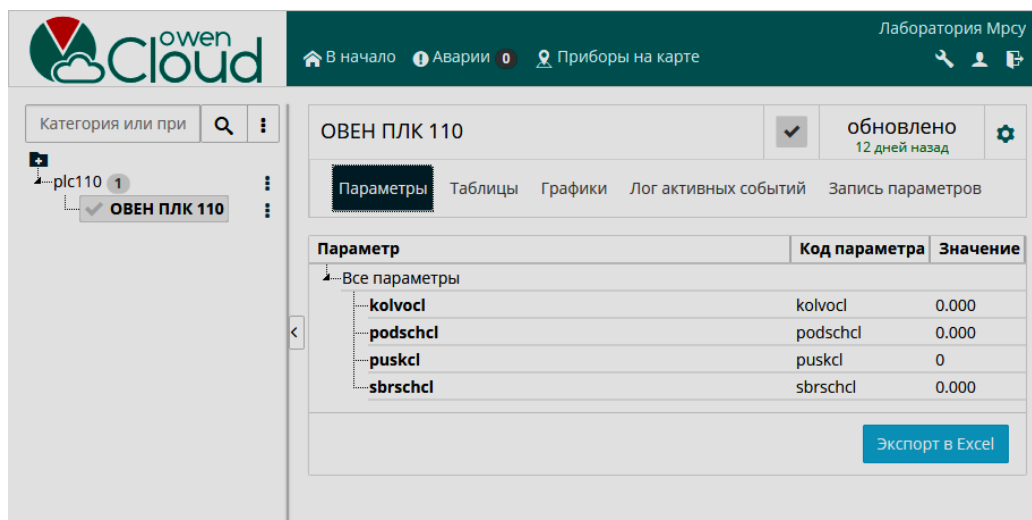


Рис. 4. Отображение текущих значений переменных в облачном сервисе.

Данные из OwenCloud могут передаваться в удаленную систему сбора и диспетчеризации, реализованную с помощью того или иного SCADA-пакета на любом компьютере, подключенном к интернету. Подключение SCADA-проекта к сервису OwenCloud осуществляется через OPC-сервер ОВЕН. Для подключения к облаку в OPC-сервере необходимо создать новый узел с протоколом обмена OwenCloud. При добавлении в узел устройства сервер потребует авторизации в облаке, а после этого предложит перечень Ваших приборов, зарегистрированных в сервисе, и параметров, доступных при работе с этим прибором.

Таким образом, учащиеся в лаборатории последовательно знакомятся с практикой применения новых информационных технологий при создании промышленных систем автоматизации. Можно надеяться, что полученные ими знания будут широко применяться на практике.

ЛИТЕРАТУРА

1. Шишов О. В. Программируемые контроллеры в системах промышленной автоматизации: учебник. – М.: ИНФРА-М, 2016. – 365 с.
2. Шишов О. В. Современные технологии промышленной автоматизации. – Саранск: Изд-во Мордов. ун-та, 2009. – 276 с.
3. Шишов О. В. Технические средства автоматизации и управления. – М.: ИНФРА-М, 2011. – 397 с.
4. Облачный сервис компании ОВЕН [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://owencloud.ru/>.

БАТЫРКАНОВ Ж. И., КАДЫРКУЛОВА К. К., МАМАТБЕКОВ И. М.
РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ШАГОВЫМИ ПРИВОДАМИ
ТРЕХЗВЕННОГО МАНИПУЛЯТОРА

Аннотация. Рассматривается проблема синтеза законов управления шаговыми электроприводами кинематических звеньев трехзвеного манипулятора по осуществлению движения по предписанной программе. Для синтеза искомых законов управления шаговыми приводами использована математическая модель шагового привода, где скорость шагового двигателя определяется исключительно количеством управляющих импульсов, подаваемых на шаговый двигатель за заданный отрезок времени. При синтезе законов управления предписанная программа движения задана в табличной форме.

Ключевые слова: шаговый двигатель, предписанная траектория, манипулятор, закон управления.

BATYRKANOV ZH. I., KADYRKULOVA K. K., MAMATBEKOV I. M.
DEVELOPMENT OF CONTROL SYSTEM
FOR STEPPER MOTOR THREE-LINK MANIPULATOR

Abstract. The article considers the synthesis of control laws for stepper electric drives of three-link manipulator's kinematic links for implementing motion according to the prescribed program. To synthesize the required control laws, a mathematical model of the stepper drive is used, where the speed of the stepper motor is determined solely by the number of control pulses delivered to the stepper motor for a given length of time. The prescribed program of motion is given in tabular form.

Keywords: stepper motor, prescribed trajectory, manipulator, control law.

Сегодня на промышленных предприятиях крайне востребованы автоматизированные системы, построенные на применении различных роботов и роботизированных комплексов. Актуальны также инновационные технологические решения, которые помогают наладить эффективный производственный процесс и в то же время минимизировать отрицательное воздействие производства на работников.

Все это способствовало внедрению на предприятия промышленных роботов, отличающихся высокой производительностью, не требующих времени на отдых, исключаящих ошибки в работе.

Любой промышленный робот состоит из трех подсистем: манипулятора; информационно-измерительной подсистемы; управляющей подсистемы. Существуют различные типы манипуляторов, которые характеризуются различной кинематической структурой. Кинематическая структура определяет степени подвижности и траекторию движения кинематических звеньев в пространстве.

В настоящее время в манипуляторах промышленных роботов в качестве привода для кинематических звеньев широко начинают использоваться электроприводы на шаговых двигателях.

В этой связи предлагаемый достаточно универсальный подход синтеза законов управления движением кинематических звеньев манипулятора по предписанным траекториям является актуальной практически значимой проблемой.

Рассмотрим трехзвенный манипулятор, кинематическая структура которого представлена на рисунке 1.

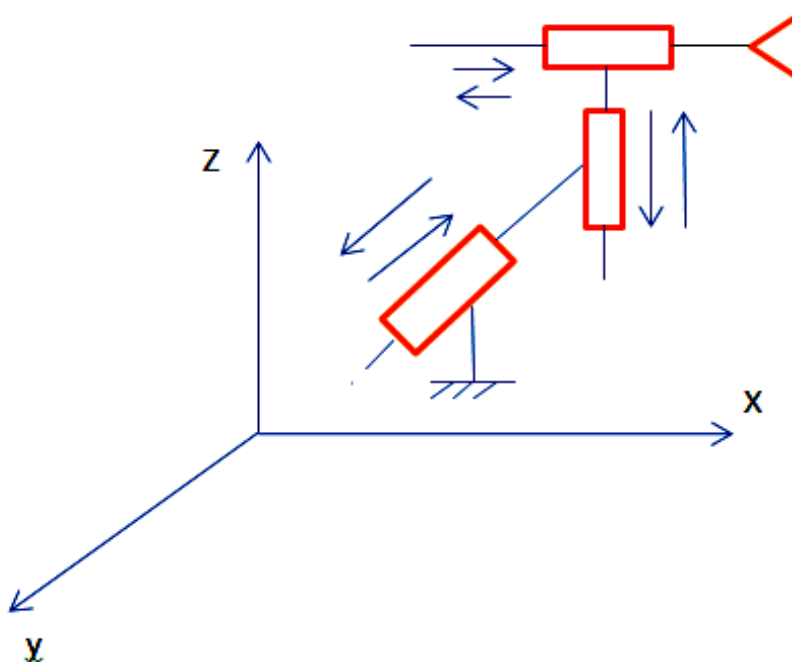


Рис. 1. Кинематическая структура трехзвенного манипулятора.

Каждое звено манипулятора приводится в движение своим шаговым электроприводом.

В работе решается задача осуществления движения рабочего органа манипулятора (захватного устройства) по заданной предписанной программе движения.

В общем случае, когда предписанную программу движения невозможно отобразить аналитически, остается единственным вариант отображения предписанной траектории движения в табличной форме, где траектория отображается через контрольные точки (с указанием их декартовых координат), проходимых в заданные дискретные моменты времени.

Далее используется математическая модель объекта управления (в нашем случае – трехшаговые приводы), в котором в явном виде связаны между собой декартовые координаты проходимых контрольных точек в дискретные моменты времени t_k , t_{k+1} с количеством управляющих импульсов, подаваемых на шаговые двигатели за заданный отрезок времени t_k , t_{k+1} .

Рассмотрим методику синтеза на следующем простом модельном примере.

Предписанная программа задана в табличной форме в виде таблицы 1. Геометрически предписанная траектория движения отображается в виде прохождения рабочего органа манипулятора по вершинам пирамиды (см. рис. 2).

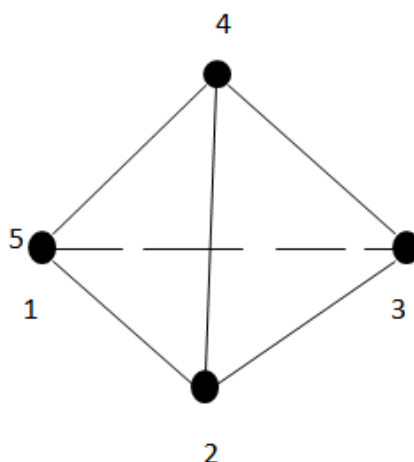


Рис. 2. Контрольные точки предписанной программы движения.

Движение начинается с вершины 1. Далее осуществляется переход к вершинам 2, 3, 4, 5.

Программа движения отображается в виде таблицы 1.

Таблица 1

Предписанная программа движения в табличной форме

t_k	$t_0=0$	$t_1=1$	$t_2=2$	$t_3=3$	$t_4=4$
X_k	0	$1 \div 2, 3, \dots$	$2, 3, 4, \dots$	$1.5; 1.6, \dots$	0
Y_k	0	$1 \div 2, 3, \dots$	$2, 3, 4, \dots$	$1.5; 1.6, \dots$	0
Z_k	0	0	0	$2, 3, \dots$	0

X_k, Y_k, Z_k – координаты рабочего органа по осям x, y, z в дискретный момент t_k .

Для синтеза искомых законов управления шаговыми приводами по осуществлению движения по предписанной программе заданной в табличной форме в виде табл.1, нами выведена [1] математическая модель дискретного движения трехшаговых приводов по осям X, Y, Z в виде системы (1)

$$\begin{cases} X_{k+1} = X_k + n_{kx} \cdot L_{\text{ш}x}; \\ Y_{k+1} = Y_k + n_{ky} \cdot L_{\text{ш}y}; \\ Z_{k+1} = Z_k + n_{kz} \cdot L_{\text{ш}z}. \end{cases} \quad (1)$$

где: X_k, Y_k, Z_k – координаты рабочего органа по осям x, y, z в дискретный момент t_k ;

$X_{k+1}, Y_{k+1}, Z_{k+1}$ – координаты к моменту времени t_{k+1} ;

$L_{\text{ш}x}, L_{\text{ш}y}, L_{\text{ш}z}$ – соответствующие величины линейных перемещений рабочего органа по осям x, y, z от действия одиночных импульсов;

n_{kx}, n_{ky}, n_{kz} – необходимое количество управляющих импульсов, подаваемых на отрезке времени $[t_k, t_{k+1}]$ на шаговые двигатели для осуществления движения по осям x, y, z .

Из (1) и таблицы 1 компьютер вычисляет необходимые количества импульсов по формулам:

$$\begin{cases} n_{kx} = \frac{X_{k+1} - X_k}{L_{\text{ш}x}}; \\ n_{ky} = \frac{Y_{k+1} - Y_k}{L_{\text{ш}y}}; \\ n_{kz} = \frac{Z_{k+1} - Z_k}{L_{\text{ш}z}}. \end{cases} \quad (2)$$

При выводе системы (1) учитывалось, что на вал роторов шаговых двигателей посажены зубчато-винтовые передаточные механизмы.

Компьютерное моделирование решаемой задачи осуществлено при помощи самостоятельно разработанных программ. Кроме того, использовался пакет MATLAB (см. рис. 3).

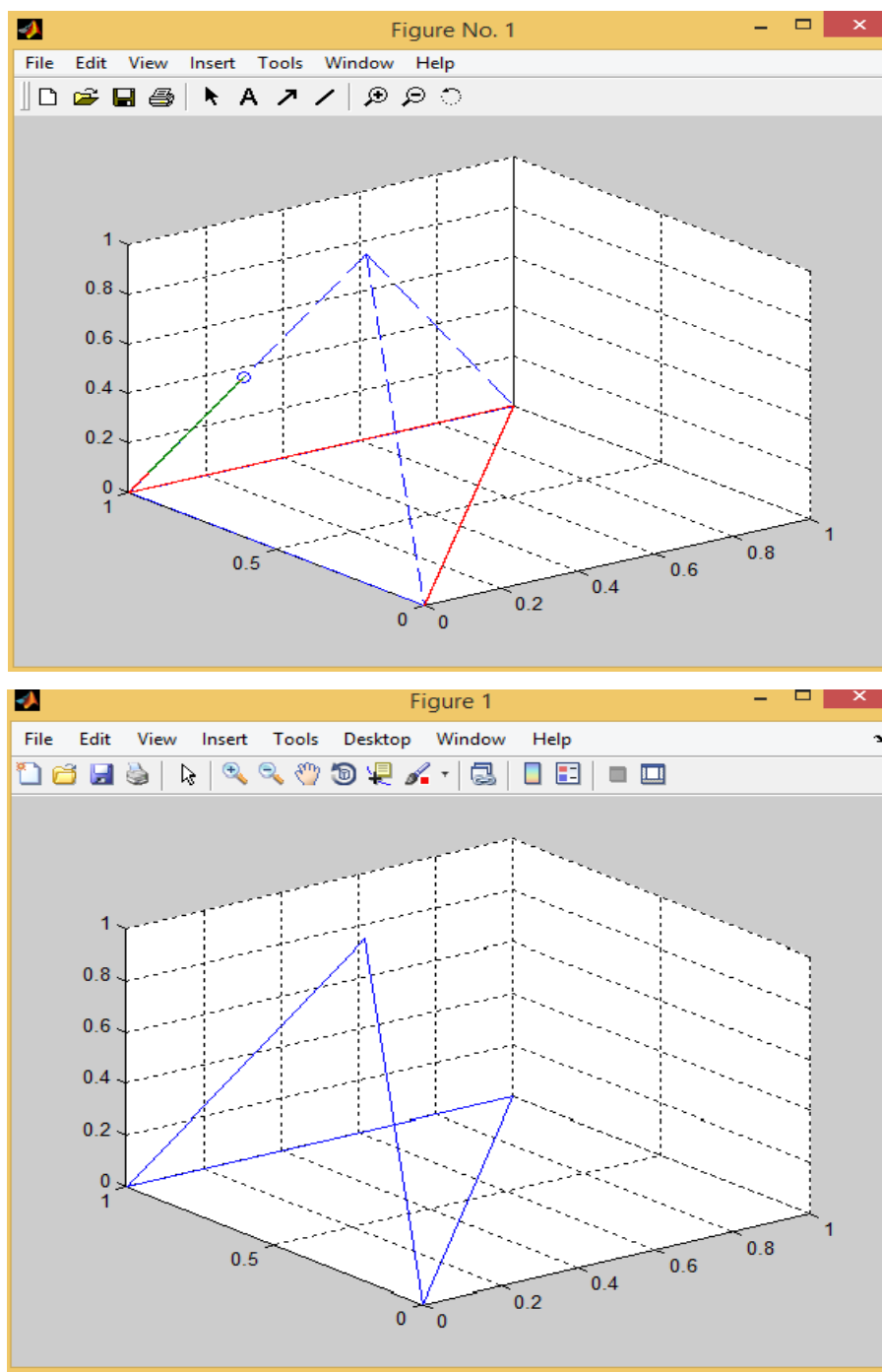


Рис. 3. Результаты компьютерного моделирования.

Результаты моделирования показывают, что движение действительно происходит по заданной предписанной программе.

ЛИТЕРАТУРА

1. Батырканов Ж. И., Кадыркулова К. К. Синтез законов управления для осуществления движения объекта по предписанной программе // Прикаспийский журнал: управление и высокие технологии. – 2015. – №1 (29). – С. 143–155.
2. Батырканов Ж. И., Кадыркулова К. К., Беялов Ш. А. Управление шаговым приводом 3d-принтера: математическая модель и вопросы технической реализации // Прикаспийский журнал: управление и высокие технологии. – 2016. – № 1 (33). – С. 128–138.
3. Батырканов Ж. И., Кадыркулова К. К. Синтез законов управления по осуществлению движения по предписанной программе // Вестник науки Костанайского социально-технического университета имени академика Зулхарной Алдамжар. – 2014. – № 3. – С. 40–46.

БАТЫРКАНОВ Ж. И., КУДАКЕЕВА Г. М.
ПРОБЛЕМЫ И ПОДХОДЫ К РАСПОЗНАВАНИЮ ОБЪЕКТОВ
В ЗАДАЧАХ ОБРАБОТКИ АЭРОКОСМИЧЕСКИХ СНИМКОВ

Аннотация. Стремительное развитие новых аэрокосмических технологий открыло новые возможности оперативного получения различной пространственно-временной информации методами дистанционного зондирования Земли с космических и воздушных летательных аппаратов. Это обстоятельство обуславливает интенсификацию использования данных дистанционного зондирования Земли для проведения ландшафтного мониторинга и оценки характеристик земной поверхности при решении задач управления сельским и лесным хозяйством, водными ресурсами, рационального природопользования, оценки экологического состояния территорий и др. В работе рассмотрены проблемы и подходы к решению задачи распознавания образов.

Ключевые слова: образ, объект, космические снимки, космический аппарат, алгоритм, спектральный канал, диапазон, зондирование.

BATYRKANOV ZH. I., KUDAKEEVA G. M.
PROBLEMS AND APPROACHES TO OBJECT RECOGNITION
IN TASKS OF AEROSPACE IMAGE PROCESSING

Abstract. The rapid development of new aerospace technologies has opened up new opportunities for the rapid acquisition of various space-time information by remote sensing of the Earth from space and airborne vehicles. This fact stipulates the intensification of the use of remote sensing data for landscape monitoring and assessment of the Earth surface for managing agriculture, forestry and water resources, smart use of natural resources, assessing ecological status of territories. The article considers the problems and the current approaches to object recognition.

Keywords: image, object, space images, spacecraft, algorithm, spectral channel, range, sensing.

При наблюдении Земли из космоса используют дистанционные методы, с помощью которых исследователь получает возможность на расстоянии (дистанционно) получать информацию об изучаемом объекте. Дистанционные методы, как правило, являются косвенными, т. е. измеряются не интересующие параметры объектов, а некоторые связанные с ними величины. Например, нас может интересовать состояние сельхозпосевов. Но аппаратура спутника регистрирует лишь интенсивность светового потока от этих объектов в нескольких участках оптического диапазона. Для того чтобы расшифровать

такие данные, требуются предварительные исследования, включающие в себя различные подспутниковые эксперименты: по изучению состояния растений контактными методами; по изучению отражательной способности листьев в различных участках спектра и при различном взаимном расположении источника света (Солнца), листьев и измерительного прибора.

К числу особенностей дистанционных методов относится влияние среды (атмосферы), через которую спутник наблюдает Землю. Самый простой пример такого влияния – наличие облачности, делающей невозможным наблюдения в оптическом диапазоне. Однако и при отсутствии облачности атмосфера ослабляет восходящее излучение от объекта, особенно в полосах поглощения составляющих ее газов. Поэтому приходится работать в так называемых окнах прозрачности, учитывая, что и в них есть поглощение и рассеяние излучения газами и аэрозолями. В радиодиапазоне возможно наблюдение Земли сквозь облачность.

В настоящее время в мире созданы и успешно эксплуатируются крупные национальные и межгосударственные космические системы исследования Земли, такие как NOAA, Landsat (США), Spot (Франция), «Ресурс-01», «Метеор-3М» (Россия) и др. Они позволяют выполнить съемку территорий в видимом, инфракрасном и радиолокационном диапазонах спектра с пространственным разрешением от 1 км до 10–30 м.

При дистанционном зондировании Земли из космоса используется оптический диапазон электромагнитных волн и микроволновый участок радиодиапазона. На рисунке 1 представлен оптический диапазон, включающий в себя ультрафиолетовый (УФ) участок спектра, видимый участок – синяя полоса (В), зеленая (G), красная (R); инфракрасный участок (ИК) – ближний ИК (БИК), средний ИК и тепловой ИК, а также его место в спектре электромагнитных волн.

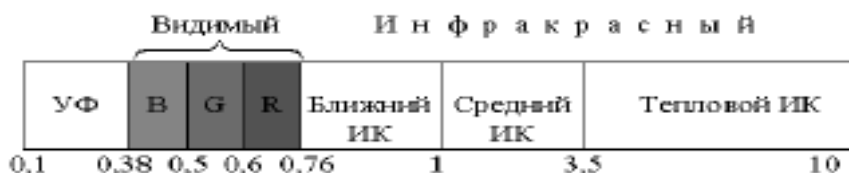


Рис. 1. Оптический диапазон электромагнитных волн.

Задача распознавания чрезвычайных ситуаций с использованием спутниковых снимков земной поверхности в общих чертах заключается в разбиении снимка на участки и выявлении на каждом из них условий, соответствующих наличию катаклизма на

обрабатываемом участке. Для разных катаклизмов должны проходить проверку разные признаки. Например, для выявления очагов пожаров признаками для проверки являются наличие шлейфа от дыма, изменение яркости на снимке и др.

На качество аэрокосмических снимков большое вредное влияние оказывает загрязненность атмосферного слоя, наличие облачности, различных аэрозолей, а также влияние озонового слоя. Для устранения вышеназванных вредных влияний аэрофотосъемка производится в различных спектральных диапазонах.

Космические снимки – собирательное название данных, получаемых посредством космических аппаратов в различных диапазонах электромагнитного спектра, визуализируемых затем по определенному алгоритму.

Спутник Landsat 8 получает данные, используя два набора инструментов: Operational Land Imager (OLI) и Thermal InfraRed Sensor (TIRS). Первый набор получает изображения в девяти диапазонах видимого света и ближнего инфракрасного излучения (ИК), второй набор – в двух диапазонах дальнего (теплого) ИК (таблица 1).

Диапазон 1 чувствителен к темно-синим и фиолетовым цветам. Синий цвет трудно различать из космоса, так как он хорошо рассеивается на пыли и частичках воды в воздухе, а также на самих молекулах воздуха.

Диапазоны 2, 3 и 4 представляют собой видимые синий, зеленый и красный спектры.

Диапазон 5 измеряет ближний инфракрасный спектр. Эта часть спектра особенно важна для экологов, поскольку вода в листьях здоровых растений отражает ее. Сравнивая с изображениями других диапазонов, получают индексы вроде NDVI (Normalized Difference Vegetation Index – нормализованный относительный индекс растительности – простой количественный показатель количества фотосинтетически активной биомассы), которые позволяют точно измерять степень здоровья растений.

Диапазоны 6 и 7 покрывают разные участки коротковолнового ИК. Они позволяют отличать сухую землю от влажной, а также скалы и почвы, которые выглядят похоже в других диапазонах, но отличаются в ИК.

Диапазон 8 – панхроматический. Он воспринимает больше света и дает самую четкую картинку среди всех диапазонов. Его разрешение составляет 15 метров.

Диапазон 9 – это одна из самых интересных особенностей Landsat 8. Он покрывает очень узкую полосу длин волн – 1370 ± 10 нанометров. Немногие из космических инструментов регистрируют эту область спектра, поскольку она почти полностью поглощается атмосферой. Landsat 8 использует это как преимущество. Поскольку Земля в этом диапазоне едва различима, значит все, что в нем ярко видно, либо отражается очень хорошо, либо находится вне атмосферы. В Диапазоне 9 видны только облака, которые

представляют реальную проблему для спутниковых снимков, так как из-за размытых краев плохо различимы в обычных диапазонах, а снимки, сделанные сквозь них, могут иметь расхождения с другими. С помощью Диапазона 9 это легко отследить.

Диапазоны 10 и 11 – это тепловое ИК. Вместо измерения температуры воздуха, как это делают погодные станции, они измеряют температуру поверхности.

Таблица 1

Характеристика спектральных диапазонов спутника Landsat 8

Спектральный канал	Длины волн	Разрешение (размер 1 пикселя)
Диапазоны OLI		
Канал 1 – Побережья и аэрозоли	0,433–0,453 мкм	30 м
Канал 2 – Синий	0,450–0,515 мкм	30 м
Канал 3 – Зеленый	0,525–0,600 мкм	30 м
Канал 4 – Красный	0,630–0,680 мкм	30 м
Канал 5 – Ближний ИК	0,845–0,885 мкм	30 м
Канал 6 – Ближний ИК	1,560–1,660 мкм	30 м
Канал 7 – Ближний ИК	2,100–2,300 мкм	30 м
Канал 8 – Панхроматический	0,500–0,680 мкм	15 м
Канал 9 – Перистые облака	1,360–1,390 мкм	30 м
Диапазоны TIRS		
Канал 10 – Дальний ИК	10,30–11,30 мкм	100 м
Канал 11 – Дальний ИК	11,50–12,50 мкм	100 м

Ниже приводятся примеры использования комбинаций данных каналов Landsat (LDCM) и работа в программе для наложения спектральных снимков.

Комбинация 3, 2, 1 (в Landsat – 5, 7) и комбинация 4, 3, 2 (в Landsat – 8) – комбинация «естественные цвета». В этой комбинации используются каналы видимого диапазона, поэтому объекты земной поверхности выглядят похожими на то, как они воспринимаются человеческим глазом. Здоровая растительность выглядит зеленой,

убранные поля – светлыми, нездоровая растительность – коричневой и желтой, дороги – серыми, береговые линии – белесыми. Эта комбинация каналов дает возможность анализировать состояние водных объектов и процессы седиментации, оценивать глубины. Также используется для изучения антропогенных объектов. Вырубки и разреженная растительность детектируются плохо, в отличие от комбинации 4, 5, 1 или 4, 3, 2. Облака и снег выглядят одинаково белыми и трудноразличимы. Кроме того, трудно отделить один тип растительности от другого. Эта комбинация не позволяет отличить мелководье от почв, в отличие от комбинации 7, 5, 3.

Нами предлагается программа наложения снимков по комбинации 3, 2, 1 (в Landsat – 5, 7) и по комбинации 4, 3, 2 (в Landsat – 8). На рисунке 2 представлено меню программы наложения снимков и результат (состояние после завершения работы с комбинацией 5, 7, 4).

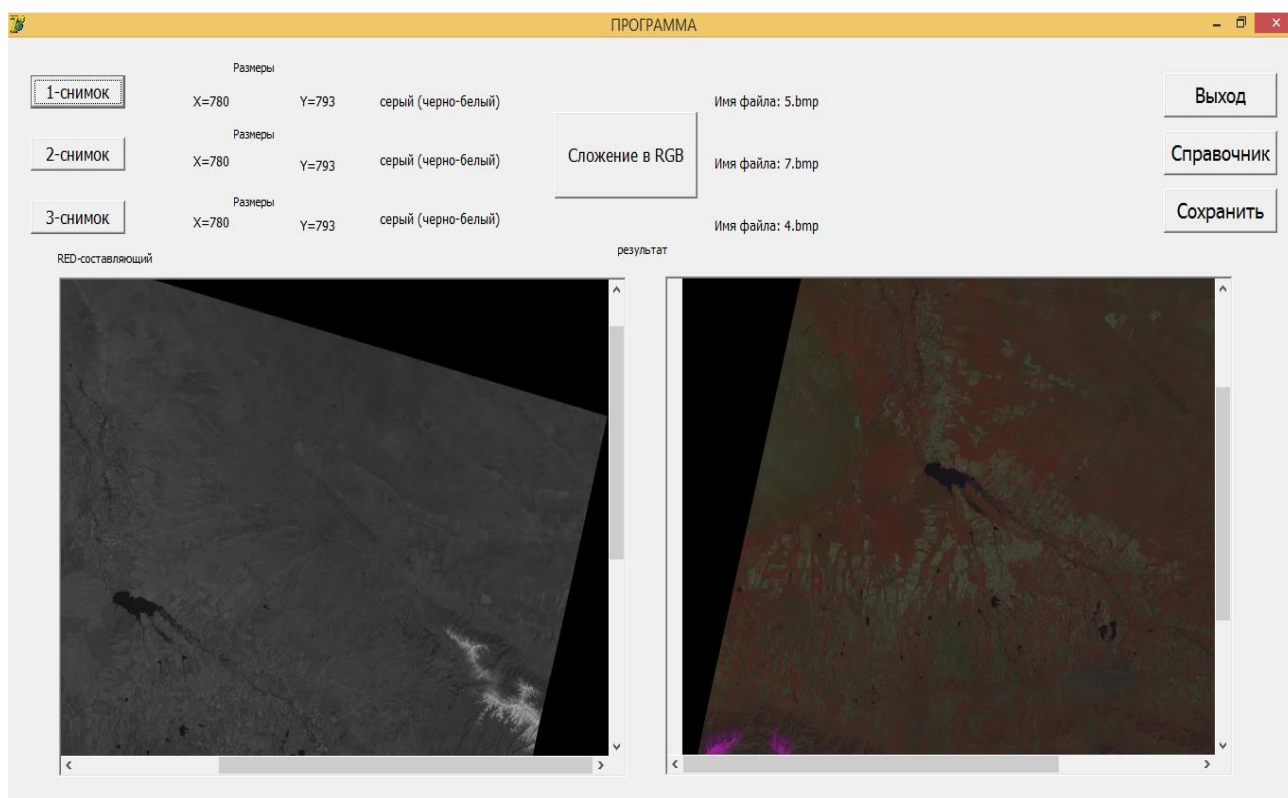


Рис. 2. Наложение снимков.

На рисунке 3 в качестве примера представлены снимки города Бишкек в естественных цветах с комбинацией 4, 3, 2.

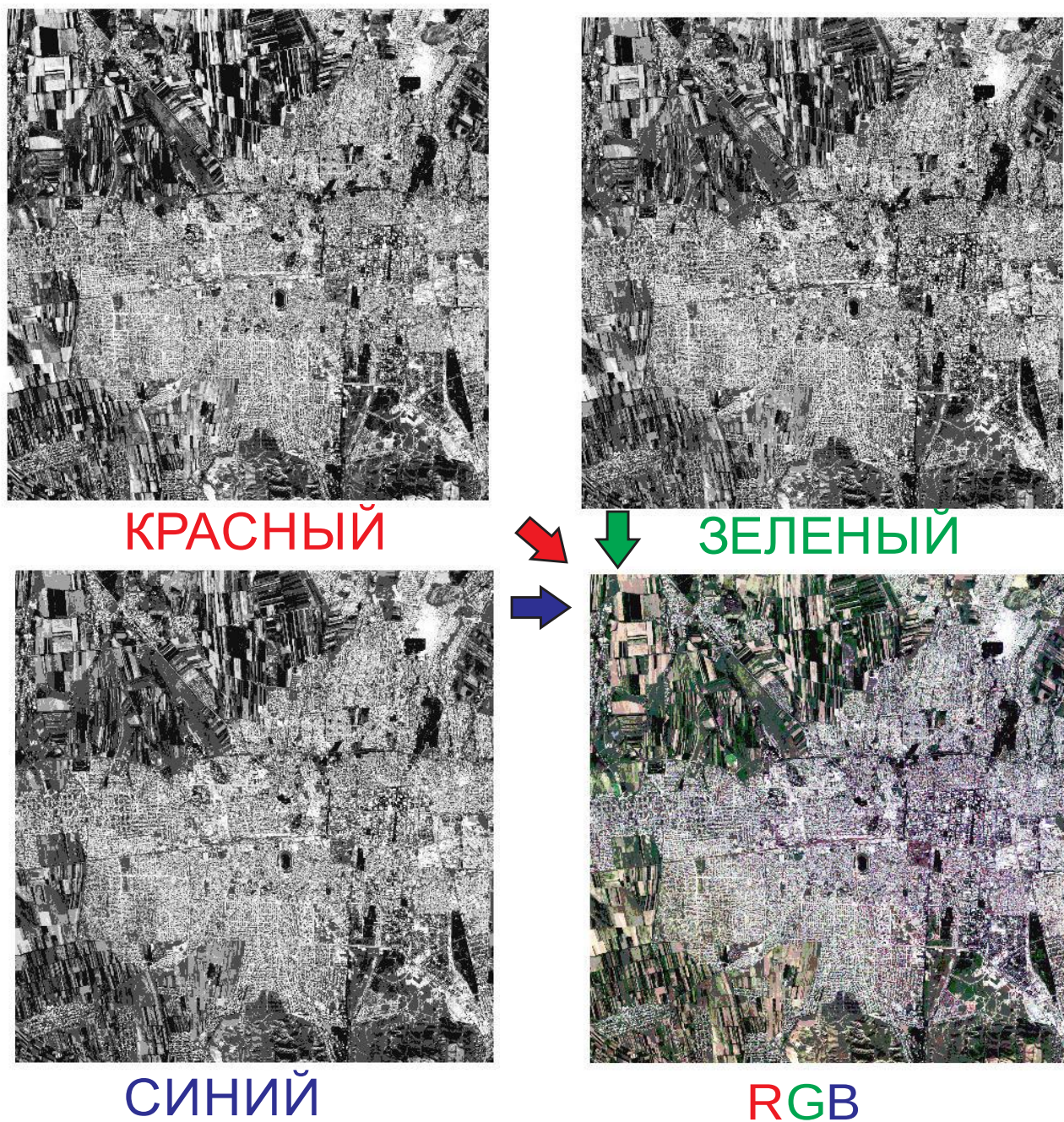


Рис. 3. Результат наложения снимков г. Бишкек.

Результаты исследований будут применяться МЧС и Минсельхозом Кыргызстана, где начинаются работы по применению аэрофотоснимков для мониторинга возникновения природных и техногенных катастрофических явлений и состояния растительной поверхности территорий республики.

ЛИТЕРАТУРА

1. Кронберг П. Дистанционное изучение Земли / пер. с нем. – М.: Мир, 1988. – 343 с.
2. Алексеев А. С., Пяткин В. П., Дементьев В. Н. и др. Автоматизированная обработка изображений природных комплексов Сибири. – Новосибирск: Наука, 1988. – 222 с.
3. Atlas of Remote Sensing for World Heritage / ed. Guo Huadong. – Beijing: Springer, 2012. – 330 p.
4. Chandra A. M., Goush S. K. Remote Sensing and Geographical Information System. – New Delhi: Narosa Publishing House, 2006. – 308 p.
5. Злобин В. К., Еремеев В. В. Обработка аэрокосмических изображений. – М.: Наука, 2006. – 304 с.
6. Кашенко Н. А., Попов Е. В., Чечин А. В. Геоинформационные системы: учебное пособие для вузов. – Н. Новгород: ННГАСУ, 2012. – 130 с.
7. Ципилева Т. А. Геоинформационные системы. Учебное пособие. – Томск: Изд-во ТУСУР, 2010. – 120 с.
8. Шевченко О. Ю., Гейдор В. С. Геоинформационные системы: учебное пособие. – Ростов-на-Дону: РСГУ, 2013. – 196 с.
9. Саак А. Э., Пахомов Е. В., Тюшняков В. Н. Информационные технологии управления: учебник для вузов. – СПб.: Питер, 2012. – 320 с.
10. Ананьев Ю. С. Геоинформационные системы: учебное пособие. – Томск: Изд-во ТПУ, 2003. – 70 с.
11. Злобин В. К., Еремеев В. В., Кузнецов А. Е. Обработка изображений в геоинформационных системах. – Рязань: Изд-во РГРТУ, 2008. – 264 с.

МАМБЕТИСАЕВ С. Н., ТЕКЕБАЕВ Н. Т., КОШОЕВА Б. Б
РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ АВТОМАТИЗАЦИИ
ИЗМЕРЕНИЯ УРОВНЯ ВОДЫ НА ГИДРОЛОГИЧЕСКОМ ПОСТУ
С ВОЗМОЖНОСТЬЮ МОНИТОРИНГА ДАННЫХ В ОБЛАЧНОМ СЕРВИСЕ

Аннотация. На данный момент существует проблема с измерениями гидрологических характеристик на гидропостах в Кыргызстане. В связи с этим происходят сели, наводнения, неправильное распределение водных ресурсов. Измерения проводятся специальными работниками, что приводит к погрешностям из-за использования старых методов и человеческого фактора. В статье рассматривается задача по автоматизации измерения уровня воды на гидрологическом посту «Аламедин» и отправке данных на облачный сервис Owencloud.

Ключевые слова: гидрологический пост, уровень воды, программируемый логический контроллер, поплавковый датчик уровня, Owencloud.

MAMBETISAEV S. N., TEKEBAEV N. T., KOSHOEVA B. B.
DEVELOPMENT OF AUTOMATION SYSTEM FOR
WATER LEVEL MEASUREMENTS ON HYDROLOGICAL STATION
WITH OPPORTUNITY OF MONITORING DATA IN CLOUD SERVICE

Abstract. Currently, there is a problem with the measurements of hydrological characteristics at hydrological stations in Kyrgyzstan. Consequently, mudslides, floods, improper distribution of water resources occur. At the moment the measurements are carried out by special workers, which leads to inaccuracies due to the use of outdated methods and the human factor. The article considers the problem of automation of water level measurements at the hydrological station "Alamedin" and sending data on Owencloud.

Keywords: hydrological station, water level, programmable logic controller, float level sensor, Owencloud.

Кыргызская Республика располагает значительными запасами водных ресурсов. Общий объем имеющихся запасов воды в Кыргызстане составляет по оценкам 2 458 км³, включая 650 км³ воды (26,4%), хранящейся в ледниках, 1 745 км³ – в озерах (71%), а также 13 км³ потенциальных запасов подземных вод (0,5%) и от 44,5 до 51,9 км³ среднегодового речного стока (2%) (см. рис. 1). Общий годовой объем возобновляемых водных ресурсов оценивается в 46,5 км³ [4].



Рис. 1. Водные ресурсы Кыргызстана.

Несмотря на обилие водных ресурсов Кыргызская Республика сталкивается с целым рядом вызовов и проблем в области управления водными ресурсами, которые должным образом не решаются существующими ведомствами и организациями с помощью имеющихся экономических инструментов, или не могут быть решены за счет имеющихся у отрасли доходов. К примеру, за 2014 г. было потеряно 2 млрд. м³ воды при транспортировке, что составляет почти 11 млрд сомов [1].

На данный момент измерения уровня воды производятся на всех типах гидрометрических постов при помощи стандартных гидротехнических уровнемерных реек (РУГ) различной длины. Все гидропосты оборудованы береговыми успокоительными нишами или колодцами для исключения влияния колебания воды при снятии показаний с гидротехнической рейки (см. рис. 2).

Цена деления измерительной рейки на данном гидропосту 3,33 см, следовательно, погрешность данного прибора составляет примерно 1,65 см. Рассчитаем количество воды, которое не учтено за счет этой погрешности в реке шириной 10 м и средней скоростью течения 1 м/с:

$$Q = A \times v_{\text{ср}},$$

где Q – расход воды, A – площадь поперечного сечения, заполненного водой,

$v_{\text{ср}}$ – средняя скорость течения реки.

Подставив наши значения в формулу, получим значение расхода равным 0,1666 м³/с или 166,6 л/с. Примерно такой объем воды остается неучтенным только из-за устаревших методов измерения уровня воды.



Рис. 2. Успокоительный колодец на гидропосту «Аламедин».

В итоге спроектирована новая автоматизированная система измерения уровня воды, которая состоит из оборудования компании «ОВЕН», а именно программируемого логического контроллера ОВЕН ПЛК110, модуля аналогового входа МВ110-224.8А, поплавкового датчика уровня ОВЕН ПДУ-И, сетевого шлюза ПМ210 для доступа к облачному сервису Owencloud. Данный облачный сервис предоставляется российской компанией ОВЕН и позволяет легко подключить к нему приборы, выпускаемые этой компанией, и получить возможность контролировать и управлять ими в любое время из любого места.

Река Аламедин является горной рекой, характеризуется бурным течением, высоким падением и уклоном. Измерение гидрологических характеристик необходимо для прогнозирования и предотвращения неблагоприятных гидрометеорологических явлений, которые при достижении определенных значений (или при появлении) могут нарушать производственную деятельность отраслей народного хозяйства и вызывать материальный ущерб, но по своей интенсивности, продолжительности и площади распространения, они не превышают критериев опасных гидрометеорологических явлений. Новая система позволит рационально использовать водные ресурсы. Автоматизация измерений гидрологических характеристик позволит предотвратить все вышеперечисленные проблемы.

Гидропост «Аламедин» представляет собой небольшое кирпичное строение с успокоительным колодцем, в котором и будет измеряться уровень воды.

Все подобранное оборудование будет собрано в щит по следующей схеме, представленной на рисунке 3.

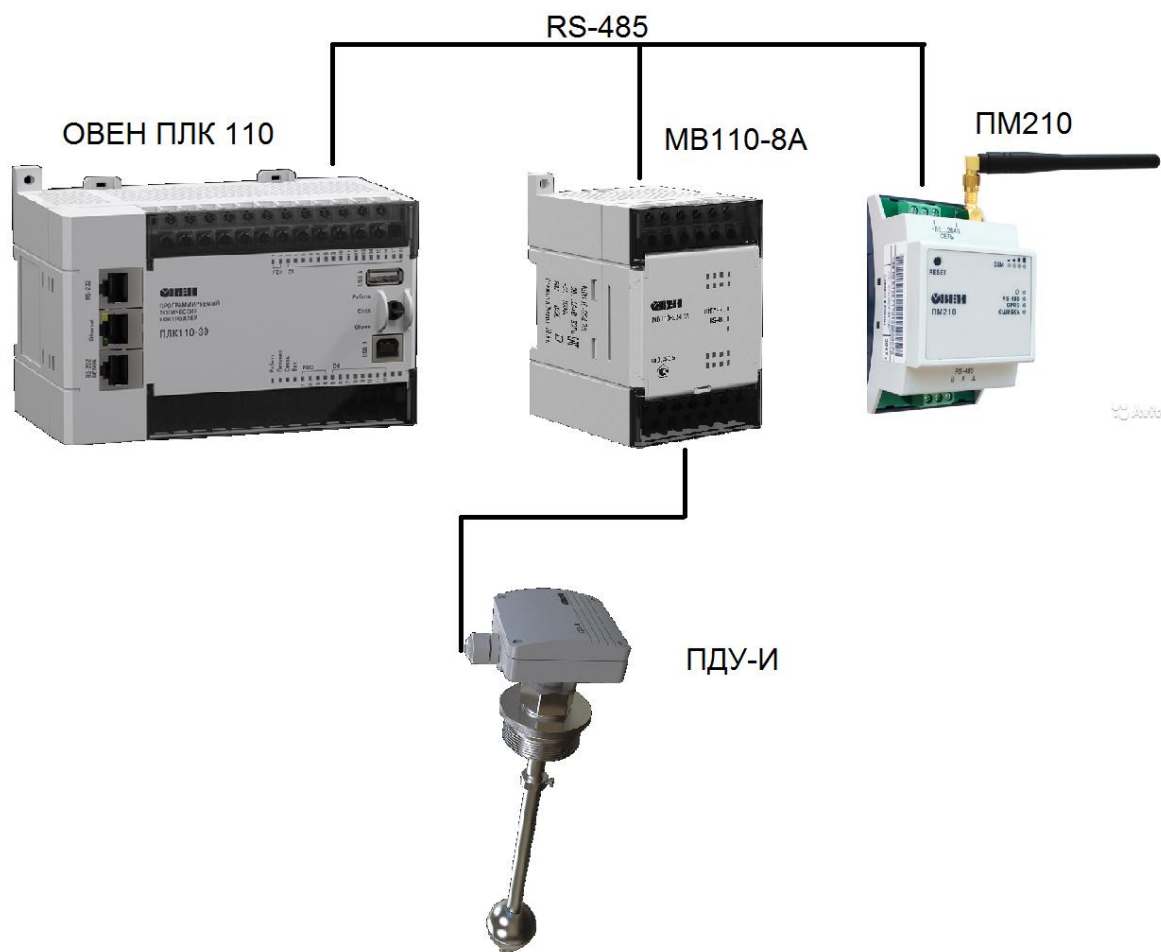


Рис. 3. Схема подключения оборудования в системе автоматизации измерения уровня воды.

Настройка модуля ввода аналогового осуществляется с помощью программы Конфигуратор Mx110. Программа на контроллер разработана с использованием платформы CoDeSys v2.3.

На данный момент измерения уровня воды по правилам Гидромета осуществляются ежедневно два раза в день в 8 и в 20 часов. Базы данных ведутся на бумаге в специальных дневниках. Новая автоматизированная система гидропоста позволит работникам Гидромета получать базу данных в виде таблицы с указанием времени и значения уровня в облачном сервисе и экспортировать ее в Excel (см. рис. 4). Также, используя Owencloud, можно получать графики и скачивать их в форматах JPEG, PNG, PDF (см. рис. 5), увидеть на карте расположение объекта (рисунок 6). В режиме реального времени на учетную запись Owencloud и на электронную почту передаются аварийные оповещения о критическом уровне воды. Все вышеперечисленное дублируется на мобильное приложение.

Гидропост Аламедин Киргизия, Бишкек, проспект Чингиза Айтматова, 66						☒	обновлено 7 дней назад	
Параметры Таблицы Графики Лог активных событий Запись параметров								
С	17-05-2018	00	:	00	:	00	20	Обновить
								Настройки
#	Дата/Время					Уровень воды (level_cloud)		
1	17-05-2018 08:42:13					59.174		
2	17-05-2018 08:42:28					59.174		
3	17-05-2018 08:42:43					96.728		
4	17-05-2018 08:42:58					96.728		
5	17-05-2018 08:43:13					96.719		

Рис. 4. Отображение значений уровня воды в учетной записи Owencloud в виде таблицы.

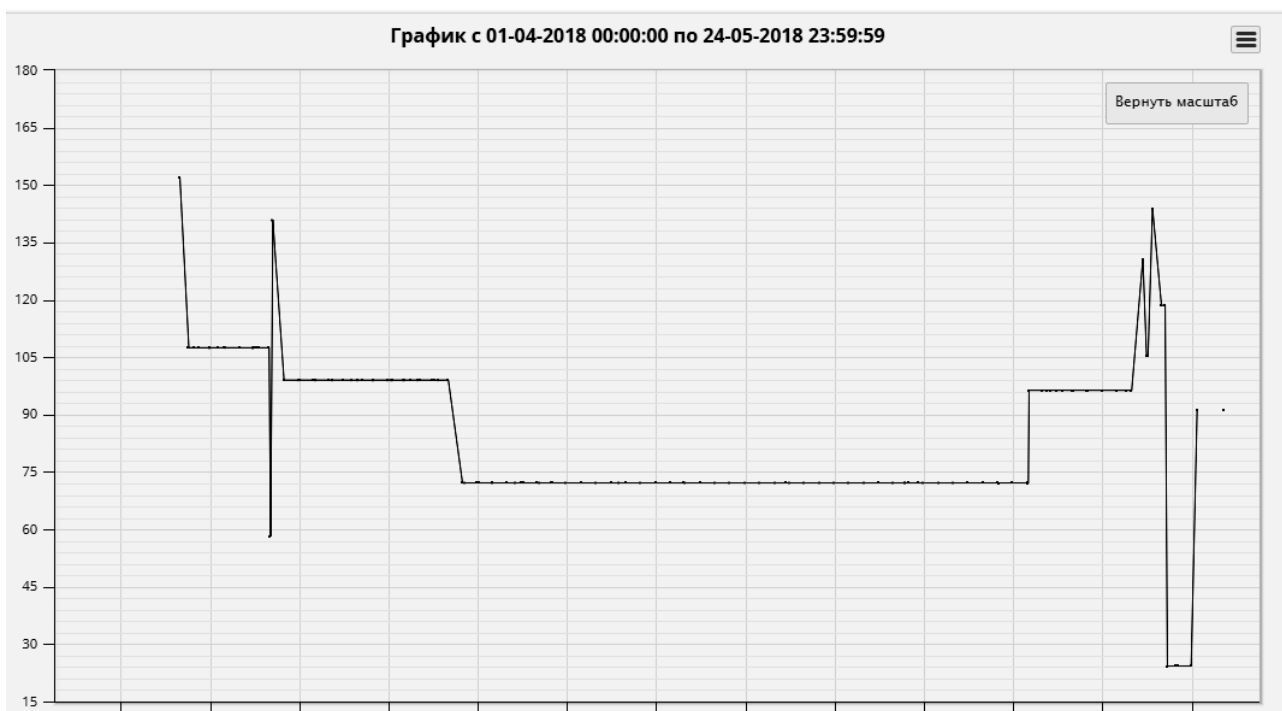




Рис. 6. Размещение гидропоста на карте.

Спроектированный гидропост поможет сотрудникам производить правильные расчёты для распределения водных ресурсов, более точно прогнозировать колебания уровня воды, оперативно реагировать на стремительное повышение уровня воды и избежать наводнений. В дальнейшем для сбора данных об измерениях в единую базу данных планируется все гидрологические посты республики автоматизировать с использованием облачного сервиса.

ЛИТЕРАТУРА

1. Агентство по гидрометеорологии при МЧС КР. Инструкция Гидрометеорологическим станциям и постам по информации о неблагоприятных гидрометеорологических явлениях. – Бишкек, 2015. – 28 с.
2. Масумов Р. Р. Методы измерения расхода воды на реках и каналах, в напорных трубопроводах насосных станций и оросительных систем. – Ташкент, 2015. – 149 с.
3. Мясников В. И., Лобачев П. В., Лойцкер О. Д. Совершенствование систем измерения расхода воды // Водоснабжение и санитарная техника. – 1996. – № 3. – С. 2–3.
4. Аналитика. АКИ-press [Электронный ресурс]. – Режим доступа <http://analitika.akipress.org/news:5104>.

ДЖОЛДОШОВ Б. О., ТЕМИРКУЛОВА Н. Т., ТЕРЕНТЬЕВА Е. Ю.
СТРУКТУРНЫЙ СИНТЕЗ УСТРОЙСТВА УПРАВЛЕНИЯ РЕЗЕРВУАРАМИ

Аннотация. В статье ставится задача синтеза системы управления при заданных инженерных требованиях к основным характеристикам системы. Оценка качества процессов управления объектами осуществляется с помощью функциональных соотношений, определяемых непосредственно по переходным процессам рассматриваемой системы.

Ключевые слова: конические резервуары, метод синтеза, система автоматического управления (САУ), устройство управления.

DZHOLDOSHOV B. O., TEMIRKULOVA N. T., THERENTIEVA E. YU.
STRUCTURAL SYNTHESIS OF CONTROL DEVICE FOR TANKS

Abstract. The aim of the article is to investigate the methods of synthesis of the control system that meets the basic engineering requirements to the main characteristics of the control system. Quality assessment of the processes of object management is carried out by using of functional relationships determined directly by the transient processes of the system under consideration.

Keywords: conical tanks, synthesis method, automatic control system, control device.

Необходимость применения резервуаров и резервуарных парков возникает на различных объектах хранения нефти и нефтепродуктов в процессе технологических операций. Резервуары и резервуарные парки являются технологическим объектами различных нефтеперекачивающих станций.

Существуют перекачивающие и промежуточные станции. На промежуточных станциях резервуары являются буферными емкостями и предназначаются для компенсации неравномерности подачи двух соседних перекачивающих станций. На перекачивающих станциях резервуарные парки предназначаются для хранения (резерва) нефти и нефтепродуктов. При некоторых плановых или аварийных остановках одной из промежуточных станций транспортируемая жидкость поступает в резервуарный парк этой станции, а следующая станция продолжает работать за счет нефти и нефтепродукта, имеющегося в ее резервуарном парке.

Резервуарный парк имеет конические виды резервуаров и является объектом со сложнейшей структурой. Управление таким резервуарным парком является интересным как в теоретическом плане, так и в практическом.

Рассмотрим задачу синтеза системы управления расходом смеси химического объекта (рис. 1), состоящего из трех конических резервуаров со свободным истечением жидкости из общего трубопровода, соединяющего выходы резервуаров [1; 2]. В резервуары жидкости поступают по двум каналам питания, при этом одна жидкость подается в первый и второй, а другая – в первый и третий резервуары. Управление уровнями жидкостей во втором и третьем резервуарах производится изменением потока жидкостей по первому (u_1) и второму (u_2) питающим трубопроводам. Расход жидкостной смеси на выходе определяется уровнем жидкости во втором резервуаре.

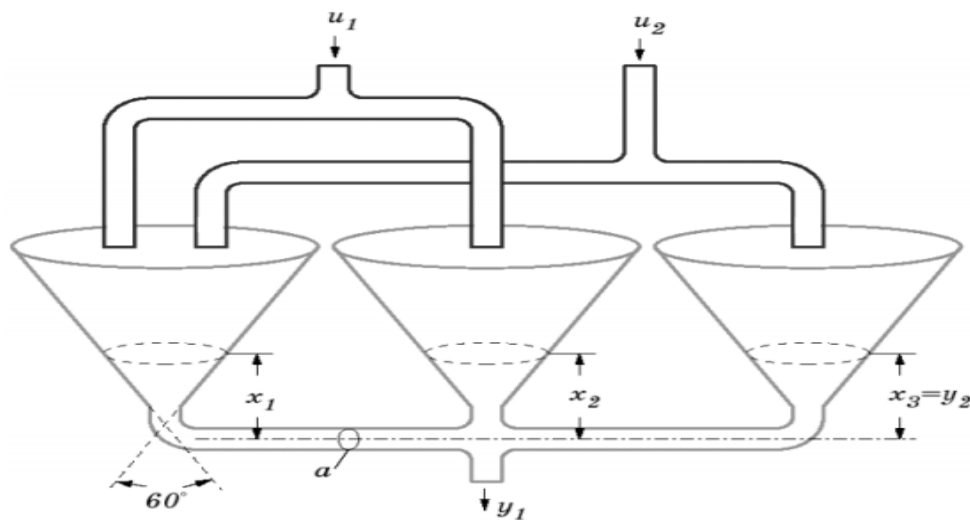


Рис. 1. Функциональная схема объекта управления.

Состояние объекта управления в пространстве фазовых переменных описывается следующим обыкновенным нелинейным уравнением

$$\begin{cases} \dot{x}_1(t) = -\frac{3a}{\pi x_1^2} f(x_1 - x_2) + \frac{3a}{2\pi x_1^2} (u_1 + u_2); \\ \dot{x}_2(t) = \frac{3a}{\pi x_2^2} [f(x_1 - x_2) - f(x_2 - x_3) - f(x_2)] + \frac{3a}{2\pi x_2^2} u_1; \\ \dot{x}_3(t) = \frac{3a}{\pi x_3^2} f(x_2 - x_3) + \frac{3a}{2\pi x_3^2} u_2; \end{cases} \quad (1)$$

где $f(x_i - x_j) = \sqrt{2g |x_i - x_{i+1}|} \text{sign}(x_i - x_{i+1})$; x_1, x_2, x_3 – соответственно уровни жидкостей в первом, втором и третьем резервуарах, $y_1 = a\sqrt{2gx_2}$ – расход жидкости на выходе объекта.

Требуется определить законы управления u_1 и u_2 , обеспечивающие заданные уровни жидкостей во втором и третьем резервуарах и, следовательно, заданный расход жидкости на выходе, т.е.

$$x_2 = x_{2r} = \frac{y_{1r}^2}{2ga^2}; \quad x_3 = x_{3r} = y_{1r}; \quad x_{1r} = 1,25x_{2r}; \quad (2)$$

В установившемся режиме, согласно (1), выполняются следующие соотношения [1; 2]:

$$f(x_{1r} - x_{2r}) = 0,5f(x_{2r}), \quad af(x_{2r}) = u_{1r} + u_{2r} = y_{1r}, \quad af(x_{2r} - x_{3r}) = -0,5u_{2r}. \quad (3)$$

По заданному x_{2r} (2) из (3) можно найти x_{1r} – уровень жидкости в первом резервуаре в установившемся режиме работы объекта. Отличительной особенностью объекта (1) является присутствие управлений u_1 и u_2 во всех строках правых частей дифференциальных уравнений. Согласно [1], управление u_1 и u_2 всегда можно синтезировать так, чтобы обязательно обеспечить требуемые соотношения (2).

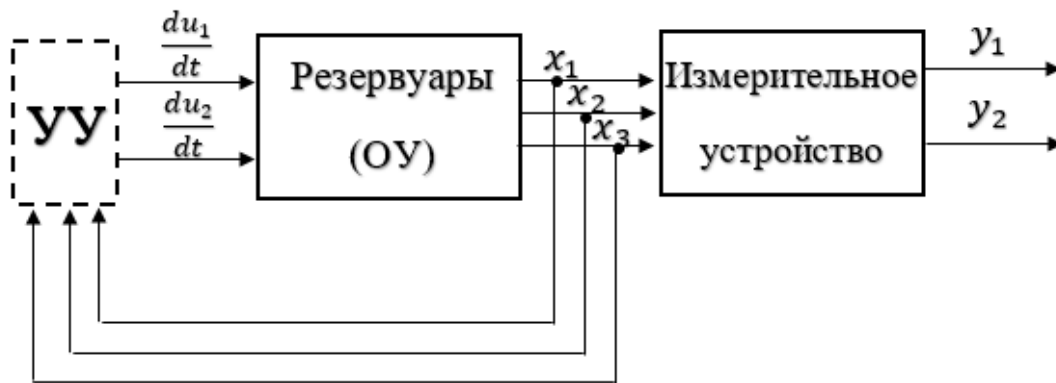


Рис. 2. Структурная схема САУ.

Рассмотрим нелинейный многомерный объект управления, состояния которого описывается следующим нелинейным векторным дифференциальным уравнением [3]:

$$\dot{x}_i(t) = f_i[x(t), u(t), \xi(t), t], \quad x_i(t_0) = x_i^0, \quad i = \overline{1, n}, \quad t \in [t_0, t_k], \quad (4)$$

где: $x(t) = [x_1(t), x_2(t), \dots, x_n(t)]^T$ – вектор переменных состояния или вектор фазовых координат объекта управления; $u(t) = [u_1(t), u_2(t), \dots, u_m(t)]^T$ – вектор управления (управляющих или регулирующих воздействий); $f(x, u) = f(x, u, \xi, t) = [f_1(x, u, \xi, t), f_2(x, u, \xi, t), \dots, f_n(x, u, \xi, t)]^T$ – n -мерная вектор-функция, удовлетворяющая условиям Коши; $\xi(t) = [\xi_1(t), \xi_2(t), \dots, \xi_r(t)]^T$ – вектор возмущающих воздействий.

Будем считать, что объект (4) является полностью управляемым и необходимо стабилизировать его нулевое состояние. Основными показателями качества регулирования будем считать динамическую и статическую точность, а также быстродействие системы

управления. Обозначим через граничные положительные функции $\sigma_i(t)$, с помощью которых задаются границы допустимых областей. Переходные процессы по ошибке управления (невязки) $e_i(t)$ определяют предъявляемые требования к качеству процессов управления синтезируемой системы. Степень достижения цели управления или регулирования $g_i(t)$ характеризуется вектором невязки

$$e(t) = g(t) - x(t). \quad (5)$$

Математическое описание такого инженерного критерия можно задавать на основе следующих модульных неравенств:

$$|x_i(t)| = |e(t)| \leq \sigma_i(t), \quad t \in [t_0, t_k], \quad i = \overline{1, n}, \quad (6)$$

где $\sigma_i(t)$ — положительные, непрерывно-дифференцируемые функции, определяющие точность и быстродействие проектируемой автоматической системы.

Задача управления формулируется таким образом: для управляемого или регулируемого объекта, состояния которого описываются векторным нелинейным дифференциальным уравнением (1), необходимо определить структуру и параметры автоматического регулятора, обеспечивающего выполнение точности и быстродействия проектируемой системы, т.е. качества процесса управления.

Для достижения желаемого качества переходных процессов закон управления $u(t)$ должен обеспечивать выполнение неравенств (6). Один из возможных путей достижения желаемого качества состоит в задании определенных условий для функций $f_i[x(t), u(t), \xi(t), t]$. При этом такие условия должны обеспечивать параметрическую разрешимость соотношений (2), также определение структур и параметров алгоритмов управления.

Желаемую динамику САУ зададим в виде векторного дифференциального уравнения

$$\dot{x}(t) = f^*(x, p), \quad (7)$$

где $f^* = [f_1^*(x, p_1), f_2^*(x, p_1), \dots, f_n^*(x, p_n)]^T$ — n -мерная, в общем случае нелинейная вектор-функция; $p = [p_1, p_2, \dots, p_n]$ — r -мерный вектор-параметр, подлежащий выбору так, чтобы решение $x(t)$ системы (16) удовлетворяло условиям заданного качества управления (6).

В результате введения понятия желаемой динамики для проектируемой замкнутой системы, искомый закон управления $u(t)$ целесообразно определить из условия близости соответствующих компонентов вектор-функций $f(x, u)$ и $f^*(x, p)$ с требуемой точностью. В частности, эти условия целесообразно задавать в виде модульных неравенств:

$$f_i[x(t), u(t), \xi, t] - f_i^*[x(t), p] \leq \delta_i(t), \quad i = \overline{1, n}, \quad t \in [t_0, t_k], \quad (8)$$

где $\delta_i(t)$ – функции, которые задают точность приближения, они положительные и непрерывно дифференцируемые.

Таким образом, процедура синтеза регулятора для многомерного нелинейного объекта состоит из двух этапов:

- 1) описание подмножества P^* и определение вектор-параметра $p \in P^*$;
- 2) нахождение закона управления $u(x, t)$, обеспечивающего выполнение условий (8).

Введем функцию

$$F_i(x, u) = f_i(x, u, \xi, t) - f_i^*(x, p), \quad i = \overline{1, n}, \quad (9)$$

Тогда неравенства (8) запишутся в виде

$$|F_i(x, u)| \leq \delta_i(t), \quad i = \overline{1, n}, \quad t \in [t_0, t_k]. \quad (10)$$

где $F(x, u) = [F_1(x, u), F_2(x, u), \dots, F_n(x, u)]^T$.

Тогда уравнение динамики многомерного регулятора имеет вид [3]:

$$\dot{u}(x, t) = L \cdot \left[Y \{ f(x, u, \xi, t) - f^*(x, p) \} - \tilde{Z} \cdot f(x, u) - H \cdot \xi(t) \right]. \quad (11)$$

где $Y = [\gamma_1 \ \gamma_2 \ \dots \ \gamma_n]^T = \{ \gamma_{iv} \}_{n \times n}$ – вещественная матрица, составленная из n -мерных векторов

$$\gamma_1 = [\gamma_{11}, \gamma_{12}, \dots, \gamma_{1n}], \quad \gamma_2 = [\gamma_{21}, \gamma_{22}, \dots, \gamma_{2n}], \dots, \gamma_n = [\gamma_{n1}, \gamma_{n2}, \dots, \gamma_{nn}].$$

где функциональные матрицы

$$\tilde{Z} = \left\{ \frac{\partial F_i}{\partial x_j} \right\}_{n \times n}, \quad M = \left\{ \frac{\partial F_i}{\partial u_v} \right\}_{n \times m}, \quad H = \left\{ \frac{\partial F_i}{\partial \xi_v} \right\}_{n \times r}, \quad (12)$$

а матрица $Y = \{ \gamma_{iv} \}_{n \times n}$ – вещественная матрица, составленная из настроечных параметров γ_{ij} системы; в предположении что существует обратная матрица $W^{-1} = [M^T \cdot M]^{-1}$.

где матрица $L = W^{-1} \cdot M^T$. Если вектор-функция $f^*(x, p)$ задается в линейной форме, т.е.

$$f^*(x, p) = P \cdot x(t), \quad (13)$$

где $P = \{ p_{ij} \}_{n \times n}$ – вещественная $n \times n$ матрица, то тогда закон управления (11) имеет вид [3]

$$\dot{u}(x, t) = L \cdot \left[Y \cdot \{ f(x, u, \xi, t) - P \cdot x(t) \} - \tilde{Z} \cdot f(x, u) - H \cdot \xi(t) \right]. \quad (14)$$

Обобщенная структура системы управления, включающая динамический нелинейный регулятор с законом управления (14), показана на рисунке 3.

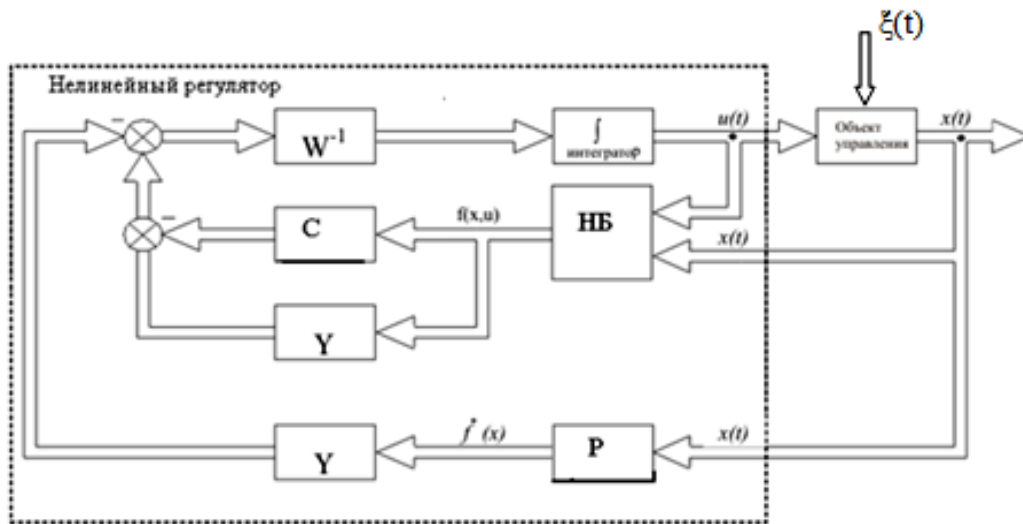


Рис. 3. Обобщенная структура САУ.

На основе прикладного пакета программирования MATLAB в автоматизированном режиме были получены алгоритмы управляющих воздействий, выведены графики уровней нефти в резервуарах, а также выходные переменные группы резервуаров. Управляющие воздействия на объект управления имеют следующий вид:

$$\begin{aligned} \frac{du_1}{dt} = & (p(x_1^2(x_1)^2) + (2x_2^2(x_2)^2)/(3(x_1)^2) - (2px_2^2(x_2)^2)/(3(x_1)^2))(l_{15})/(2px_1^2) - l_{11}/(px_1^2)l_{15}/(px_1^3) - l_{11} \\ & /(px_1^2) + 2l_{11}/(px_1^3) - l_{12}/l_{16} + l_{15}/(2px_1^2) + l_{11}/(px_1^2)(p_{22} + l_{14}/(px_1^2)) + l_{12}/l_{16} + g_{22}(l_{15})/(2px_1^2) - p_{22}x_2 + (l_{11}/ \\ & (px_1^2)) - (p(x_1^2(x_1)^2 + 2x_2^2(x_2)^2)/(3(x_1)^2) - (2px_2^2(x_2)^2)/(3(x_1)^2))(l_{14})/(px_1^2) + l_{12}/l_{16}(l_{15})/(2px_1^2) + \\ & (l_{11}/(px_1^2)) + g_{11}(p_{11}x_1 - (3(u_1 + u_2))/(2px_1^2) + (l_{11}/(px_1^2)) - (l_{15})/(2px_1^2) - (l_{11}/(px_1^2))(p_{11} + l_{15})/(px_1^3) \\ & + l_{14}px_1^2) - 2l_{11}/(px_1^3) + l_{11}/l_{16} - (2px_2^2(l_{15}))/((2px_1^2) + l_{11}/(px_1^2))((3u_1)/(px_2^3)) + (2al_{11} + \sqrt{2\text{sign}(x_2 - x_3)}) \\ & (l_{18}) - \sqrt{2\text{sign}(x_2)}(l_{19})/(px_2^3) + (3a\sqrt{2\text{sign}(l_{19})} + \sqrt{2\text{sign}(l_{17})} - (\sqrt{2\text{sign}(l_{18})} + l_{12}/(2l_{17} - l_{13}/l_{15} + \\ & (\sqrt{2g\text{sign}(x_2)\text{sign}(x_2)})/(2(l_{19}))/((px_2^2) + ((3u_1)/(2px_2^2)) + l_{11} + \sqrt{2\text{sign}(x_2 - x_1)}(l_{18}) - \sqrt{2\text{sign}(x_2)} \\ & (l_{19})/(px_2^2))(p_{33} + (3a\sqrt{2\text{sign}(l_{18})} + l_{13}/l_{15}/(px_2^2))) + g_{33}((3u_1)/(2px_2^2)) - p_{33}(x_3) + l_{11} + (\sqrt{2\text{sign}(x_2 - x_3)}) \\ & (l_{18}) - \sqrt{2\text{sign}(x_2)}(l_{17}/(px_2^2)) - l_{14} + 3l_{12}/(2(l_{17}))/((3(u_1 - u_2))/(2px_1^2)) - (l_{11}/(px_1^2))/(px_2^2))/3. \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \frac{du_2}{dt} = & ((\pi(x_1^2(x_1)^2 + 2x_2^2(x_2)^2))/(3(x_1)^2) - ((2\pi x_2^2(x_2)^2)/(3(x_1)^2))(l_{15})/(2\pi x_1^2) - l_{11}/(\pi x_1^2)(l_{15})/ \\ & (\pi x_1^3) - l_{14}/(\pi x_1^2) + (2(l_{11}))/(\pi x_1^3) - l_{12}/l_{16} + l_{15}/(2\pi x_1^2) + l_{11}/(\pi x_1^2)(p_{22} + l_{14}/(\pi x_1^2)) + l_{12}/(2\pi x_1^2)(l_{17}) + \\ & g_{22}\text{sign}(l_{15})/(2\pi x_1^2) - p_{22}(x_2) + l_{11}/(\pi x_1^2)) - (\pi(x_1^2(x_1)^2 + 2x_2^2(x_2)^2))/(3(x_1)^2) - (2\pi x_2^2(x_2)^2)/ \\ & (3(x_1)^2)(l_{14})/(\pi x_1^2) + (l_{12})/(2\pi x_1^2)(l_{17})(l_{15})/(2\pi x_1^2) + l_{11}/(\pi x_1^2) - l_{15}/(2\pi x_1^2) - l_{11}/(\pi x_1^2)(p_{11} + l_{15}/ \\ & (\pi x_1^3)) + l_{14}/(\pi x_1^2) - (2(l_{11}))/(\pi x_1^3) + l_{12}/(2\pi x_1^2)(l_{17}) + g_{11}\text{sign}(p_{11}(x_1) - l_{15}/(2\pi x_1^2) + l_{11}/(\pi x_1^2)) \\ & - (2\pi x_2^2(l_{15}))/((2\pi x_1^2)) + (l_{11}/(\pi x_1^2))((3u_1)/(\pi x_2^3)) + (2(l_{11}) + \sqrt{2\text{sign}(x_2 - x_3)}(l_{18}) - \sqrt{2\text{sign}(x_2)} \\ & (l_{17})/(\pi x_2^3) + l_{14} + \sqrt{2\text{sign}(l_{17})} - \sqrt{2\text{sign}(l_{18})} + l_{12}/(2l_{17} - l_{13}/2(l_{18}) + (\sqrt{2g\text{sign}(x_2)\text{sign}(x_2)})/ \\ & (2(l_{19}))/(\pi x_2^2)) + ((3u_1)/(2\pi x_2^2)) + l_{11} + \sqrt{2\text{sign}(x_2 - x_3)}(l_{18}) - \sqrt{2\text{sign}(x_2)}(l_{19})/(\pi x_2^2))(p_{33} + \end{aligned}$$

$$(3a(\sqrt{2\text{sign}(l_{18})}-l_{13})/(2(l_{11})\pi x_2^2))+g_{33}\text{sign}((3u_1)/(2\pi x_2^2)-p_{33}x_3+l_{11}+\sqrt{2\text{sign}(x_2-x_3)}(l_{18})-\sqrt{2\text{sign}(x_2)}(l_{19})/(\pi x_2^2))-l_{14}+(\sqrt{2g\text{sign}(\text{sign}(x_1-x_2)(x_1-x_2))}/(2(l_{17}))(l_{15})/((2\pi x_1^2)-l_{11})/(\pi x_1^2))/(\pi x_2^2)/3,$$

где

$$l_{11}=(3\sqrt{2a\text{sign}(x_1-x_2)}\sqrt{g|(x_1-x_2)|}); l_{12}=(3\sqrt{2a\text{sign}\cdot\text{sign}(x_2-x_3)}(x_2-x_3));$$

$$l_{13}=\sqrt{2g\text{sign}(\text{sign}(x_2-x_3)(x_2-x_3))}; l_{14}=(3\sqrt{2a\text{sign}}\sqrt{(g|(x_1-x_2)|)});$$

$$l_{15}=(3(u_1+u_2)); l_{16}=(2\pi x_1^2(\sqrt{g|(x_1-x_2)|)}); l_{17}=\sqrt{(g|(x_1-x_2)|)};$$

$$l_{18}=\sqrt{(g|(x_2-x_3)|)}; l_{19}=\sqrt{(g|x_2|)}.$$

Результаты моделирования продемонстрированы на рисунках 4, 5, 6, 7.

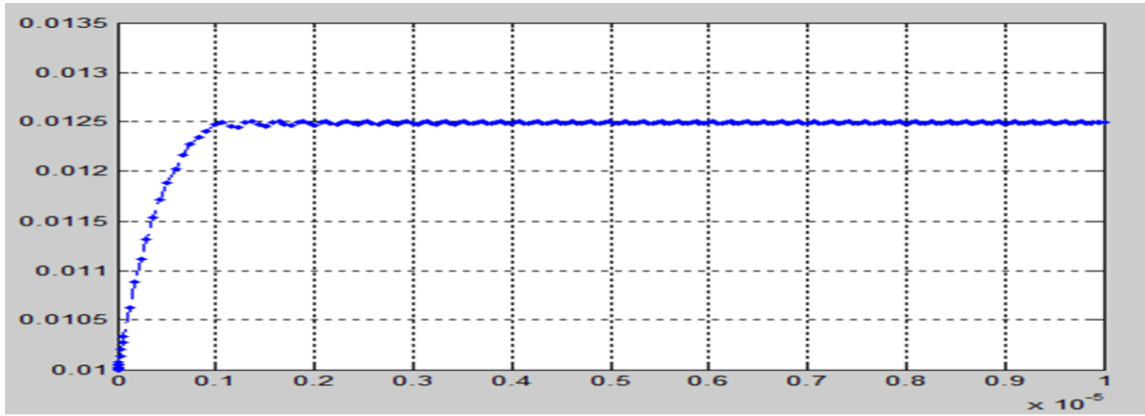


Рис. 4. Уровень жидкости 1-го резервуара $x_1=x_1(t)$.

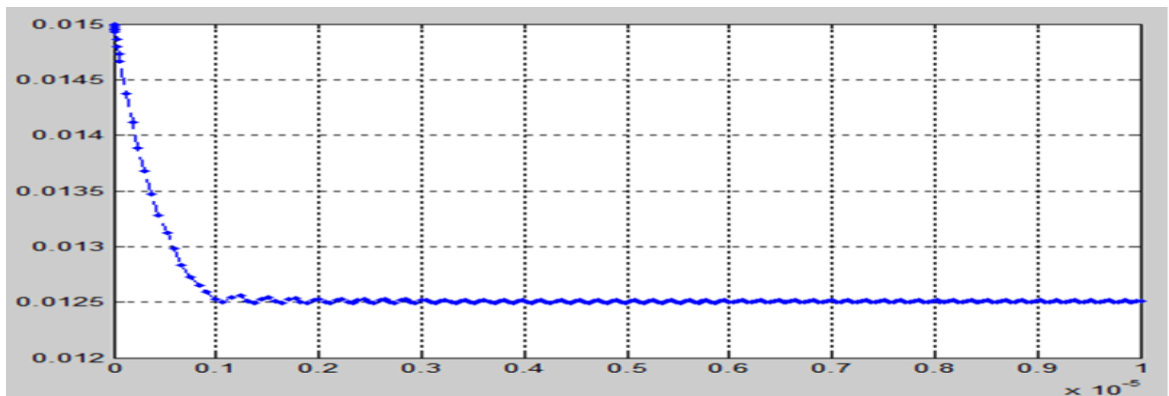


Рис. 5. Уровень жидкости 2-го резервуара $x_2=x_2(t)$.

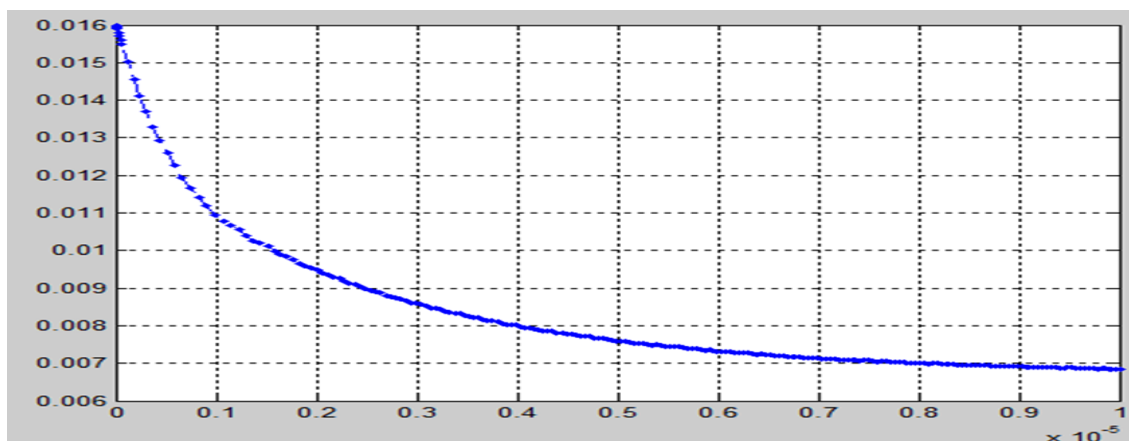


Рис. 6. Уровень жидкости 3-го резервуара $x_3=x_3(t)$

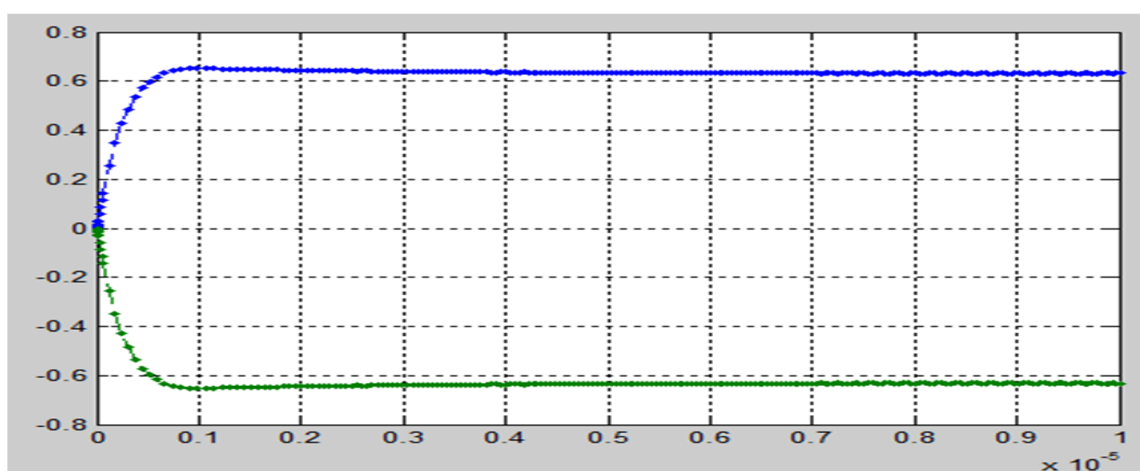


Рис. 7. Поток жидкостей $u_1=u_1(t)$ и $u_2=u_2(t)$.

В данной статье были рассмотрены общие сведения о резервуарах, используемых в нефтегазовой промышленности. В ходе исследования нам удалось выяснить, что автоматизация конического резервуарного парка позволяет увеличить пропускную способность парка, а также повышает качество управления процессом перекачки нефти. Далее были произведены некоторые технологические расчеты.

Таким образом, был разработан алгоритм управления резервуарами на основе метода структурного синтеза, представленного в [3]. На основании постановки задачи исследования использовано математическое описание в виде системы дифференциальных уравнений для трех резервуаров [1; 2], которые описывают состояние каждого резервуара, а также разработано программное обеспечение для реализации поставленных задач.

ЛИТЕРАТУРА

1. Колесников А. А. Синергетическая теория управления. – Таганрог, 1994. – 344 с.
2. Keller H. Vereinfacht Ljapunov – Synthese für nichtlineare Systeme // Automatisierungstechnik. – 1990. – № 3. – S. 111–113.
3. Джолдошов Б. О., Темиркулова Н. Т. Динамическое проектирование управляющего устройства для нелинейной системы с учетом инженерных показателей качества // Известия КГТУ. – 2013. – № 29. – С. 196–205.

БАЛЯСОВ П. П., МУСКАТИНЬЕВ А. В.
ОСОБЕННОСТИ ЭКСПЛУАТАЦИИ СИЛОВЫХ ТИРИСТОРОВ
В ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНЫХ ЦЕПЯХ МОЩНЫХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ

Аннотация. В статье обсуждаются вопросы помехоустойчивости в преобразователях с последовательным включением силовых тириستоров. Приводятся результаты исследований искажения импульсов управления в выходных трансформаторных каскадах.

Ключевые слова: силовые тиристоры, импульсный трансформатор, выходной каскад.

BALYASOV P. P., MUSKATINIEV A. V.
FEATURES OF OPERATION OF POWER THYRISTORS
IN SERIES CIRCUITS OF POWERFUL CONVERTERS

Abstract. The article considers the noise immunity in sequential-connected converters of power thyristors. The results of studies of the distortion of control pulses in output transformer stages are presented.

Keywords: power thyristors, pulse transformer, output stage.

Последовательное включение силовых тиристоров широко применяется при построении различных преобразовательных устройств. К ним могут быть отнесены последовательные сборки из высоковольтных тиристоров и ключи на их основе для применения в аппаратах плавного пуска электродвигателей, работающих от сети переменного тока промышленной частоты с напряжением 6 кВ, преобразователи частоты, которые используются в качестве источников электропитания индукционных печей для плавки и нагрева заготовок, и ряд других мощных устройств.

Системы управления тиристорами перечисленных устройств построены различным образом. Некоторые из них реализованы на современной элементной базе в виде специализированных драйверов с гальванической развязкой по оптическому каналу, за счет чего достигается высокая помехоустойчивость. В других преобразователях, системы управления тиристорами выполнены по традиционной схеме с трансформаторной развязкой. В ряде случаев в таких схемах может наблюдаться снижение помехоустойчивости, что объясняется несколькими факторами. Во-первых, при работе мощных преобразователей тиристоры работают при повышенной температуре, от которой зависит величина минимального тока управления $I_{y, мин}$, необходимого для включения тиристора. На рисунке 1 показаны зависимости амплитуды импульса тока $I_{y, мин}$ от его длительности для тириستоров

серии ТЛ [1]. При повышении температуры управляющего перехода тиристора амплитуда тока $I_{y.мин}$ существенно снижается, за счет чего ухудшается помехоустойчивость.

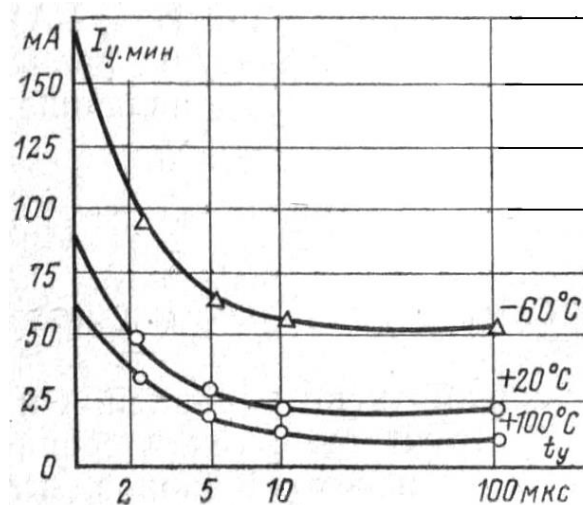


Рис. 1. Зависимости амплитуды тока управления тиристора от длительности импульса при различной температуре.

Работа преобразователя с большими скоростями изменения анодного напряжения dU_a/dt приводит к возникновению емкостного тока I_c тиристора, обусловленного барьерной емкостью $C_б$ центрального перехода [2], что приводит к накоплению в базе тиристора заряда Q . Это равносильно воздействию на тиристор емкостного тока I_c через цепь управления. Дополнительно на тиристор может воздействовать импульс тока помехи I_n через цепи питания системы управления и межобмоточную емкость $C_{об}$ выходного трансформатора Tr . Сказанное иллюстрируется на рисунке 2.

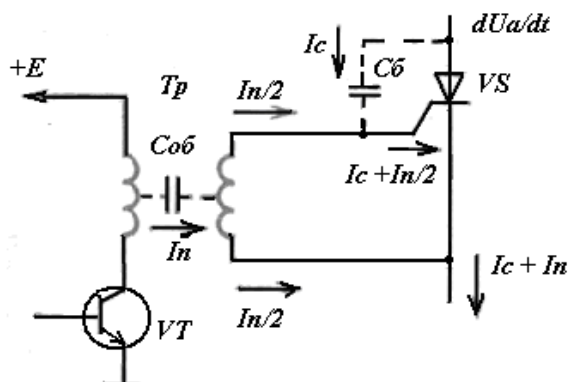


Рис. 2. Пути протекания токов помех при больших скоростях изменения анодного напряжения dU_a/dt .

Приведенные составляющие помех способствуют накоплению дополнительного заряда в базах тиристора, способствующего его включению при меньших случайных

импульсных токах управления, что приводит к снижению помехоустойчивости преобразователя.

Способы повышения помехоустойчивости разделяются на конструктивные и схемотехнические. К конструктивным мерам можно отнести следующее.

1. Раздельное использование шин заземления силовой и управляющей схем преобразователя.

2. Применение экранированных проводов или витых пар системы управления.

3. Уменьшение межвитковой емкости обмоток трансформатора введением экранов. Однако этот способ имеет ограниченное применение, так как усложняет конструкцию импульсного трансформатора и одновременно повышает его индуктивность рассеяния.

4. Применение тиристорov с малой барьерной емкостью. Данный метод требует подбора тиристорov с помощью специальной аппаратуры, что не всегда выполнимо на практике.

Схемотехническими методами повышения помехозащищенности преобразователей, работающих с большими скоростями изменения анодного напряжения и тока, являются решения, направленные на увеличение критического заряда $Q_{кр}$ тиристорov преобразователя. Критический заряд $Q_{кр}$ является величиной минимального накопленного заряда в р-базе тиристора, необходимого для его включения. Независимо от формы управляющего импульса заряд $Q_{кр}$ определяется выражением [1]:

$$Q_{кр} = I_{gt} * t_{gt}, \quad (1)$$

где I_{gt} и t_{gt} – ток включения и время включения тиристора.

Если используется импульс управления тиристором прямоугольной формы амплитудой I_y и длительностью $t_{и}$, то минимальная длительность импульса, необходимая для достижения критического заряда тиристора определяется соотношением [1]:

$$t_{и.мин} = t_{gt} \ln \frac{I_y}{I_y - I_{gt}}. \quad (2)$$

Формула (2) указывает на то, что с увеличением амплитуды прямоугольного импульса его длительность, необходимая для достижения критического заряда, снижается по логарифмическому закону, приближаясь к нулю.

Повышение критического заряда для включения тиристора импульсом управления прямоугольной формы достигается различными способами. Все они направлены на то, чтобы накопление заряда в базе тиристора от воздействия помех непосредственно перед включением тиристора было сведено к минимуму или существенно ослаблено. На практике используются несколько вариантов схем, показанных на рисунке 3. В схеме рисунка 3а параллельно управляющему переходу тиристора включен шунт $R_{ш}$, через который

ответвляется часть тока управления, обусловленного наличием помех. Однако при использовании тиристоров с шунтировкой катода для защиты от воздействия больших скоростей нарастания анодного напряжения, приведенная схема повышения критического заряда малоэффективна.

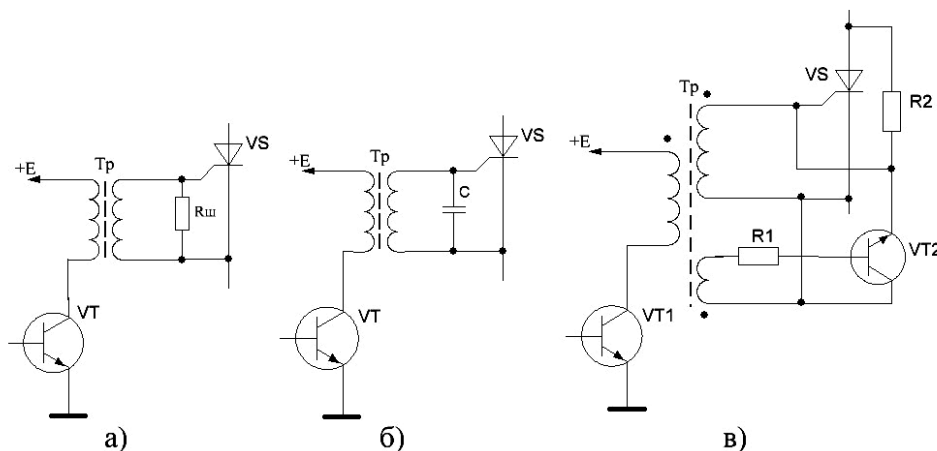


Рис. 3. Схемотехнические способы снижения критического заряда включения тиристора.

Схема с включением конденсатора на рисунке 3б получила более широкое распространение в силу ее простоты. Однако на практике емкость конденсатора часто оказывается чрезмерно завышенной, что приводит к другим нежелательным эффектам, обсуждаемым позже. В схеме на рисунке 3в [1] транзистор VT2 шунтирует управляющий переход тиристора VS во время его закрытого состояния. Управляющий импульс для транзистора VT2 формируется противофазно импульсу управления тиристором VS от отдельной обмотки выходного трансформатора, что усложняет схему. Транзистор VT2 в схеме используется в инверсном режиме с целью уменьшения напряжения насыщения.

Рассмотрим влияние конденсатора C , включенного в цепь управляющего перехода тиристора на форму прямоугольного импульса, формируемого в схеме, с учетом паразитных параметров импульсного трансформатора (рис. 3б). Для этого используем упрощенную эквивалентную схему замещения трансформатора для анализа искажения фронта импульса выходного напряжения (рис. 4). На схеме приняты следующие обозначения: e – источник идеального прямоугольного импульса напряжения; R_1 – внутреннее сопротивление генератора в сумме с сопротивлением первичной обмотки трансформатора; L – индуктивность рассеяния; C – сумма паразитной емкости обмоток и емкости помехоподавляющего конденсатора; R_2' – сумма сопротивлений нагрузки и вторичной обмотки трансформатора, приведенных к первичной обмотке; u_2' – напряжение на вторичной обмотке, приведенное к первичной стороне. Так как используется линейная модель выходного каскада, то форма выходного напряжения соответствует форме тока управляющего перехода тиристора.

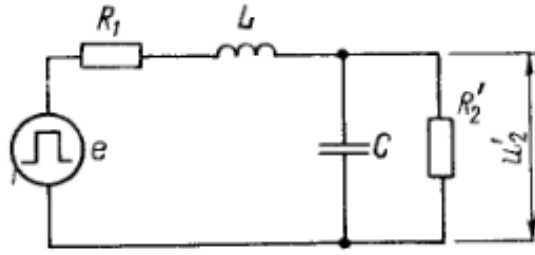


Рис. 4. Эквивалентная схема замещения импульсного трансформатора для передачи фронта импульса напряжения.

Для вычисления процесса изменения выходного напряжения используем формулу решения дифференциального уравнения второго порядка цепи (рис. 4) [3] с коэффициентом затухания δ и переменными, нормированными по амплитуде и времени:

$$u = 1 - e^{-\delta\tau} \left(\cos(\beta\tau) + \frac{\delta}{\beta} \sin(\beta\tau) \right), \quad (3)$$

$$\text{где } \delta < 1, \beta = \sqrt{1 - \delta^2}, \delta = \frac{\sqrt{\alpha}}{2} \left(\frac{1 - \alpha}{\alpha} \frac{R_2'}{\rho} + \frac{\rho}{R_2'} \right), \rho = \sqrt{L/C}, \tau = t / \sqrt{\alpha LC},$$

$$\alpha = R_2' / (R_1 + R_2')$$

В качестве исходных данных приняты следующие значения параметров эквивалентной схемы: R_1 – 5 Ом; индуктивность рассеяния L равна 6 мкГн, 15 мкГн и 30 мкГн; емкость C менялась в диапазоне от 0,1 мкФ до 1 мкФ; R_2' равно сумме дифференциального сопротивления управляющего перехода тиристора и сопротивления, включенного последовательно в цепь управляющего перехода – 8,2 Ом. Коэффициент трансформации принят равным 1. Результаты расчетов приведены на рисунке 5.

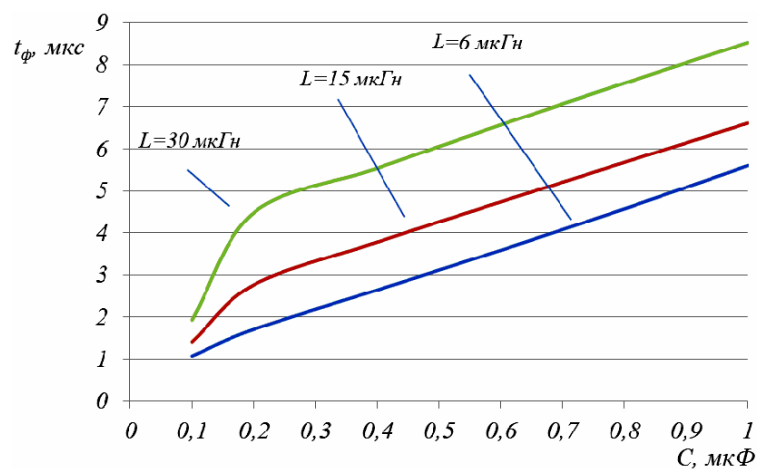


Рис. 5. Эквивалентная схема замещения импульсного трансформатора для передачи фронта импульса напряжения.

Длительность фронта t_f между уровнями (0,1...0,9) импульса напряжения или тока нормированной амплитуды пропорционально растет с увеличением емкости помехоподавляющего конденсатора C и ростом индуктивности рассеяния импульсного трансформатора. С одной стороны, это необходимо для повышения помехоустойчивости преобразователя за счет подавления импульсных помех, рассмотренных ранее. Однако уменьшение скорости нарастания тока управления приводит к существенному росту времени задержки и времени включения тиристора [4], что отрицательно влияет на работу последовательной цепочки тиристорov. Если тиристоры шунтированы демпферными RC цепями [5; 6] для компенсации разброса заряда обратного восстановления, то при искаженных фронтах управляющих импульсов уменьшается площадь начального включения тиристора тока управления, что снижает надежность работы тиристорov при больших скоростях изменения анодного тока. Поэтому необходимый компромисс между помехозащищенностью и надежностью работы последовательной цепи тиристорov необходимо решать с учетом конкретного режима работы преобразователя.

ЛИТЕРАТУРА

1. Лабунцов В. А., Тугов Н. М. Динамические режимы эксплуатации мощных тиристорov. – М.: Энергия, 1977. – 192 с.
2. Мускатиньев А. В., Мускатиньев А. А. Особенности измерения токов утечки в силовых полупроводниковых приборах в состоянии низкой проводимости // XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего плюс. – 2014. – № 3 (19). – С. 157–163.
3. Вдовин С. С. Проектирование импульсных трансформаторov. – Л.: Энергоатомиздат, 1991. – 208 с.
4. Чебовский О. Г., Моисеев Л. Г., Недошивин Р. П. Силовые полупроводниковые приборы. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Энерго-атомиздат, 1985. – 400 с.
5. Мускатиньев А. В. Особенности подбора силовых тиристорov для последовательного включения // Электротехнические комплексы и системы управления. – 2014. – № 2. – С. 72–78.
6. Мускатиньев А. В., Мускатиньев А. А. Особенности построения аппаратуры контроля динамических параметров силовых полупроводниковых приборов // Труды VIII Международной (XIX Всероссийской) конференции по автоматизированному электроприводу АЭП-2014. – Саранск: Изд-во Мордов. ун-та, – 2014. – Т. 2 – С. 4–7.

ВОЛКОВ А. В., ТРОЯНСКИЙ А. В., ШИШОВ О. В.

**ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА СИНГУЛЯРНОГО РАЗЛОЖЕНИЯ
ДЛЯ КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА НАТРИЕВЫХ ЛАМП ВЫСОКОГО ДАВЛЕНИЯ**

Аннотация. Рассматривается система контроля качества натриевых ламп высокого давления. Предлагается внесение корректировок в технологический процесс на основе применения метода сингулярного разложения.

Ключевые слова: натриевые лампы, система контроля качества, сингулярное разложение.

VOLKOV A. V., TROYANSKIY A. V., SHISHOV O. V.

**APPLICATION OF SINGULAR VALUE DECOMPOSITION
FOR QUALITY CONTROL OF HIGH-PRESSURE SODIUM LAMPS**

Abstract. The article considers the quality control system for high-pressure sodium lamps. To improve the technological process, an approach based on singular value decomposition is developed.

Keywords: sodium lamps, quality control system, singular value decomposition.

В городе Саранске сконцентрировано несколько производственных и исследовательских предприятий светотехнической промышленности. Одним из них является ООО «Рефлекс-С», выпускающее натриевые лампы высокого давления. После изготовления лампы должны пройти процесс стендовых испытаний и разбраковки. Испытания заключаются во включении ламп на заданное время с контролем их параметров. Испытательный стенд представляет собой круговой конвейер – «карусель», на которую лампы устанавливаются и зажигаются. Время полного поворота «карусели» задает длительность испытаний. На последней позиции «карусели» производится измерение напряжения на лампе, по которому можно судить о ее годности.

До настоящего времени контроль напряжения на лампе осуществлялся оператором визуально, что приводило к появлению ошибок в работе и затрудняло анализ причин появления брака. В связи с этим были поставлены задачи по автоматизации проведения испытаний ламп и оценки их годности. Автоматизированная система должна была обеспечивать визуализацию хода испытаний, перестраиваться с одного типа испытуемых ламп на другие, вести архивы результатов испытаний, передавать данные на персональный компьютер мастера участка для вывода статистической информации в графическом виде. Кроме того, должна была предусматриваться возможность сравнения модели «идеальной» лампы с моделью, построенной на основе массива измерений.

В результате, прежде всего, была реализована автоматизированная система контроля параметров с использованием современных средств автоматизации (рис. 1). В ее состав вошли промышленный контролер, операторная панель, измерительные модули, модуль архивации. В конечном итоге архивы (массивы накопленных экспериментальных данных) формируются в персональном компьютере в виде файлов, которые можно обрабатывать.

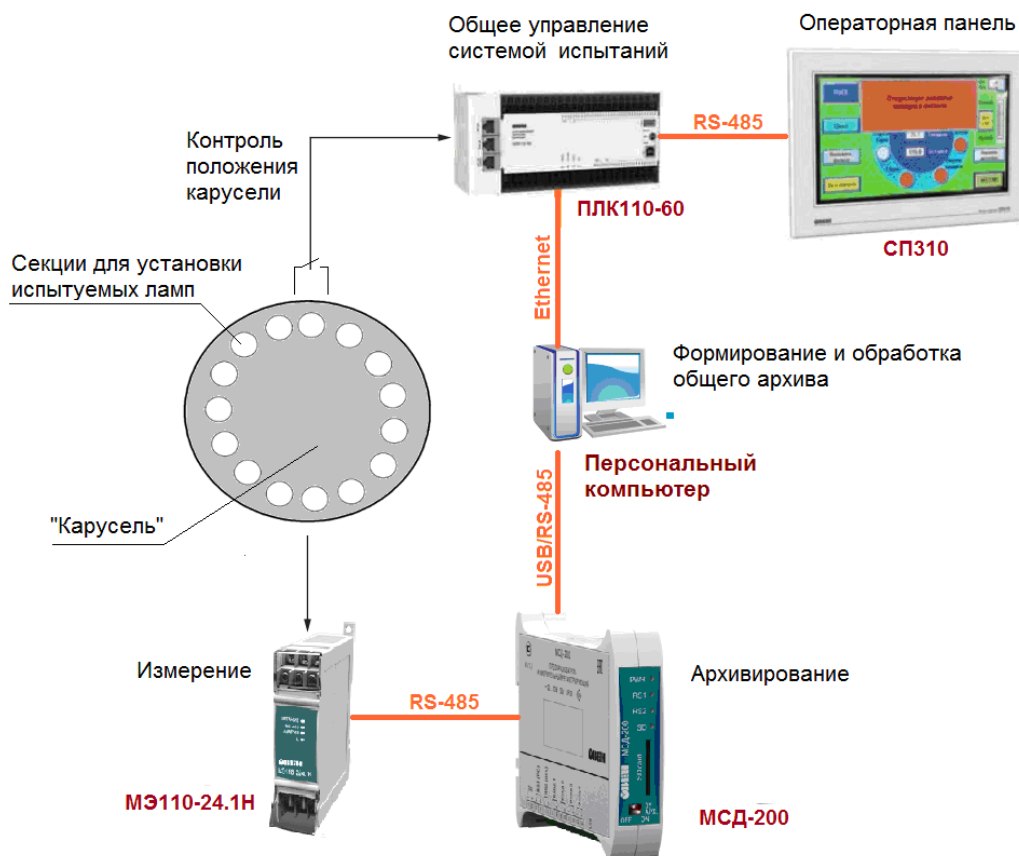


Рис. 1. Функциональная схема системы контроля качества.

Целью работы – научиться анализировать массивы данных, делать выводы и давать рекомендации по внесению коррекции в технологический процесс. При этом сразу было понятно, что проводить какой-либо анализ и пользоваться его результатами можно, только если мы будем уверены в стационарности и эргодичности случайного процесса распределения значений напряжения на лампах в установившемся режиме.

При анализе характера распределения массива измеренных значений использовалось выделение трендовых и периодических составляющих числовых рядов в рамках метода сингулярного разложения. Метод не предусматривает знания параметрической модели ряда и позволяет работать с зашумленными нестационарными временными рядами (измеренными значениями падения напряжения на лампе). Он, в частности, позволяет выделять

амплитудно-модулированные гармонические составляющие, что выгодно отличает его от методов, построенных на разложении Фурье [3].

Для реализации сингулярного разложения был использован пакет прикладных программ для решения задач технических вычислений MATLAB. В частности, была применена стандартная функция SVD (Singular Value Decomposition).

На рисунке 2 приведены результаты разложения исходных данных на периодическую и случайную составляющие. Они характеризуют отклонение напряжения на лампах от ожидаемого значения. Синей линией выделена периодическая составляющая напряжения, а зеленой – случайная составляющая напряжения.

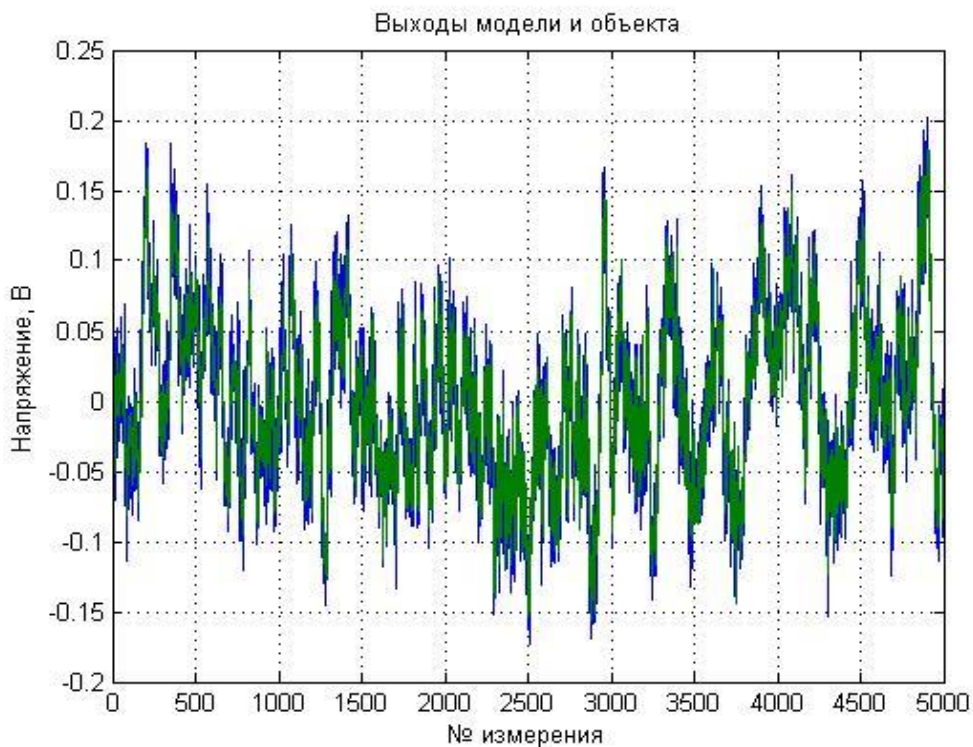


Рис. 2. Результаты разложения исходных данных.

Модель случайной составляющей представлена моделью стационарного и эргодического случайного процесса, полученного методом формирующего фильтра. Идентификация параметров формирующего фильтра проводилась с помощью рекуррентного метода наименьших квадратов (РМНК) [4].

Для анализа также использовалась модель авторегрессии скользящего среднего (АРСС-модель). Это математическая модель, используемая для анализа и прогнозирования стационарных и временных рядов в статистике. Такая модель оказывается подходящей, когда наблюдаемый ряд является суммой двух или более независимых составляющих.

На рисунке 3 представлены оценки коэффициентов АРСС-модели, полученные в результате идентификации и свидетельствующие о сходимости получаемых оценок для натриевых ламп высокого давления ДНаЗ-600.

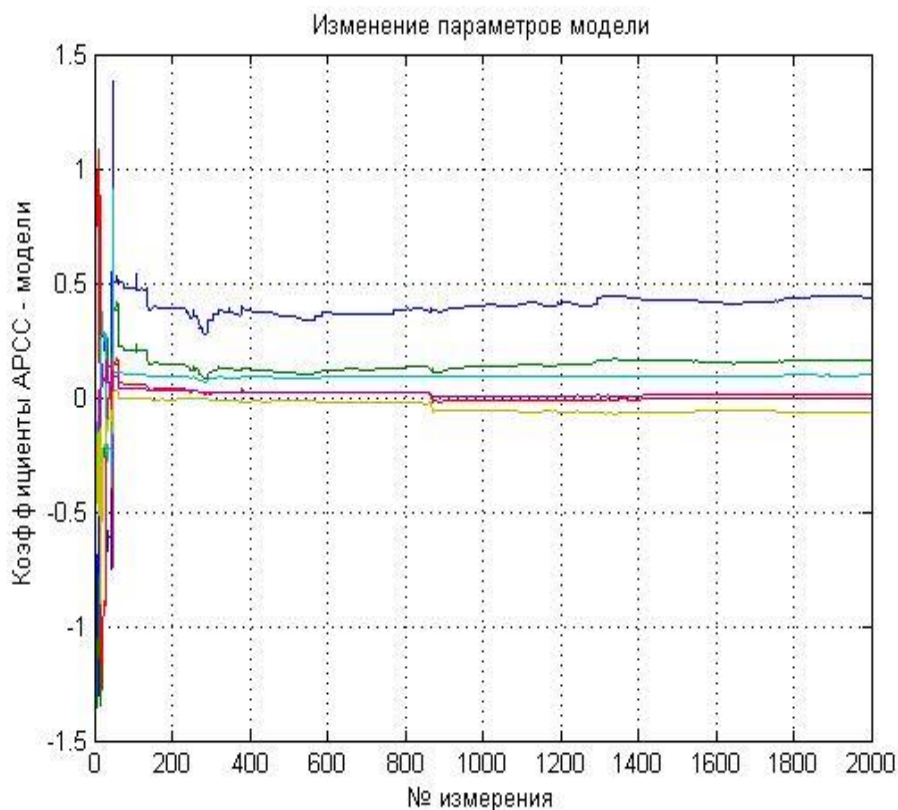


Рис. 3. Коэффициенты АРСС-моделей случайных составляющих напряжения на проверяемых лампах ДНаЗ-600.

Характер полученных коэффициентов позволяет сделать вывод о стационарности распределения результирующих значений падения напряжения. Несколько кривых на графике – это результат нескольких повторений процесса идентификации. Это сделано для того, чтобы показать повторяемость результатов анализа (повторяемость результатов модели поведения).

Было установлено, что оценка параметров нормального закона распределения результирующего падения напряжения зависит от числа единичных значений установленного напряжения, участвующих в его формировании, а также от среднеквадратичного отклонения (СКО) единичных значений. При увеличении этого СКО прямо пропорционально изменяются результирующие оценки (рис. 4).

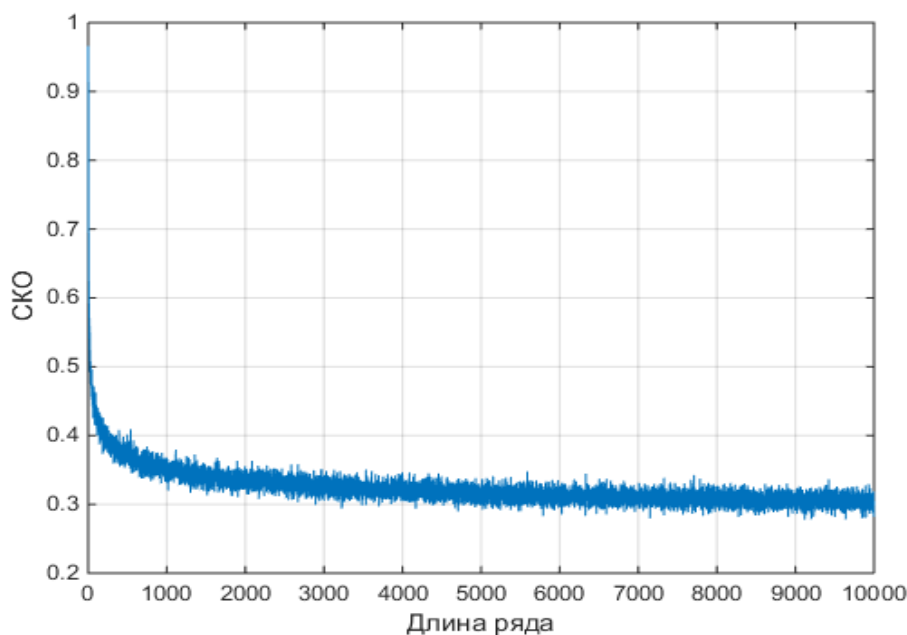


Рис. 4. Нормированные изменения оценок СКО.

Проверка гипотезы о нормальном законе распределения полученных результирующих значений напряжений по критерию Колмогорова-Смирнова подтвердилась.

Сингулярное разложение результирующего напряжения на лампе выявило трендовую составляющую и отсутствие периодических составляющих, присутствующих в разложении исходного единичного профиля.

В конечном итоге проведенный анализ показывает стационарность распределения результирующих значений падения напряжения, т.е. стационарный характер хода технологического процесса изготовления ламп.

В дальнейшем предполагается включить в анализ математическую модель лампы с тем, чтобы по статистическому анализу результатов контроля и соответствию полученных результатов параметрам модели можно было определять конкретные рекомендации по улучшению хода технологического процесса с целью улучшения характеристик выпускаемых ламп.

Тем не менее, даже исходя из доказательства о стационарности технологического процесса, уже можно вести разговор о появлении возможности суждений о качестве хода процесса испытания. Резкие отклонения от стационарности результатов контроля, если мы уверены в стационарности технологического процесса, могут свидетельствовать об ошибках в организации процесса испытаний, например, об ошибочной установке партии ламп другой марки, неправильной установке оператором уставок. Исходя из этого, технолог может выдвинуть требование о повторной проверке последней партии ламп.

ЛИТЕРАТУРА

1. Айзенберг Ю. Справочная книга по светотехнике. – М.: Энергоатомиздат, 1983. – 648 с.
2. Краснопольский А. Е., Соколов В. Б., Троицкий А. М. Пускорегулирующие аппараты для разрядных ламп. – М.: Энергоатомиздат, 1988. – 207 с.
3. Голяндина Н. Э. Метод Гусеница-SSA: прогноз временных рядов: учеб. пособие. – СПб.: Изд-во С.-Петербургского гос. ун-та, 2004. – 52 с.
4. Семенов А. Д., Артамонов Д. В., Брюхачев А. В. Идентификация объектов управления. – Пенза: ПГУ, 2005. – 211 с.