

УДК 681.5

АНАЛИЗ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ПРОЦЕССОМ ГАЛЬВАНИЗАЦИИ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ ДЕТАЛЕЙ

Алексей Петрович Коротков

магистрант по направлению автоматизация технологических процессов и производств в Волжском политехническом институте (филиале) «Волгоградский государственный технический университет»

korotkov_ba3-196@mail.ru

Аннотация

Дано практическое обоснование модернизацию устаревших систем. Рассмотрены следующие системы: водяная баня, для нагрева раствора на линии никелирования и хромирования; терморегуляторы, осуществляющие контроль за температурой в ваннах обработки и открытием клапанов подачи воды с водяной бани и охлаждения; ёмкостные уровнемеры, предназначенные для регулирования уровня раствора в ваннах никелирования и хромирования. Рассмотрено функционирование имеющейся системы автоматизации управления для понимания принципа работы технологического процесса гальванизации. Подведены итоги по анализу каждой из рассмотренных систем.

Ключевые слова: фильтр насос, водяная баня, ванны обработки, терморегулятор, ёмкостные уровнемеры, рефлекс-радарный (TDR) уровнемер.

ANALYSIS OF THE AUTOMATED CONTROL SYSTEM OF THE PROCESS OF GALVANIZATION OF METAL PARTS

Alexey P. Korotkov

undergraduate in the field of automation of technological processes and production at the Volzhsky Polytechnic Institute (branch) of the Volgograd State Technical University

korotkov_ba3-196@mail.ru

ABSTRACT

The analysis carried out in the work allows substantiating in practice the modernization of outdated systems. The following systems are considered: water bath for heating the solution on the nickel and chromium plating lines; temperature controllers that monitor the temperature in the treatment baths and open the water supply valves from the water bath and cooling; capacitive level gauges designed to regulate the level of the solution in nickel and chromium plating baths. The functioning of the existing control automation system for understanding the principle of operation of the galvanization process is considered. In conclusion the analysis of each of the considered systems is presented.

Keywords: Filter pump, water bath, processing baths, thermostat, capacitive level gauges, reflex radar (TDR) level gauges

Введение

Для защиты металлов от коррозии, декоративной отделки изделий, увеличения твердости и износостойкости поверхности, повышения электропроводящих и улучшения антифрикционных свойств применяются покрытия, получаемые преимущественно гальваническим методом. В настоящее время для гальванических покрытий используется несколько десятков металлов [13]. Среди них следует выделить никелевые и хромовые покрытия, широко используемые в различных отраслях промышленности. Это объясняется их физико-механическими и химическими свойствами. Никелем и хромом покрывают изделия из стали и цветных металлов для защиты от коррозии, декоративной отделки поверхности, повышения сопротивления механическому износу. Никелевые и хромовые покрытия имеют высокую антикоррозионную стойкость в атмосфере, в растворах щелочей и в некоторых органических кислотах, что в значительной степени обусловлено сильно выраженной способностью никеля и хрома к пассивированию в этих средах [17]. В связи с этим изучение процесса никелирования и хромирования является актуальным.

Для предотвращения брака в производственном процессе необходимо наличие автоматизированных систем управления гальваническими процессами.

Целью статьи является анализ автоматизированной системы управления гальваническим процессом конкретного производства, для замены морально устаревшего оборудования на более новое с учётом того, чтобы изменения существующей системы были быстро реализовывались на практике. Проблема, соответствующая данной цели, заключается в замене узлов оборудования автоматизированного управления на более совершенные и доступные, для возможности последующей смены в случае поломок, потому как, имеющееся оборудование просто не выпускается.

Задачи включают в себя, получение максимального объёма информации, необходимой для глубокого анализа и представления процесса, поиск научно-технической литературы по разработке и исследованию автоматизированной системы управления процессом гальванизации металлических деталей, изучении инновационных подходов и средств гальванизации (оборудования, приборов, датчиков и т.д.), рассмотрение возможности быстрой реализации на существующих производствах, а так же учёт рентабельности самой модернизации.

Анализ автоматизированной системы управления участка гальваники конкретного предприятия, предложение по модернизации

Водяная баня

Устройство для нагрева раствора на линии никелирования и хромирования выполняет поставленную задачу, является актуальной моделью в наше время и не требует замены (установлен в процессе модернизации).

Проточный водонагреватель Эван ЭПВН-7,5 – прибор серебристого цвета для стационарного снабжения помещений горячей водой. Устанавливается на стене, подводка воды осуществляется сбоку или сверху. Нагревает до 180 л воды в час, весит 10 кг.

Особенности модели



Модель относится к классу «Стандарт-эконом». Несмотря на небольшие габариты (24x25x56 см), устройство быстро нагревает воду до 65 °С, используя 7,5 кВт. Корпус изготовлен из нержавеющей стали. Основные свойства:

- простота в установке прибора;
- работает под давлением 6 Атм;
- имеется функция регулирования температуры нагрева;
- срабатывает аварийный датчик, если температура воды достигнет свыше 85 °С.
- установлен индикатор работы.

Отличительная черта модели – в ее безопасности. Специальный обратный клапан препятствует включению прибора, когда в нем отсутствует вода, и таким образом предотвращает перегорание ТЭНа. Обратный клапан может пропустить воду внутрь прибора, а при отсутствии напора исключит возможность ее протекания обратно в водопровод.

Терморегулятор

Устройство осуществляющее контроль за температурой в ваннах обработки и открытию клапанов подачи воды с водяной бани и охлаждения. Установленный терморегулятор выполняет поставленную задачу, но его срок службы давно истёк и выход из строя происходит всё чаще. Требуется нахождение аналога, так как данное устройство более не выпускается.

Предлагаемая замена терморегулятора, на современную модель отечественного производителя

Предлагаю рассмотреть, многоканальный регулятор температуры ТЕРМОДАТ-13К6, данная модель отлично подойдёт взамен старой.

Термодат-13К6 - двух-, трех- или четырехканальный ПИД-регулятор температуры и аварийный сигнализатор со светодиодными индикаторами. Прибор имеет от двух до четырех универсальных входов, предназначенных для подключения термодатчиков или термосопротивлений, а также датчиков с токовым выходом. Разрешение 1°С или 0,1°С задается пользователем. Может управлять как нагревателем, так и охладителем. Интуитивно понятное управление обеспечивается 4 кнопками внизу экрана.

Особенности:

- ПИД-регулятор
- 2-4 входных канала, по одному выходу на канал
- Универсальные входы
- Выходы: релейные, симисторные или транзисторные
- ПИД-регулирование с автоматической настройкой коэффициентов
- Контроль обрыва датчиков
- Таймер
- Аварийная сигнализация
- Гарантия 5 лет

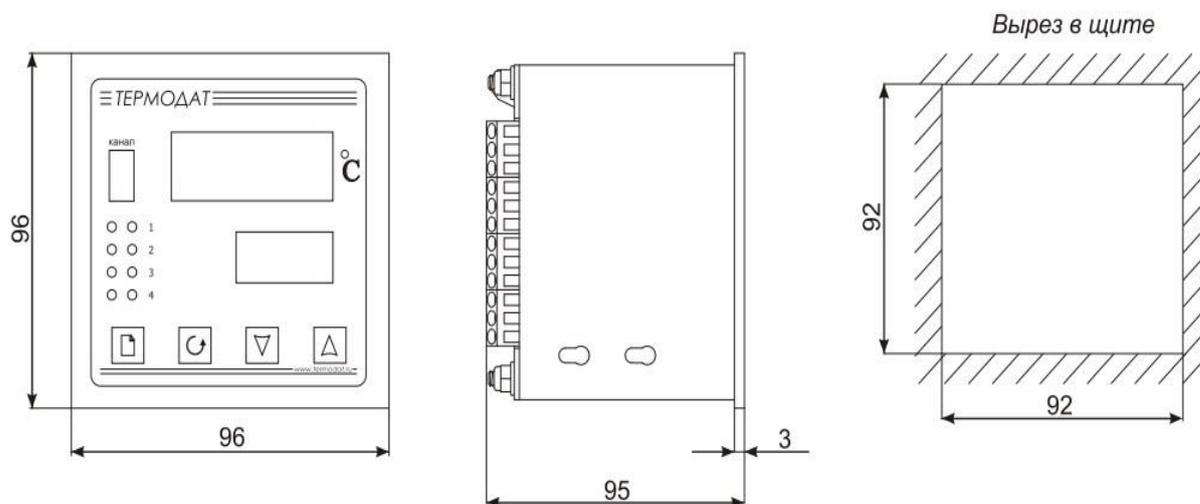
Предназначен для:

- Измерения температуры
- ПИД-регулирования температуры
- Аварийной сигнализации

Технические характеристики:

Параметр	Значение
Входы	2...5 универсальных, 1 дискретный
Выходы	1 реле ~7 А, 220 В + 2...4 реле ~7 А, 220 В или 2...4 симисторных или 2...4 транзисторных
Закон регулирования	ПИД, двухпозиционный
Диапазон температур измерения	-270...1372°C (зависит от типа датчика)
Напряжение питания	Номинальное ~220 В, допустимое ~160...250 В
Потребляемая мощность	≤ 10 Вт
Корпус	Металлический, для щитового монтажа
Дисплей	Светодиодный, 2 строки по 4 разряда и индикатор номера канала (10 и 14мм); От 4 до 8 индикаторов
Условия эксплуатации	-30...50°C 5...90%RH
Габаритные размеры	96×96×95 мм
Вес	≤ 1 кг

Габаритные размеры

**Ёмкостные уровнемеры**

Устройства, предназначенные для регулирования уровня раствора в ваннах никелирования и хромирования. На данном предприятии установлены ёмкостные уровнемеры "трёхноги", регулировка уровня происходит довольно грубо, современные же устройства, позволяют осуществить данный процесс с большей точностью.

Предлагаемая замена ёмкостного уровнемера, на современную рефлекс-радарную модель

Предлагаю рассмотреть, уровнемер волноводный рефлекс-радарный РИЗУР-1300, данная модель отлично подойдёт взамен старой.



- Диапазон измерения от 100 мм до 20 м
- Гальваническая изоляция входных и выходных сигналов
- Время срабатывания 0,5 с
- Точность 0,03% от измеренного значения, но не менее 3 мм
- Полное управление, чтение, редактирование и хранение всех параметров измерения из любого места в любое время



Встроенный индикатор (опционально)



- Индикатор семисегментный четырехразрядный программируемый
- Отображает значения выходного тока или заданной физической величины, измеряемой прибором (мА, мм, м, %)

РИЗУР-1300 - это волноводный рефлекс-радарный уровнемер, который имеет широкую область применения в химической, металлургической и во всех отраслях топливной промышленности: нефтяной, газовой, электроэнергетической, угольной, торфяной. Рефлекс-радарный уровнемер использует технологию импульсной рефлектометрии. Электрические импульсы, сгенерированные прибором, распространяются вдоль чувствительного элемента, достигая границы раздела сред, отражаются и принимаются схемой измерения, где происходит обработка принятого сигнала и расчет расстояния до измеряемой среды. Уровнемер преобразует измеренное расстояние в аналоговый выходной сигнал 4... 20 мА, а также выдаёт дискретный сигнал о достижении уровня сигнализации. Используя модуль регистрации данных, можно считывать, изменять, накапливать и анализировать все параметры процесса из любой точки, в любое время через веб-браузер. Рефлекс-радарный уровнемер — это лучший выбор, когда речь идет о надежном измерении уровня и отличная альтернатива традиционным принципам измерения, таким как ультразвуковые, емкостные, проводниковые, буйковые, поплавковые и гидростатические. Волноводный уровнемер не подвержен влиянию изменений параметров измеряемой среды, таких как плотность, электропроводность, вязкость, температура, давление, диэлектрическая проницаемость и т.д.

Область применения. Прибор подходит для большинства жидкостей и сыпучих сред, независимо от изменений условий параметров измеряемой среды, таких как плотность, электропроводность, температура, давление. Неблагоприятные условия, например, турбулентность среды или пары, не влияют на точность и надежность работы прибора. Устройство применимо во всех типах процессов и имеет стабильные характеристики в средах с низкой диэлектрической постоянной, таких как масла и углеводороды. Рефлекс-радарный уровнемер имеет крайне мало ограничений в

установке, его можно монтировать в небольших емкостях, высоких и узких патрубках. Сложная геометрия, а также наличие внутри емкостей различных выступающих конструкций (например, мешалок, лестниц, труб и т.д.) в непосредственной близости от уровнемера не оказывает влияние на точность измерений и надежность показаний прибора. Волноводный уровнемер РИЗУР-1300 сертифицирован по ГОСТ Р МЭК 60079-0-2011 и может применяться во взрывоопасных средах.

Преимущества:

- Точное непрерывное измерение уровня и сигнализатор уровня в одном устройстве;
- Надежное измерение даже в изменяющихся технологических условиях;
- Лучшее соотношение цены и качества на рынке;
- Простота установки и настройки прибора;
- Надежное измерение благодаря передовым алгоритмам цифровой обработки сигналов и подавлению помех;
- Полная гальваническая изоляция входных и выходных контактов прибора от корпуса и чувствительного элемента;
- Корпус прибора устойчив к воздействию агрессивных сред, материал чувствительного элемента - сталь 12Х18Н10Т;
- Взрывозащищенное исполнение прибора, полностью соответствующее требованиям ГОСТ;
- Стабильная работа в любых технологических процессах и во всех типах емкостей;
- Полная совместимость с типовыми системами АСУТП.

Функционирование водяной бани, терморегуляторов и уровнемеров

(См. Схему А) Ванна обработки обогревается "водяной баней". Терморегулятор ТЕ01 управляет водяной баней и поддерживает ее в работе до тех пор, пока ванна обработки не достигнет своей рабочей температуры.

Водяная баня будет включена до достижения температуры заданной положением 2 терморегулятора ТЕ01 и включится, когда температура снизится ниже заданной в положении 1 дифференциальной величины.

Эти операции регулирования исполняются, отодвигая центральный отклоняющий механизм терморегулятора влево и поворачивая потенциометр REG1. Отодвигая отклоняющий механизм вправо и поворачивая потенциометр REG2 визуализируются точки SET в центральной позиции отклонителя показывая эффективную температуру.

Водяная баня продолжит нагревать ванну обработки до тех пор, пока последняя не достигнет заданной температуры в ТЕ02 REG1.

Обогревание водяной бани связано регулированием температуры ванны обработки, дифференциалом термостата водяной бани и его уровнем, проверенным LV01 секция один.

В случае если уровень водяной бани снизится, сработает контрольный механизм LV01 (и его вспомогательное реле КА01), оно остановит обогревание и дополнит ванну.

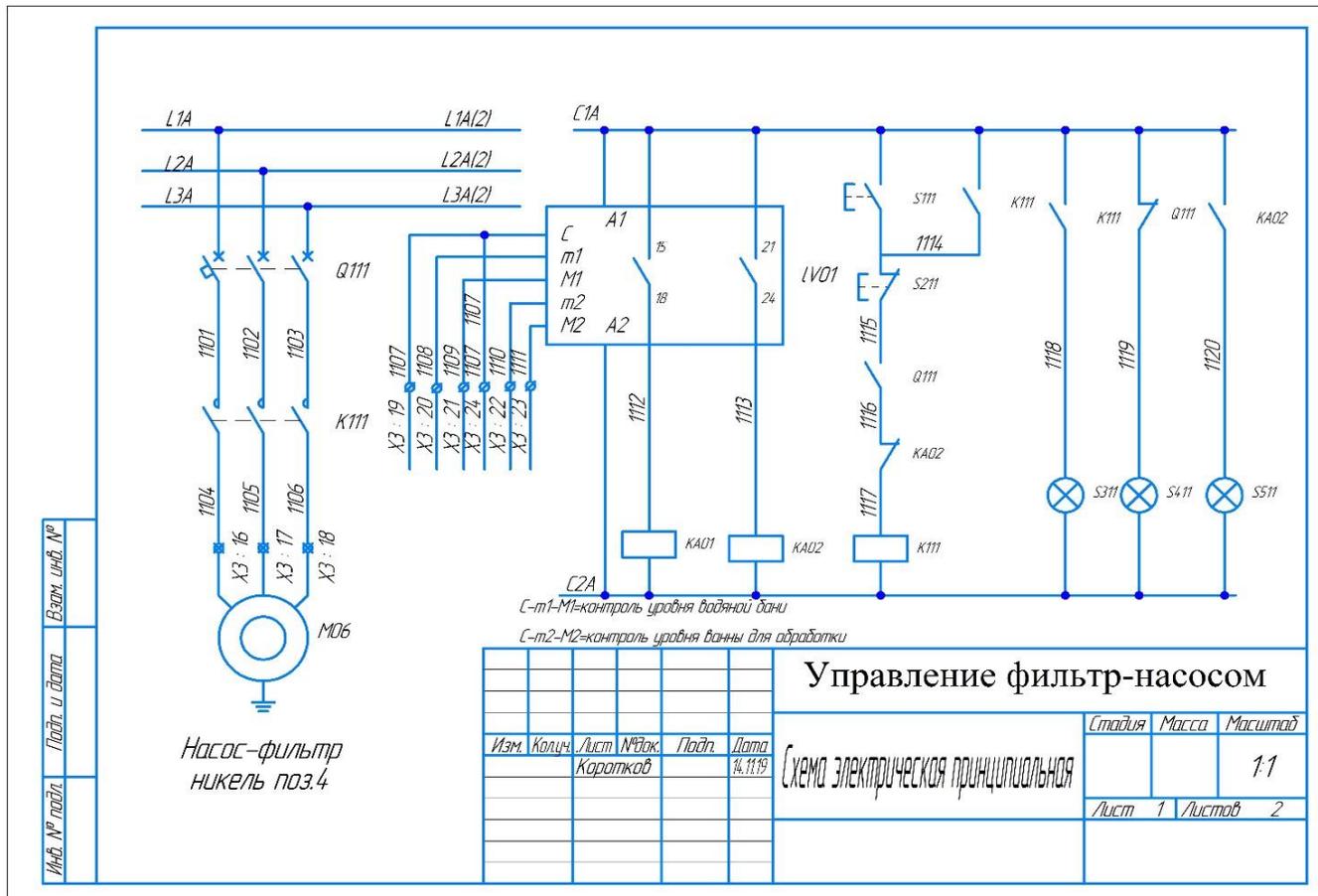
Ванна обработки нуждается также в охлаждении, это происходит в тех случаях, когда температура ванны обработки достигает заданной величины в REG2 ТЕ02. В этот момент возбуждается электроклапан который загрузит холодную воду в водяную баню и, следовательно, охладится ванна обработки.

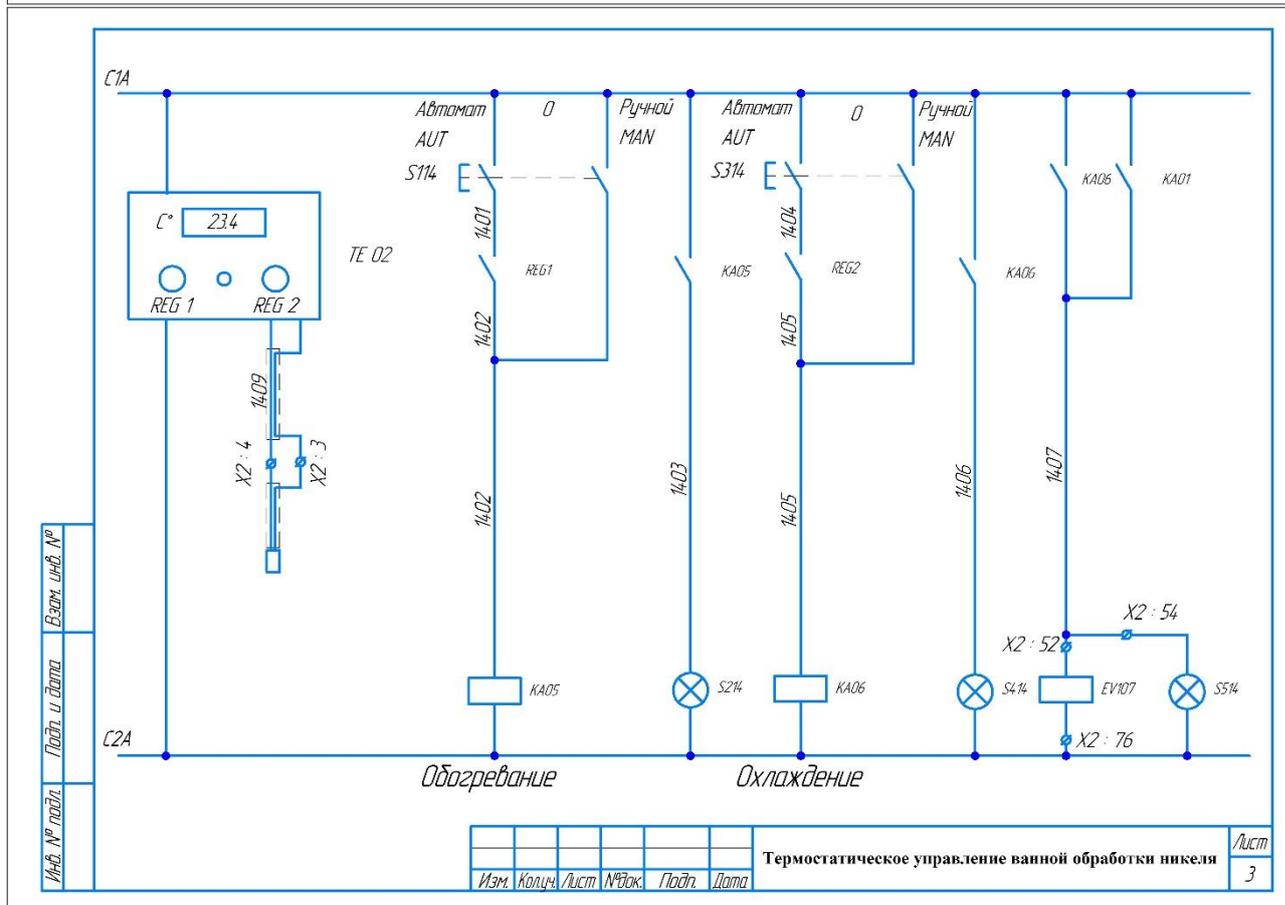
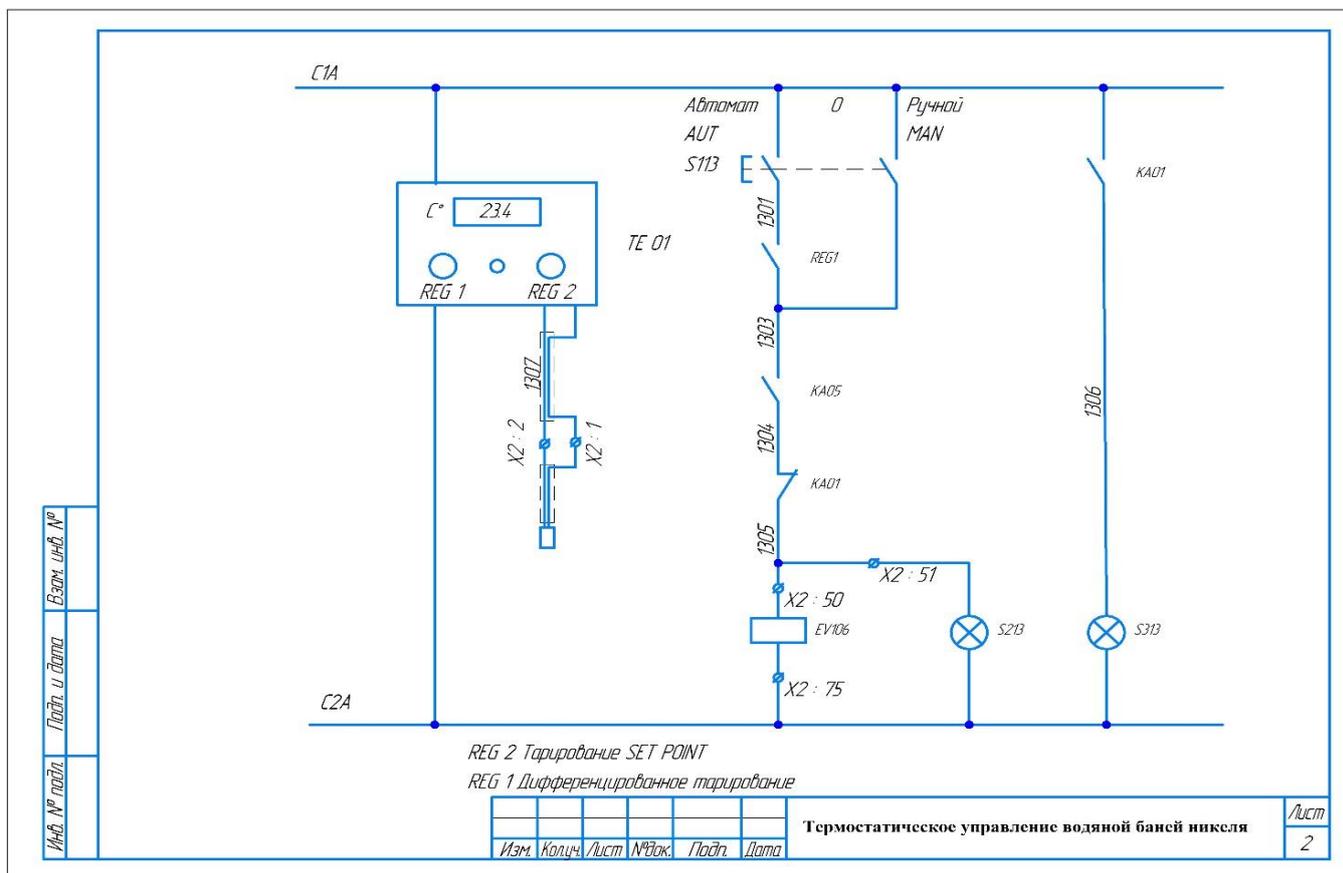
При помощи переключателей S113 и S114 в положении "автоматический", обогревание будет контролироваться терморегуляторами ТЕ01, ТЕ02, в положении "нуль" будет все остановлено, в то время как в положении "ручной" обогревание будет всегда

включено и оператор должен будет контролировать температуры (эта позиция понадобится только в случае поломки терморегуляторов).

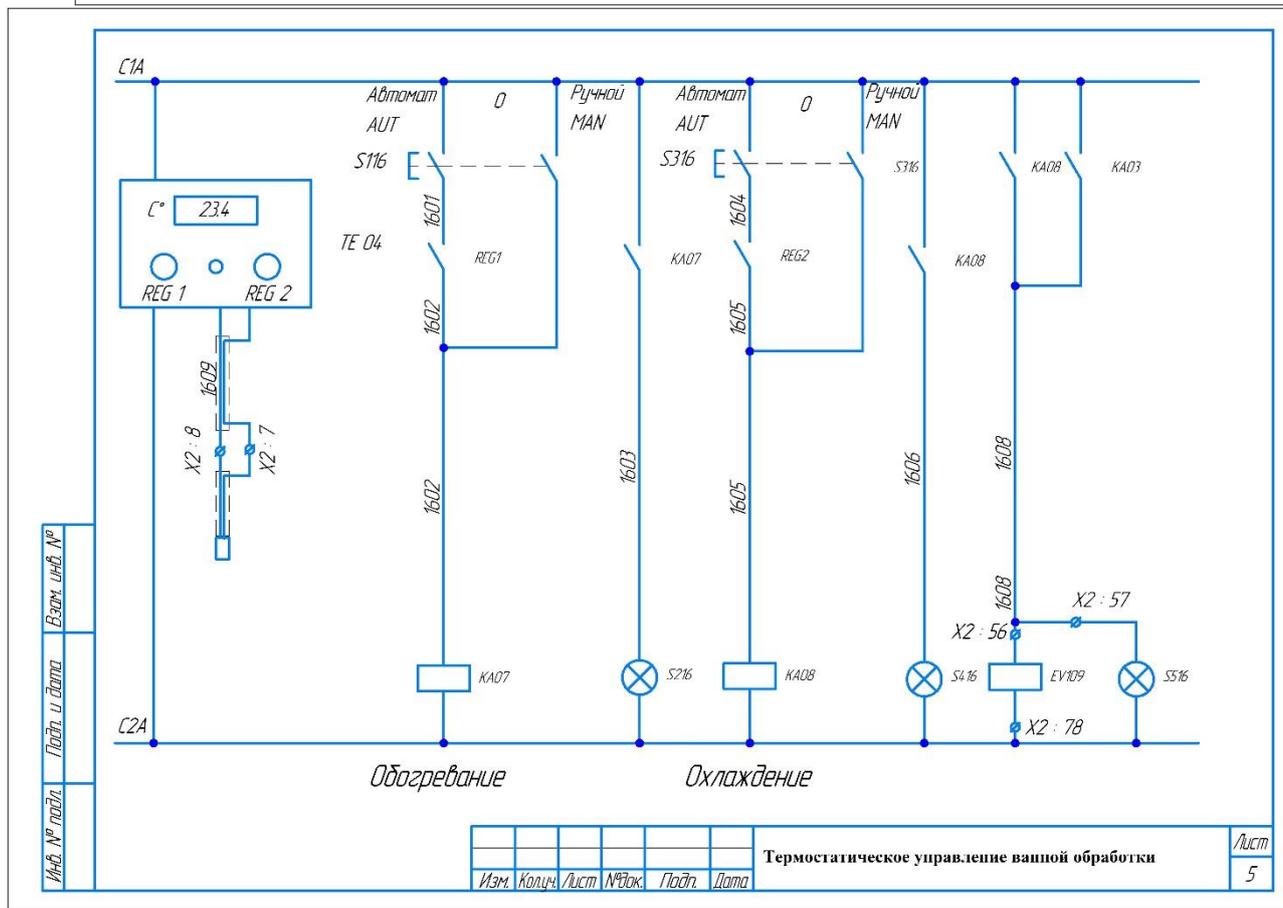
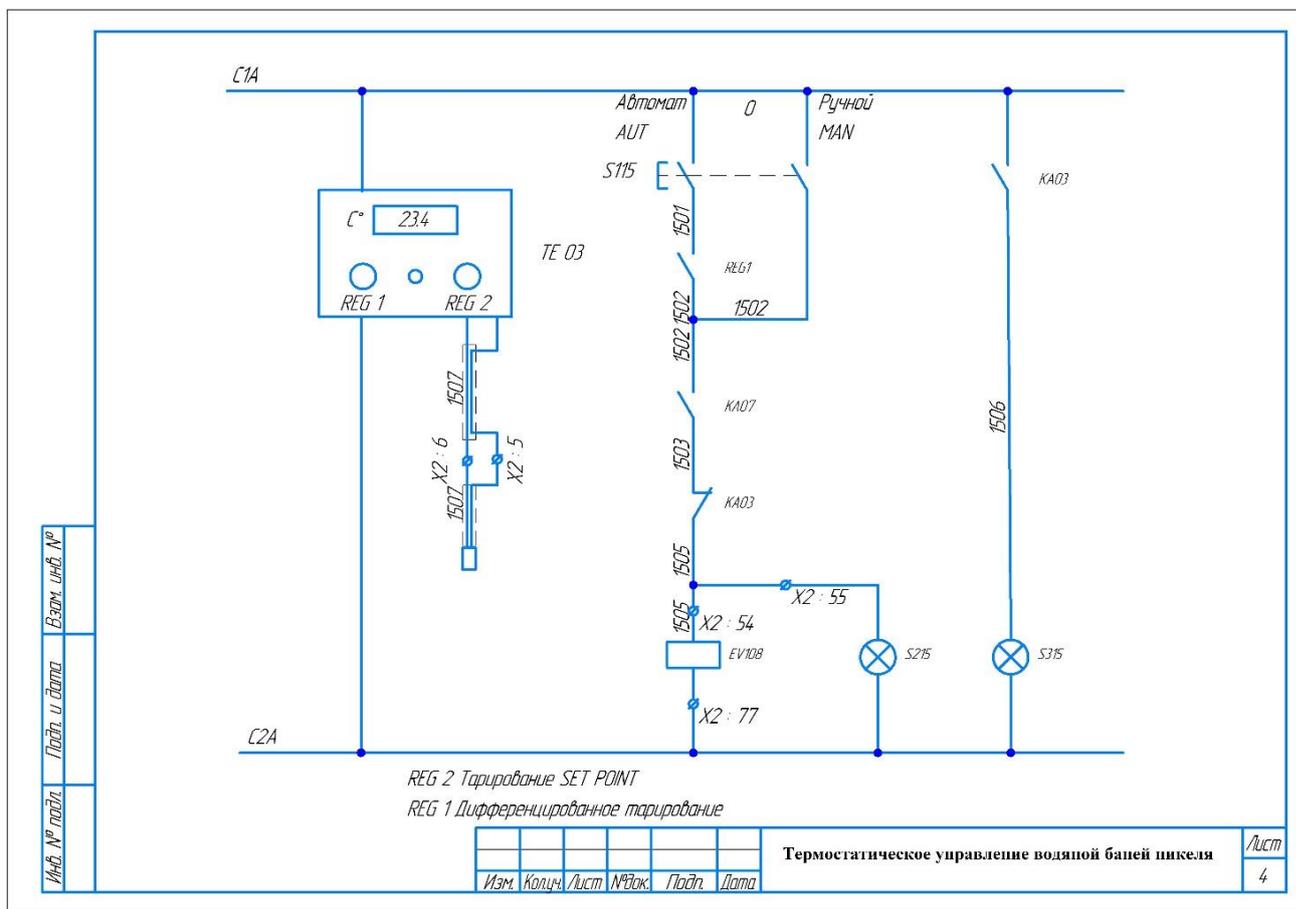
Сказанное выше относится также и к селектору S314 который управляет охлаждением.

Схема А





(См. Схему В) Ванна обработки обогревается "водной баней". Терморегулятор ТЕ03 управляет водной баней и поддерживает ее в работе до тех пор, пока ванна обработки не достигнет своей рабочей температуры.



(См. Схему С) Ванна обработки обогревается "водяной баней". Терморегулятор ТЕ05 управляет водяной баней и поддерживает ее в работе до тех пор, пока ванна обработки не достигнет своей рабочей температуры.

Водяная баня будет включена до достижения температуры заданной положением 2 терморегулятора ТЕ05 и включится, когда температура снизится ниже заданной в положении 1 дифференциальной величины.

Эти операции регулирования исполняются, отодвигая центральный отклоняющий механизм терморегулятора влево и поворачивая потенциометр REG1. Отодвигая отклоняющий механизм вправо и поворачивая потенциометр REG2 визуализируются точки SET в центральной позиции отклонителя показывая эффективную температуру.

Водяная баня продолжит нагревать ванну обработки до тех пор, пока последняя не достигнет заданной температуры в ТЕ06 REG1.

Обогревание водяной бани связано регулированием температуры ванны обработки, дифференциалом термостата водяной бани и его уровнем, проверенным LV03 секция один.

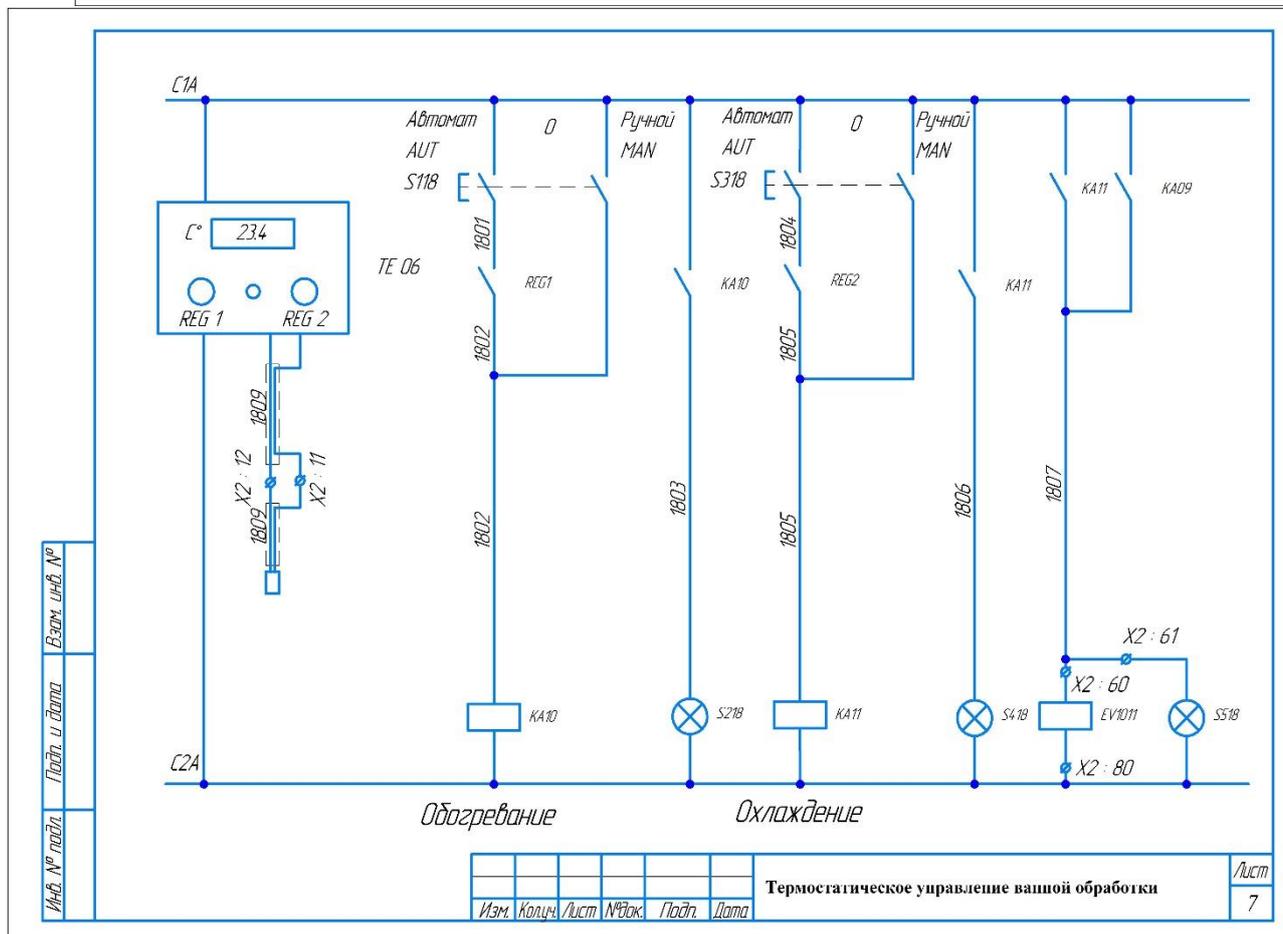
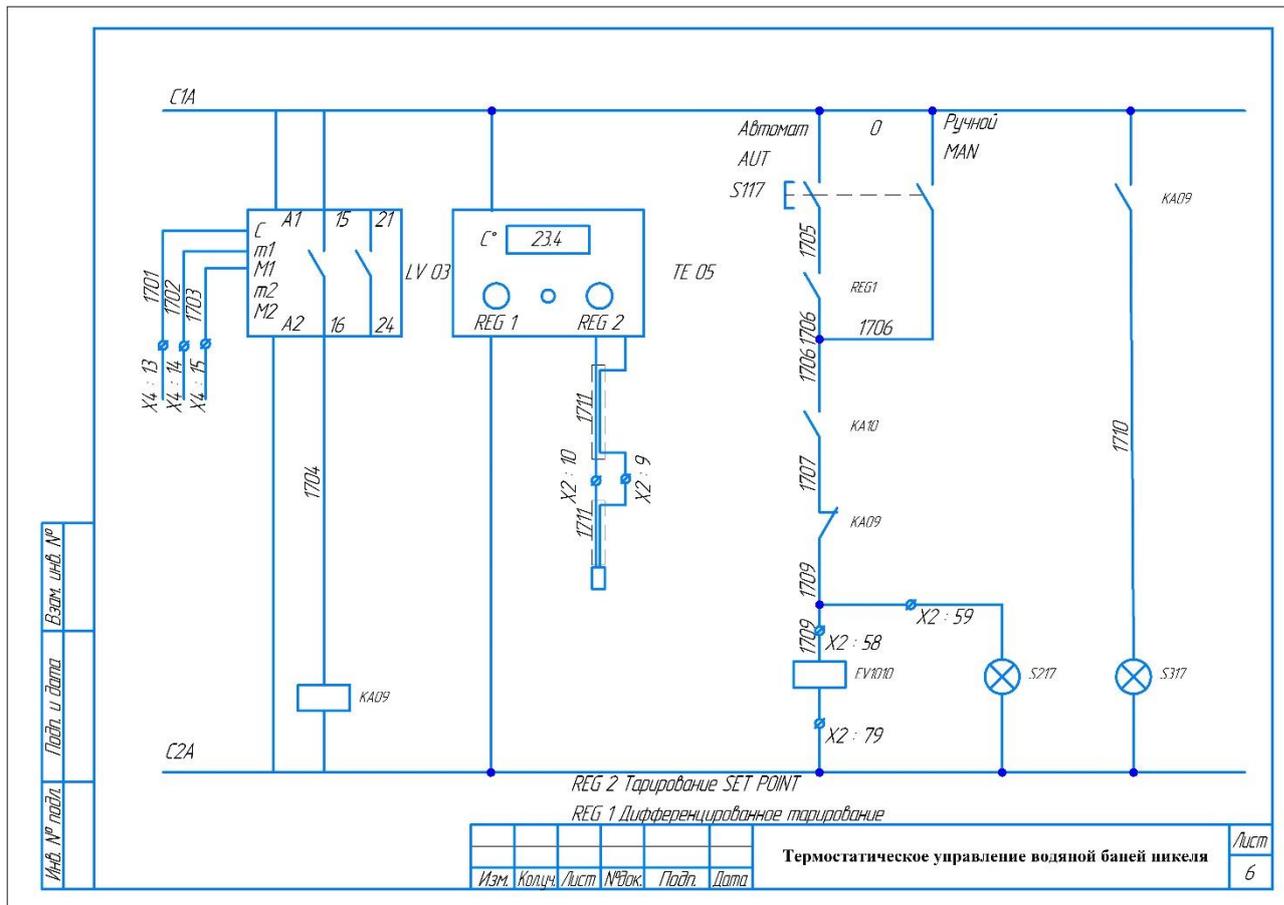
В случае если уровень водяной бани снизится, сработает контрольный механизм LV03 (и его вспомогательное реле КА09), оно остановит обогревание и дополнит ванну.

Ванна обработки нуждается также в охлаждении, это происходит в тех случаях, когда температура ванны обработки достигает заданной величины в REG2 ТЕ06. В этот момент возбуждается электроклапан который загрузит холодную воду в водяную баню и, следовательно, охладится ванна обработки.

При помощи переключателей S117 и S118 в положении "автоматический", обогревание будет контролироваться терморегуляторами ТЕ05, ТЕ06, в положении "нуль" будет все остановлено, в то время как в положении "ручной" обогревание будет всегда включено и оператор должен будет контролировать температуры (эта позиция понадобится только в случае поломки терморегуляторов).

Сказанное выше относится также и к селектору S318 который управляет охлаждением.

Схема С



Функционирование фильтр насосов

Система не является автоматизированной, но автоматика отвечает за его управление, то есть управление происходит следующим образом:

Нажимая на кнопку пуска (S112) происходит прямое включение фильтр-насоса при наличии жидкости и если не сработал защитный магнито-термический выключатель Q112 который дестабилизирует счетчик K112

Остановка Фильтр-насоса получается, нажимая на кнопку S212. До включения насоса убедитесь в том, что клапана всасывания и подачи были открыты.

Функционирование башни подавления дымов

Нажимая кнопку S122 (Пуск башни), подключается Звезда- Треугольник насоса промывки дымов и автоматически происходит загрузка воды в башню через электроклапан EV1 012. При переходе насоса к треугольнику, автоматически подключается аспиратор дымов (управление Звезда-Треугольник).

Для остановки всего вышеописанного достаточно нажать на кнопку S222 (Остановка).

В случае если уровень воды в Башне снизится ниже допустимого уровня насоса все останавливается (Насос и Аспиратор).

Заключение

Проведённый выше анализ позволяет применить на практике модернизацию устаревших систем, так же стало известно, что некоторые узлы могут работать ещё долгие годы и не требуют изменений.

Водяная баня для нагрева раствора на линии никелирования и хромирования выполняет, поставленную задачу, является актуальной моделью в наше время и не требует замены.

Терморегулятор осуществляющий контроль за температурой в ваннах обработки и открытию клапанов подачи воды с водяной бани и охлаждения, выполняет поставленную задачу, но его срок службы давно истёк и выход из строя происходит всё чаще. Требуется нахождение аналога, так как данное устройство более не выпускается.

Ёмкостные уровнемеры, предназначенные для регулирования уровня раствора в ваннах никелирования и хромирования, на данном предприятии установлены ёмкостные уровнемеры "трёхноги", регулировка уровня происходит довольно грубо, современные же устройства, позволяют осуществить данный процесс с большей точностью.

Любому производству следует проводить своевременную модернизацию и внедрять современные решения.

Список литературы

1. Автоматизация производственных процессов в машиностроении. - М.: Высшая школа, 2015. - 416 с.
2. Автоматизация технологических процессов / А.Г. Схиртладзе и др. - М.: ТНТ, 2013. - 524 с.
3. Антонетти, П. МОП-БИС. Моделирование элементов и технологических процессов / П. Антонетти, Д. Антониадис, Р. Даттон, и др. - М.: Радио и связь, 2016. - 496 с.
4. Безопасность жизнедеятельности. Безопасность технологических процессов и производств. Охрана труда / П.П. Кукин и др. - М.: Высшая школа, 2016. - 336 с.
5. Бондарук, А.М. Автоматизированные системы управления качеством в технологических процессах / А.М. Бондарук, С.С. Гоц. - М.: Уфа: Монография, 2013. - 144 с.
6. Виноградов, В. М. Автоматизация технологических процессов и производств.

- Введение в специальность. Учебное пособие / В.М. Виноградов, А.А. Черепакин. - М.: Форум, Инфра-М, 2014. - 192 с.
7. Иванов, А. А. Автоматизация технологических процессов и производств / А.А. Иванов. - М.: Форум, 2011. - 224 с.
 8. Иванов, А. А. Автоматизация технологических процессов и производств. Учебное пособие / А.А. Иванов. - М.: Форум, Инфра-М, 2015. - 224 с.
 9. Кайнова, Елена Геннадьевна Моделирование Химико-Технологических Процессов / Кайнова Елена Геннадьевна. - Москва: ИЛ, 2016. - 663с.
 10. Кувшинский, В.В. Автоматизация технологических процессов в машиностроение / В.В. Кувшинский. - Москва: Мир, 2012. - 272 с.
 11. Кузнецов, М.М. Автоматизация производственных процессов / М.М. Кузнецов, Л.И. Волчкевич, Ю.П. Замчалов. - М.: Высшая школа; Издание 2-е, перераб. и доп., 2014. - 431 с.
 12. Кузьмин, В. В. Математическое моделирование технологических процессов сборки и механической обработки изделий машиностроения / В.В. Кузьмин, А.Г. Схиртладзе. - М.: Высшая школа, 2012. - 280 с.
 13. Литовка, Ю.В. Исследование зависимости неравномерности и микротвердости никелевого гальванического покрытия от параметров реверсивного тока / Ю.В. Литовка, А.С. Егоров // Совершенствование технологии гальванических покрытий: Тезисы докладов XV международного совещания 2–4 октября 2012 г. -Киров: Вятский государственный университет, 2012. - С. 68-69.
 14. Литовка, Ю.В. Компьютеризированная система электроосаждения металлов с использованием реверсивного тока / Ю.В. Литовка, А.С. Егоров // Приборы и системы. Управление, контроль, диагностика. - 2014. - № 2. - С. 39-42.
 15. Новиков, Александр Николаевич; Иващук О. А. Компьютерное Моделирование Технологического Процесса Восстановления И Упрочнения Деталей Сельскохозяйственной Техники На Примере Мдо / Новиков Александр Николаевич; О. А. Иващук, Е.Д. Дворнов. - Москва: Высшая школа, 2011. - 829 с.
 16. Осипов Автоматизация Технологических Процессов / Осипов. Москва: Гостехиздат, 2013. - 131 с.
 17. Островский, Г. М. Методы оптимизации химико-технологических процессов / Г.М. Островский, Ю.М. Волин, Н.И. Зиятдинов. - М.: КДУ, 2015. - 424 с.
 18. Рыбин, Ю. И. Математическое моделирование и проектирование технологических процессов обработки металлов давлением / Ю.И. Рыбин, А.И. Рудской, А.М. Золотов. - М.: Наука, 2013. - 644 с.
 19. Федоткин, И. М. Математическое моделирование технологических процессов / И.М. Федоткин. - М.: Либроком, 2011. - 416 с.
 20. Фельдштейн, Е. Э. Автоматизация производственных процессов в машиностроении / Е.Э. Фельдштейн, М.А. Корниевич. - М.: Инфра-М, Новое знание, 2011. - 272 с.
 21. Хашемиан, Х. М. Датчики технологических процессов. Характеристики и методы повышения надежности / Х.М. Хашемиан. - М.: Бином, 2014. - 336 с.
 22. Шишмарев, В. Ю. Автоматизация производственных процессов в машиностроении / В.Ю. Шишмарев. - М.: Academia, 2012. - 368 с.
 23. Шишмарев, В. Ю. Автоматизация технологических процессов / В.Ю. Шишмарев. - М.: Academia, 2013. - 352 с.
 24. Шишмарев, В. Ю. Автоматизация технологических процессов / В.Ю. Шишмарев. - М.: Академия, 2012. - 352 с.
 25. Шишмарёв, В. Ю. Автоматизация технологических процессов. Учебник / В.Ю. Шишмарёв. - М.: Academia, 2014. - 352 с.
 26. El-Sherik, A.M. Microstructural evolution in pulse plated nickel electrodeposits / A.M.

- El-Sherik, U. Erb, J. Page // Surface and coatings technology, 2010. - № 88. -p. 70-78.
27. Kollia, C. Nickel plating by pulse electrolysis: textural and microstructural modifications due to adsorption/desorption phenomena / C. Kollia, N. Spyrellis, J. Am-blard // Journal of applied electrochemistry, 2007. - № 20. - P. 1025-1032.
28. Tang, P.T. Improved corrosion resistance of pulse plated nickel through crystallisation control / P.T. Tang, T. Watanabe, J.E.T. Andersen, G. Bech-Nielsen // Journal of applied electrochemistry, 2009. - № 25. - P. 347-352.
29. Tang, P.T. Pulse reversal plating of nickel and nickel alloys for microgalvan-ics / P.T. Tang // Electrochimica Acta, 2001. - № 47. - P. 61-66.

References

1. Automation of production processes in mechanical engineering. - M.: Higher school, 2015. -- 416 p. [in Russian].
2. Automation of technological processes / A.G. Shirladze et al. - M.: TNT, 2013. -- 524 p. [in Russian].
3. Antonetti, P. MOS-BIS. Modeling of elements and technological processes / P. Antonetti, D. Antoniadis, R. Dutton, and others. - M.: Radio and communications, 2016. - 496 p. [in Russian].
4. Life safety. Safety of technological processes and production. Labor protection / P.P. Kukin et al. - M.: Higher School, 2016. -- 336 p. [in Russian].
5. Bondaruk, A.M. Automated quality management systems in technological processes / A.M. Bondaruk, S.S. Gotz. - M.: Ufa: Monograph, 2013. -- 144 p. [in Russian].
6. Vinogradov, V. M. Automation of technological processes and production. Introduction to the specialty. Textbook / V.M. Vinogradov, A.A. Turtle. - M.: Forum, Infra-M, 2014. -- 192 c. [in Russian].
7. Ivanov, A. A. Automation of technological processes and production / A.A. Ivanov. - M.: Forum, 2011. - 224 p. [in Russian].
8. Ivanov, A. A. Automation of technological processes and production. Textbook / A.A. Ivanov. - M.: Forum, Infra-M, 2015. - 224 p. [in Russian].
9. Kainova, Elena Gennadyevna Modeling of Chemical-Technological Processes / Kainova Elena Gennadevna. - Moscow: IL, 2016. -- 663 p. [in Russian].
10. Kuvshinsky, V.V. Automation of technological processes in mechanical engineering / V.V. Kuvshinsky. - Moscow: World, 2012. -- 272 p. [in Russian].
11. Kuznetsov, M.M. Automation of production processes / M.M. Kuznetsov, L.I. Volchkevich, Yu.P. Zamchalov. - M.: Higher school; 2nd edition, revised. and add., 2014. - 431 p. [in Russian].
12. Kuzmin, V.V. Mathematical modeling of technological processes of assembly and machining of engineering products / V.V. Kuzmin, A.G. Shirladze. - M.: Higher School, 2012. - 280 p. [in Russian].
13. Litovka, Yu.V. Investigation of the dependence of non-uniformity and microhardness of nickel plating on the parameters of the reverse current / Yu.V. Litovka, A.C. Egorov // Improving the technology of galvanic coatings: Abstracts of the XV international meeting October 2-4, 2012 Kirov: Vyatka State University, 2012. - P. 68-69 [in Russian].
14. Litovka, Yu.V. Computerized system of electrodeposition of metals using reverse current / Yu.V. Litovka, A.C. Egorov // Devices and systems. Management, control, diagnostics. - 2014. - No. 2. - P. 39-42. [in Russian].
15. Novikov, Alexander Nikolaevich; Ivashchuk O. A. Computer Modeling of the Technological Process of Restoration and Hardening of Details of Agricultural Machinery Based on the Example of MDO / Novikov Alexander Nikolaevich; O.A. Ivashchuk, E.D. Dvornov. - Moscow: Higher School, 2011. - 829 c. [in Russian].

16. Osipov Automation of Technological Processes / Osipov. Moscow: Gostekhizdat, 2013. -- 131 p. [in Russian].
17. Ostrovsky, G. M. Methods of optimization of chemical-technological processes / G.M. Ostrovsky, Yu.M. Volin, N.I. Ziyatdinov. - M.: KDU, 2015. -- 424 p. [in Russian].
18. Rybin, Yu. I. Mathematical modeling and design of technological processes of metal forming / Yu.I. Rybin, A.I. Rudskoy, A.M. Zolotov. - M.: Nauka, 2013. -- 644 p. [in Russian].
19. Fedotkin, I. M. Mathematical modeling of technological processes / I. M. Fedotkin. - M.: Librocom, 2011. -- 416 p. [in Russian].
20. Feldstein, E. E. Automation of production processes in mechanical engineering / E.E. Feldstein, M.A. Kornievich. - M.: Infra-M, New Knowledge, 2011. - 272 p. [in Russian].
21. Hashemian, Kh. M. Sensors of technological processes. Characteristics and methods of increasing reliability / Kh.M. Hashemian. - M.: Binom, 2014. -- 336 p. [in Russian].
22. Shishmarev, V. Yu. Automation of production processes in mechanical engineering / V.Yu. Shishmarev. - M.: Academia, 2012. -- 368 p. [in Russian].
23. Shishmarev, V. Yu. Automation of technological processes / V.Yu. Shishmarev. - M.: Academia, 2013. -- 352 p. [in Russian].
24. Shishmarev, V. Yu. Automation of technological processes / V.Yu. Shishmarev. - M.: Academy, 2012. -- 352 p. [in Russian].
25. Shishmaryov, V. Yu. Automation of technological processes. Textbook / V.Yu. Shishmaryov. - M.: Academia, 2014. -- 352 p. [in Russian].
26. El-Sherik, A.M. Microstructural evolution in pulse plated nickel electrodeposits / A.M. El-Sherik, U. Erb, J. Page // Surface and coatings technology, 2010. - No. 88. -P. 70-78.
27. Kollia, C. Nickel plating by pulse electrolysis: textural and microstructural modifications due to adsorption / desorption phenomena / C. Kollia, N. Spyrellis, J. Amblard // Journal of applied electrochemistry, 2007. - No. 20. - P. 1025-1032.
28. Tang, P.T. Improved corrosion resistance of pulse plated nickel through crystallization control / P.T. Tang, T. Watanabe, J.E.T. Andersen, G. Bech-Nielsen // Journal of applied electrochemistry, 2009. - No. 25. - P. 347-352.
29. Tang, P.T. Pulse reversal plating of nickel and nickel alloys for microgalvanics / P.T. Tang // Electrochimica Acta, 2001. - No. 47. - P. 61-66.