

## РЕФЕРАТ

Пояснительная записка: 51 страница, 16 рисунков, 17 таблиц, 16 источников литературы.

Ключевые слова: автоматизация, технология, лаконоанесение, детали, станки, управление

Объект исследования или разработки — предприятие, производящее и реализующее мебельные и столярные изделия.

Целью выпускной квалификационной работы является: на основании анализа процессов шлифования-лаконоанесения щитовых деталей на ООО «МЭЙКО» разработать проект автоматизации подачи заготовок на шлифовальном станке и транспортере загрузки щеточного станка с возможностью пометки щитов при многопроходном процессе отделки, обеспечивающий реализацию заданных технологических режимов, повышение производительности, снижение трудоемкости процесса производства.

Результаты данной работы будут внедрены в хозяйственную деятельность предприятия ООО «МЭЙКО» для повышения эффективности технологических процессов компании.

СОДЕРЖАНИЕ	
Введение	4
1. Объект автоматизации	6
1.1 Технология нанесения лакокрасочных материалов	6
1.2 Анализ объекта автоматизации	16
1.2.1 Лакононаливочная машина ЛМ-3	16
1.2.2 Шлифовальный станок PDA-4375	19
1.2.3 Схема управления шлифовальным станком	22
2. Проектные решения по реконструкции, совершенствованию систем автоматизации, компьютеризации оборудования	25
2.1 Решения по реконструкции	25
2.2 Предлагаемая схема автоматизации	25
3. Оптимизация систем автоматического регулирования и управления	28
3.1 Управление скоростью подачи	28
3.2 Управление подачей лака	32
3.3 Плата коммутирования аналоговых сигналов PCLD-789D	35
3.4 Модуль микроконтроллера CPU188-5	37
3.5 Пакетоукладчик УП-1	44
3.6 Рекомендации по эксплуатации системы компьютерной автоматизации.	46
Заключение	49
Список литературы	50

## Введение

Повышение производительности процесса нанесения лака на детали мебели из сплошного массива, являющегося одним из наиболее трудоемких при производстве мебели, достигается применением шлифовальных станков для обеспечения требуемой шероховатости и лаконоливных машин, в которых для нанесения лака используются различные принципы конструкции и технологии. Конструктивные недостатки узлов и механизмов шлифовальных станков и лаконоливных машин, недостаточное научное обоснование существующих режимов процесса нанесения лака на щиты, а также повышение расхода лака и шлифовальной шкурки дают поле деятельности для определения оптимальных режимов процесса лаконанесения. Все это требует дальнейшего изучения исследуемого процесса.

В осуществлении комплексной автоматизации многих производственных процессов большое значение имеет автоматизация операций нанесения лакокрасочных покрытий.

Вследствие развития химической промышленности и получения новых лакокрасочных материалов область применения лакокрасочных покрытий будет резко увеличиваться, следовательно, и вопрос автоматизации в этой области становится все более актуальным.

Метод нанесения лакокрасочных материалов в электрическом поле высокого напряжения является одним из важных путей осуществления механизации и автоматизации технологического процесса окраски, экономии дефицитных лаков и эмалей и находит все большее применение в различных отраслях промышленности. Одновременно получает все большее распространение прогрессивный метод терморadiационной сушки лакокрасочных покрытий при помощи панелей инфракрасного темного излучения.

Поэтому дальнейшим совершенствованием процесса окраски и сушки деталей явилось создание установки, сочетающей эти два прогрессивных метода — полуавтомат для окраски и сушки деталей.

Полуавтомат для окраски и сушки деталей. Конструкция автомата разработана ленинградским отделением Лакокраскопокрытие совместно с Ленинградским электромеханическим заводом. Полуавтомат представляет собой установку для комплексной многослойной электроокраски и терморadiационной сушки малогабаритных деталей.

Установка состоит из следующих основных узлов корпуса агрегата, конвейера с приводной станцией, терморadiационных элементов, дисковых распылителей, дозирующих насосов, высоковольтного выпрямительного устройства и пульта управления.

Каркас агрегата выполнен в виде сварной конструкции из -профильного проката, на которой крепятся все остальные узлы. Вертикальный конвейер на два параллельных потока изготовлен из трехрядной цепи длиной 150 м и со скоростью движения 3 м×1мин. На конвейере установлены свободно вращающиеся ролики с шагом 100 мм, на которых крепятся штыри с приспособлениями для навешивания деталей, подлежащих окраске. Цепь при помощи ведущей звездочки движется по направляющим, на которые опираются ролики.

Изделие закреплено на штыре, имеющем вращательное и поступательное движение вместе с деталью, подлежащей окраске. Для натяжения цепи предусмотрена натяжная станция с балластом, который является противовесом и выбирает ослабление цепи. На позициях окраски поворот цепи конвейера осуществляется при помощи звездочек и направляющих.

Приводная станция состоит из электродвигателя, червячного редуктора, вариатора числа оборотов и приводной звездочки. Все элементы станции смонтированы на каркасе агрегата. Наличие вариатора позволяет регулировать скорость движения цепи конвейера. Для сушки окрашиваемых деталей применяется терморadiационный нагрев. В качестве излучателей использованы трубчатые нагревательные элементы с температурой излучаемой поверхности 400°.

Трубчатые элементы с отражателями располагаются на кронштейнах вдоль конвейера. Сушка грунта и первого покрытия осуществляется

одновременно на встречных потоках. Общая мощность смонтированных терморadiационных трубчатых элементов для двух параллельных потоков составляет 88 кет.

Качество краски, наносимой на изделие в электрическом поле, в большой мере зависит от точности дозирования.

Вторая часть корпуса при помощи диафрагменного клапана соединена с расходным баком, заполненным краской, и с распылительным устройством (через нагнетательный клапан).

При постоянном возвратно-поступательном движении поршня диафрагма всасывает и нагнетает материал в строго определенном количестве. Регулирование подачи осуществляется при помощи регулировочного крана за счет изменения проходного отверстия в магистрали, связывающей полость насоса, заполненную маслом, с резервной емкостью. Система гидравлической регулировки может обеспечить точность дозирования лакокрасочных материалов в широких пределах, а отсутствие трущихся поверхностей — высокую износостойкость насоса и обеспечить длительность его работы. Испытания опытного насоса в производственных условиях показали хорошие результаты. Указанные насосы с гидравлическими приводами будут применены в полуавтомате для дозирования лакокрасочного материала.

Привод штока плунжера осуществляется от кулачков, установленных на поворотной звездочке у каждой позиции окраски. Для каждого дискового распылителя предусматриваются два насоса, работающих на двухтактной схеме через общий ресивер.

Выпрямительное устройство питается от сети переменного тока напряжением 220 в через вариатор напряжения, допускающий регулировку высокого напряжения в широких пределах (от 0 до 100 тыс. в). Высоковольтное оборудование состоит из повышающего трансформатора с масляным охлаждением и кенотроном марки КРМ-150, смонтированным вместе с трансформатором.

Технологический процесс окраски, выполняемый на агрегате, включает загрузку деталей на конвейер, нанесение грунта 138 в электрическом поле с

применением дискового распылителя, терморadiационную сушку грунта, нанесение в электрическом поле мочевино-формальдегидной эмали У-417, ее терморadiационную сушку и разгрузку окрашенных деталей.

Агрегат работает в такой последовательности. Детали, подвергающиеся окраске и сушке, устанавливаются вручную на вращающиеся штыри. С позиции Загрузка детали, вращаясь вокруг своей оси, проходят через первую электрическую окрашивающую систему, где на них наносится грунт 138. Затем изделия с грунтом подвергаются терморadiационной сушке и направляются в следующую окрашивающую систему, где на них наносится мочевино-формальдегидная эмаль У-417. Последняя подвергается терморadiационной сушке одновременно с загрунтованными деталями на встречных потоках.

После высыхания последнего покрытия детали разгружаются с конвейера на позиции Разгрузка. Полуавтомат обслуживают два рабочих. Опытный агрегат успешно прошел производственные испытания. Внедрение полуавтомата позволило снизить расход лакокрасочных материалов более чем на 50%, в 12 раз сократить количество рабочих, в 5 раз уменьшить производственную площадь и сэкономить потребляемой электроэнергии.

Недостатки существующих систем автоматизации проходных шлифовальных станков и лаконолильных машин говорят об актуальности темы выпускной квалификационной работы. В связи с этими рассматриваемые в работе вопросы представляют теоретический и практический интерес.

В России в 70-х годах было установлено оборудование для процесса шлифования и последующего лакононаесения на детали мебели из сплошного массива, и оно удовлетворяло требованиям того времени как по производительности, так и по качеству готовой продукции. Но по мере развития научно-технического прогресса оборудование морально устаревает и требует модернизации, а главное введение (включение) в технологический процесс современных электронно-вычислительных машин. Таким образом, назревает реальная проблема автоматизации всего процесса лакононаесения в целом.

Целью выпускной квалификационной работы является: на основании анализа процессов шлифования-лаконанесения щитовых деталей на ООО «МЭЙКО» разработать проект автоматизации подачи заготовок на шлифовальном станке и транспортере загрузки щеточного станка с возможностью пометки щитов при многопроходном процессе отделки, обеспечивающий реализацию заданных технологических режимов, повышение производительности, снижение трудоемкости процесса производства.

Поставленная цель достигается решением ряда задач:

1. Провести теоретические исследования объекта автоматизации;
2. Разработать автоматизированный комплекс поддержания оптимальной скорости работы оборудования;
3. Выбрать современный комплекс технических средств автоматизации;





## **1. Объект автоматизации**

### **1.1 Технология нанесения лакокрасочных материалов**

Для получения лакового покрытия на деталях из сплошного массива на предприятии ООО «МЭЙКО» используется лаконоливная машина ЛМ-3. Подготовка поверхности производится шлифовальным станком PDA-4375.

На несложные по форме изделия (без внутренних углов) лакокрасочное покрытие можно наносить простым обливанием из шланга или разбрызгивающими устройствами, подобными дождевальным установкам.

Такой способ нанесения покрытий может быть очень производительным, но он не обеспечивает получения ровных покрытий.

Характерная особенность этого способа – нанесение материала с избытком. Так как отекание происходит медленно и сопровождается испарением растворителей, вязкость стекающего слоя непрерывно возрастает, что приводит к образованию неравномерных по толщине покрытий; они всегда толще в нижней части изделий. По той же причине на поверхности изделия могут оставаться потеки, а в нижней части его – потеки в виде не вполне оторвавшихся капель краски.

Из-за отмеченных недостатков этот способ применяют только для медленно сохнущих материалов и только для покрытий, к качеству которых не предъявляются высоких требований, например при грунтовании деталей и узлов сельскохозяйственных машин и др.

Получать относительно равномерные по толщине покрытия на поверхности изделий можно, если изделия сразу после обливания краской помещать в атмосферу, содержащую высокую концентрацию паров растворителей этой краски. Поскольку в такой атмосфере испарение растворителей сильно замедлено, излишки краски стекают с изделия и на поверхности остается равномерный слой, удерживаемый лишь силами сцепления с этой поверхностью. После отекания излишков покрытие сушат.

Такой способ нанесения лакокрасочных материалов применим не только для грунтов, но и для эмалей и известен как струйный облив.

Установки для струйного облива (рис. 1) имеют подвесной конвейер, на котором изделия последовательно проходят через входной тамбур I с воздушной завесой, камеру облива II, оборудованную системой труб с соплами, посредством которых происходит облив изделий краской, и паровой туннель III. Паровой туннель делается с наклонным полом и лотками для стока краски обратно в систему облива.

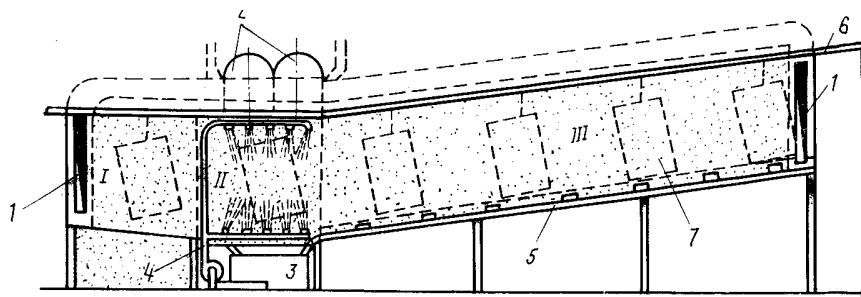


Рис. 1 - Установка для нанесения краски струйным обливом:

I – входной тамбур; II – камера облива; III – паровой туннель; 1 – воздуховод воздушной завесы; 2 – вентиляционная система; 3 – емкость для краски; 4 – трубопровод для подачи краски к соплам; 5 – лоток для стока краски; 6 – монорельс; 7 – изделие струйного облива с выдержкой в парах растворителей.

Установка оборудуется двумя системами вентиляции: рециркуляционной для поддержания в паровом туннеле необходимой концентрации паров растворителей и затворной, создающей воздушные завесы – «затворы» в тамбурах установки. Изделия подвешивают на конвейере так, чтобы любая поверхность их была наклонена по отношению к горизонту не менее чем на  $13^\circ$ . Для быстрого и равномерного стекания краска должна быть относительно невысокой вязкости (20–40 сек по ВЗ-4). С повышением вязкости краски увеличивается толщина покрытия, остающегося на изделии, но одновременно должны повышаться концентрация паров растворителя в туннеле и необходимое время выдерживания изделий в паровом туннеле для стекания излишков краски. Так, для пентафталевой эмали ПФ-115 рекомендуется следующие режимы, приведенные ниже в табл. 1.

Табл. 1 - Режимы для пентафталевой эмали ПФ-115

Толщина одного слоя покрытия, мкм	18-22	35-40	38-42
Вязкость эмали по ВЗ-4, сек	20-25	30-35	35-40
Концентрация паров растворителя в паровом туннеле, г/м <sup>3</sup>	14-16	15-18	20-25
Продолжительность выдержки в паровой фазе, мин	8-10	10-12	10-12

Способом струйного облива можно наносить многие лакокрасочные материалы: масляные, алкидные, мочевино- и меламино-алкидные грунтовки и эмали. Этот способ отличается высокой степенью механизации, малыми потерями лакокрасочного материала. Широко применяется он в машиностроении, в последнее время находит применение для окраски столярно-строительных деталей. По данным З. Б. Ветухновского, в машиностроении применение струйного облива, безвоздушного распыления и электроокраски характеризуется экономией лакокрасочных материалов по сравнению с пневматическим распылением, приведенной в табл. 2.

Табл. 2 - Экономия (%) лакокрасочных материалов при замене способа пневматического распыления другими способами

Группа сложности изделий	Экономия материалов, %, по отношению к расходу при пневматическом распылении		
	при безвоздушном	при электроокраске	при струйном обливе
I	12	12	16
II	20	22	25
III	—	50	50

Однако при обливании плоских горизонтально расположенных поверхностей можно получить равномерный слой нужной толщины за счет равномерного налива. Лак и краску в этом случае необходимо наносить в виде широкой и плоской струи, перекрывающей всю ширину детали. Широкую плоскую струю жидкости можно получить, сливая ее через горизонтальный порог или узкую щель в стенке или дне сосуда. Ламинарный, вначале свободный поток, жидкости под действием сил поверхностного натяжения

деформируется с краев сразу же по выходе из сливной щели.

Однако на небольшом расстоянии от сливной щели и на достаточном удалении от краев средняя часть струи равномерна по толщине. Если через эту часть струи пронести с до статочно большой и равномерной скоростью деталь, поверхность ее будет покрыта равномерным слое жидкости, причем кромки детали, за исключением передней, о тянутся чистыми из-за того же поверхностного натяжения отклоняющего отсеченные части струи в сторону от детали. На этом принципе и основана работа так называемых лакообливочных машин, получивших в последнее время повсеместное распространение для нанесения лаков и эмалей на плоские щиты и детали. Принципиальная схема работы обливочной машины показана на рис. 2.

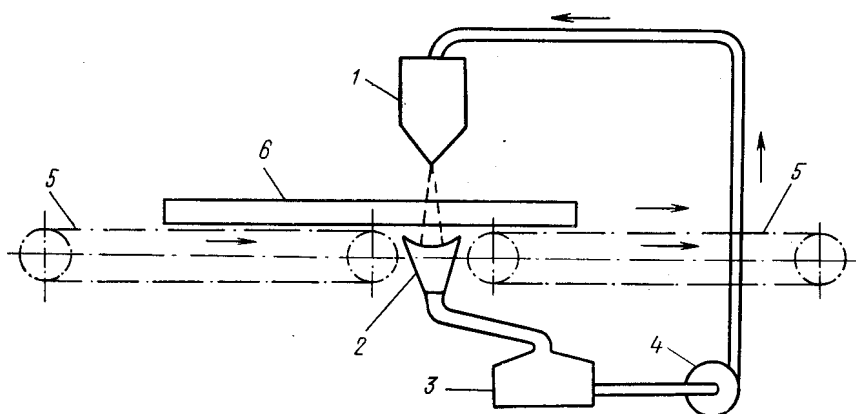


Рис. 2. - Принципиальная схема работы обливочной машины

Вытекающая из сосуда (разливочной головки) 1 плоская струя (жидкости) падает в лоток 2, откуда сливается в бак-отстойник 3 и насосом 4 перекачивается снова в разливочную головку 1, образуя таким образом, замкнутую систему циркуляции. Транспортерами 5, привод которых осуществляется через бесступенчатые вариаторы, через завесу можно пропускать детали 6 с любой требующейся для данного случая скоростью подачи.

Очевидно, что количество лака, наносимого на единицу поверхности детали, будет зависеть от секундного расхода через единицу щели и скорости прохода детали под струей, т. е. скорости подачи, и может быть определено по

формуле

$$P = 6000 \frac{q}{u} \text{ г/м}^2, \quad (1.1)$$

где  $u$  – скорость подачи деталей, м/мин

$q$  – расход лака через 1 см длины щели, г/сек.

В свою очередь

$$q = \frac{Q}{L} \text{ г/см}^2 \text{сек}, \quad (1.2)$$

где  $Q$  – общий секундный расход лака головкой, г/сек;

$L$  – длина головки, см.

Соответственно толщина наносимого слоя лака будет равна

$$h = \frac{P}{10000\gamma} = 0.6 \frac{q}{u\gamma} \text{ см}, \quad (1.3)$$

где  $\gamma$  – плотность жидкого лака, г/см<sup>3</sup>.

При свободном падении лак увлекает за собой воздух, образующий в нем воздушные пузырьки. Перед подачей в головку лак должен быть освобожден от этих пузырьков, в противном случае они могут попасть на поверхность детали вместе с лаком. Для этого в систему циркуляции включается бак-отстойник, в котором лак из приемного лотка стекает по конусной крышке. Отделяются пузырьки частично при стекании лака по крышке и частично в самом баке. В баке во время работы машины должен находиться достаточный запас лака, чтобы пузырьки успевали подняться на поверхность. Для очистки лака от попавшей в него пыли в системе циркуляции лака должны быть предусмотрены фильтры. Свободное падение струи лака в воздухе, отекание и отстаивание его в баке-отстойнике сопровождается испарением растворителей, поэтому вязкость лака, особенно содержащего низкокипящие растворители, может заметно изменяться в процессе работы, если не добавляется растворитель или разбавленный лак. На схемах рис. 3 показаны обливочные машины с разливочными головками, слив из которых происходит через донные щели. Хотя такие разливочные головки получили наибольшее распространение, возможно применение других устройств, для получения сплошной лаковой

завесы, в частности, наклонных экранов, сливных плотин и комбинаций из этих устройств.

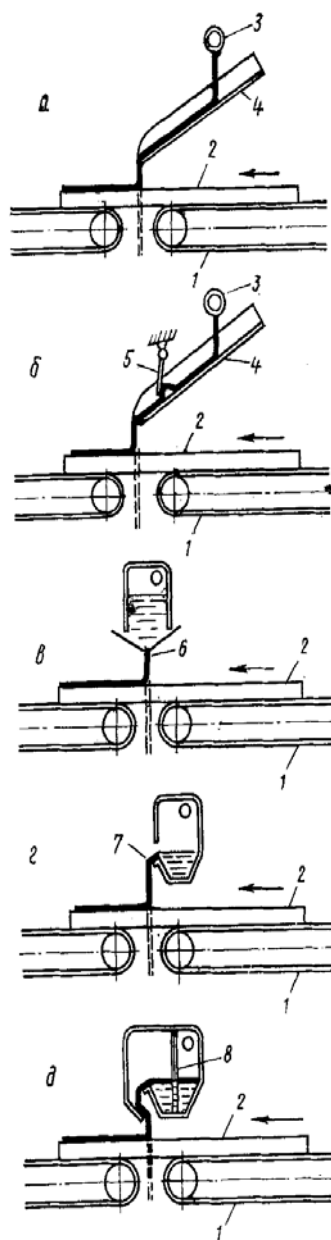


Рис. 3 - Виды разливочных головок

Разливочная головка с экраном представляет собой наклонную плоскость с прямой и горизонтальной нижней кромкой (рис. 3, а). Лак и краска подаются на экран разливной трубой, снабженной рядом сопел. Длина экрана от сопел до сливной кромки должна быть достаточной, чтобы лак успел разлиться по экрану ровным слоем и стекал с его кромки в виде сплошной и одинаковой по толщине пленки жидкости. Иногда для улучшения распределения жидкости

экран снабжают поворотной заслонкой (рис. 3, б), установленной так, чтобы кромка ее была параллельной дну экрана, а поворотом заслонки можно было регулировать величину щели между ними. Общий недостаток устройств с экранами – большая открытая поверхность, с которой происходит испарение растворителей. Это влечет за собой излишнюю их потерю и быстрое изменение вязкости лака, циркулирующего в системе машины. Регулирование расхода лакокрасочного материала здесь может достигаться дозировкой подаваемой на экран жидкости и подъемом заслонки. На рис. 3, в показано устройство, в котором сплошная завеса лака достигается выпуском его через узкую щель в дне разливочной головки. Головка может быть сообщающейся с атмосферой и с герметической крышкой. Расход лака в головке с герметической крышкой может регулироваться как изменением ширины щели, так и изменением давления на лак. Схема обливочного устройства, в котором лаковая завеса образуется при сливе через плотину в боковой стенке, показана на рис. 3, г. Регулировать расход лака в данном случае можно изменением количества лака, накачиваемого в разливочную головку в единицу времени. На рис. 3, д показана схема устройства комбинированной головки со сливной плотиной и коротким экраном, примененная в одной из моделей отечественных лакообливочных машин ЛМ-3. Головка имеет два отсека, разделенных перегородкой с сетчатым фильтром, через который лак проходит из отсека в отсек и через порог сливается на экран. Конструкция разливочной головки оказывает влияние не только на испарение растворителей, но и на скорость истечения лака.

В случае истечения лака из головки с донной щелью расход на единицу длины щели в общем виде определяется уравнением

$$q = \mu b \sqrt{2gH_0}, \quad (1.4)$$

где  $b$  – ширина щели;

$g$  – ускорение силы тяжести;

$H_0$  – напор жидкости в головке;

$\mu$  – коэффициент расхода, зависящий от вязкости жидкости, геометрических размерных параметров сливного отверстия и напора.

Для конкретного типа сливной головки коэффициент должен зависеть от

ширины щели, напора и вязкости жидкости. По экспериментальным исследованиям для лакообливочных машин с донной щелью коэффициент расхода может быть определен по следующему эмпирическому уравнению

$$m = 0.026Re - 0.01, \quad (1.5)$$

где  $Re$  – критерий Рейнольдса; в данном случае

$$Re = 5 \frac{\sqrt{2gHb}}{\nu}, \quad (1.6)$$

где  $H$  – давление лака в головке, м вод. Ст.;

$b$  – ширина щели, мм;

$\nu$  – кинематическая вязкость лака, см<sup>2</sup>/сек. Фактический расход лака 1 см донной щели в этом случае может быть определен по формуле

$$q_{\phi} = 2\mu\nu Re \text{ см}^2/\text{сек} \quad (1.7)$$

Для приближенного перевода условной вязкости лака, определяемой по вискозиметру ВЗ-4 в кинематическую, предлагается эмпирическое уравнение

$$\nu = 0.047\eta_{\text{ВЗ-4}} - 0.18 \text{ см}^2/\text{сек}. \quad (1.8)$$

С увеличением вязкости лака уменьшается значение коэффициента расхода и, следовательно, расход лака  $q$ , что облегчает задачу нанесения тонких слоев. Исходя из этого, а также из экономии растворителей и затрат труда на обливочных машинах, предпочтительнее пользоваться относительно вязкими лаками с высоким содержанием сухого остатка. Регулировать толщину наливаемого слоя лака можно, изменяя ширину щели. Однако уменьшение толщины завесы возможно лишь до определенного предела, так как очень тонкая завеса жидкости начинает часто разрываться под влиянием даже незначительного колебания воздуха. Минимальное значение напора в различных головках со щелью, расположенной в дне головок, определяется необходимостью иметь над щелью некоторый слой жидкости, устраняющий неравномерность местной подачи ее в головку.

Практически этот слой составляет несколько десятков миллиметров. При этих условиях расход через щелевое отверстие, особенно маловязких лаков, оказывается настолько большим, что для нанесения тонкого слоя требуются



большие скорости подачи, которые бесступенчато могут изменяться в пределах от 40 до 120 м/мин. Такие скорости подачи в большинстве случаев значительно превышают требующиеся скорости передвижения деталей в производственных потоках и создают неудобства при включении машин в поточные линии, так как, для прохождения через машину детали должны получать значительный разгон и затормаживаться после прохождения через машину. В этом случае более удобны обливочные машины с разливочными головками, имеющими сливную плотину. Расход жидкости на единицу длины такой плотины

$$q = \mu_2 H \sqrt{2gH}, \quad (1.9)$$

где  $\mu_2$  – коэффициент расхода жидкости при сливе через плотину;

$H$  – напор слива, определяемый превышением уровня жидкости над плотиной, через которую происходит слив, мм;

$g$  – ускорение силы тяжести, м/сек<sup>2</sup>.

Значение  $H$  в данном случае во много раз меньше, чем значение  $H_0$  при сливе через щелевое донное отверстие.

Для жидкостей одинаковой вязкости значение  $\mu_2$  при сливе через тонкую стенку примерно в 2 раза ниже значения при сливе через донное отверстие. Таким образом, скорость струи, а с ней и минимальный расход жидкости в единицу времени через сливную плотину при прочих равных условиях меньше, чем через донную щель. Этот способ успешно применяется для нанесения лака на верхнюю поверхность лыжи. Если детали узкие, лак или краску можно наносить сразу на две смежные поверхности. При этом деталь следует подавать на ребро. В этом случае лакокрасочный материал должен обязательно обладать тиксотропными свойствами, исключающими возможность отекаания его с наклонных поверхностей. Наконец, способом обливания можно наносить лакокрасочный материал также на кромки щитов.

Операция должна выполняться на специальной лакообливочной машине с короткой разливочной головкой и расположением подающего транспортера на большом расстоянии от сливочного отверстия. Обязательным в такой машине является применение вертикальных стержней, верхними концами касающихся

сливного отверстия. Сличаемая из разливочной головки жидкость смачивает стержни и в результате адгезии к стержням и поверхностному натяжению образует пленку, растянутую между стержнями. При проходе щита через эту пленку отсекаемые ребрами щита края струи из-за поверхностного натяжения прижимаются к стержням, исключая возможность забрызгивания струей широких боковых поверхностей щита. Потери растворителей в таких машинах, естественно, превосходят потери в обычных лакообливочных машинах. Наиболее распространенный дефект покрытий, наносимых ла-кообливочными машинами – образование в покрытии воздушных пузырей; возникновение пузырей зависит от различных причин. Пузырьки воздуха могут содержаться в самой лаковой струе как результат недостаточного отстоя лака в баке-отстойнике.

Пузыри могут возникать в лаковой струе также в результате засасывания воздуха через неплотности во всасывающей системе трубопроводов от отстойного бака до насоса. Поэтому обеспечению достаточного отстоя лака в баке и герметичности всасывающей ветви трубопроводов должно уделяться большое внимание. Причиной появления пузырей в покрытии является также поверхность детали и сам способ нанесения покрытия. В обливочной машине лак накладывается на поверхность детали сплошной и непрерывной пленкой. Если на поверхности есть неровности в виде углублений, пор и т. д., а деталь подается слишком быстро, находящийся на поверхности воздух не успевает вытесниться, прикрывается жидкой пленкой и, поднимаясь затем вверх, образует пузыри. Если нанесенный лак низковязкий, а процесс его желатинизации протекает не слишком быстро, пузырьки будут лопаться, а следы их заплывать. В вязких лаках с плохим розливом и быстрой желатинизацией пузырьки могут оставаться в пленке или оставлять на ее поверхности кратеры. Появлению пузырей способствуют шероховатости и незакрытые поры на поверхности древесины, большие скорости подачи детали.

Снижению количества пузырей способствует предварительный подогрев детали (до  $t=60-80^{\circ}\text{C}$ ), снижение вязкости и увеличение удельного расхода лака на единицу лакируемой поверхности.

Обливочные машины – наиболее производительный вид оборудования. Большим достоинством этих машин является также высокий коэффициент полезного использования в них лакокрасочного материала, потери которого состоят лишь из испарившихся во время циркуляции лака растворителей и неизбежных отходов при очистке машины на время перерывов в работе. Для сокращения потерь, связанных с испарением растворителей, в наливочных машинах желательнее применять лаки с минимальным содержанием низкокипящих растворителей.

## **1.2 Анализ объекта автоматизации**

### **1.2.1 Лаконаливочная машина ЛМ-3**

В данной машине используются наливочные головки со сливной плотиной. Принцип работы такой головки показан на рис. 3, д.

Метод облива лакокрасочных материалов по сравнению с пневматическим распылением имеет ряд преимуществ:

- высокая производительность (скорость подачи от 10 до 170 м/мин);
- снижение потерь лакокрасочных материалов;
- уменьшение затрат на создание вентиляционных устройств и улучшение санитарных условий в цехе за счет исключения туманообразования;
- возможность применения высоковязких лакокрасочных материалов для нанесения на детали, в результате чего заданная толщина покрытия может быть получена при меньшем числе слоев.

Лаконаливную машину ЛМ-3 (рис. 4) может быть использована для отделки пластин щитовых деталей. Технические характеристики представлены в табл. 3.

В этой наливной машине головка выполнена в виде сливной плотины с экраном. Сливной лоток представляет собой желоб с установленным внутри Л-образным отсекателем, исключая падение завесы в лакокрасочный материал, из-за чего предотвращается образование пузырей. Принцип работы заключается в следующем. Щит кладут на транспортер, который подает его под

наливочные головки. Из головок вытекает лак, образуя лаковую завесу, которая при попадании на щит образует на нем лаковое покрытие. Лак подается к наливочным головкам из баков по трубопроводам с помощью насосных установок.



Рис. 4. - Лаконаливная машина ЛМ-3

Лак, не попавший на щит, стекает в лотки, расположенные в столе между транспортерами под наливочными головками, и по трубам возвращается в баки.

Табл. 3 - Техническая характеристика лаконаливной машины ЛМ-3

Вязкость лакокрасочных материалов по ВЗ-4, сек	25-130
Расход лаковой смеси на 1 м <sup>2</sup> лакируемой	30-600
Скорость подачи, м/сек	10-170
Длина сливной кромки головки, мм	1400
Диапазон регулирования подъема поливочных головок от уровня стола, мм	30-270
Расстояние между головками, мм	375
Емкость сливного бака, л	50
Установленная мощность, кВт	3.37
Агент подогрева лаковых смесей	горячая вода

Габаритные размеры, мм:	
длина	4000
ширина	2200
высота	1350
Масса, кг	1700

На таких машинах можно отделывать не только пласт щитовых деталей, но и кромки. Для этого деталь кладут на транспортер таким образом, чтобы лакируемая кромка детали находилась под углом 60–65° к лаковой завесе. В качестве лакокрасочных материалов следует использовать материалы фирмы «Фоттелер», режимы работы с которыми, представлены в табл. 4.

Табл. 4 - Режимы лакирования материалов фирмы «Фоттелер»

	Покрытие открытопористое матовое, лак 53018- 7/0000	Покрытие закрытопористое высокоглянцевое, лак 53006-1/0000
Первое грунтование: вид грунтовки расход, г/м <sup>2</sup>	2 25...30	1
Отверждение грунтовки: число ламп продолжительность облучения, с	2 3.8	
Второе грунтование: вид грунтовки расход, г/м <sup>2</sup>	2 20...25	20...25
Отверждение грунтовки: число ламп продолжительность облучения, с	3 5.7	
Первое лакирование: вязкость по ВЗ-4, с расход, г/м <sup>3</sup> скорость подачи в лаконаливной машине, м/мин	30...35 180...200 70	50...68 190 50...55
Выдержка для		

испарения растворителей: температура, °С скорость воздуха, м/с продолжительность, с	40...60 3...4 90	
Отверждение лака: число ламп продолжительность, с	4..5 7.6...9.5	5 9.5

Продолжение табл.4

Второе лакирование: выдержка для испарения растворителей	-	Аналогично первому Аналогично первому
Отверждение лака: число ламп продолжительность, с	- -	6 11.4

### 1.2.2 Шлифовальный станок PDA-4375

Данный станок шлифовальный станок фирмы LINZE (Рис.5) позволяет добиться высокого качества поверхности. Оборудование этой марки LINZE обеспечивает повышенную эффективность, постоянную точность и бесперебойную работу. Основные характеристики станка представлены в табл. 5. Осуществление операций калибрования и шлифования за один проход особенно желательно при значительной толщине удаляемого материала, как, например, при обработке клееного щита.



Рис.5 - Внешний вид станка PDA-4375

Этот оборудован спиральным барабаном, шлифовальным узлом с контактными барабаном и комбинированным плоскошлифовальным узлом, что уменьшает расход энергии и продлевает срок службы абразивной ленты. Стандартная комплектация станка включает в себя спиральный барабан и набор из нескольких сотен сменных плоских режущих пластин, заточенных с четырех сторон, а также цифровой дисплей. По желанию заказчика дополнительно могут быть установлены чистящие щетки и качающиеся обдуватели. Станок включает в себя большой выбор комбинаций шлифовальных головок: контактный барабан, комбинированный плоскошлифовальный узел, двух или трехузловые конфигурации выполняют все поставленные задачи.

Положение контактного барабана можно регулировать, что позволяет использовать его даже при значительном износе ленты. Подъем стола осуществляется электрическим приводом. Удобно расположенная кнопка экстренного выключения позволяет мгновенно остановить станок.

Амперметр показывает нагрузку двигателя. Станок снабжен обрезиненными входным и выходным валиками. Четыре винтовых подъемных опоры рабочего стола. Переменная скорость подачи 5-15 метров в минуту подходит для шлифования всех пород древесины. Предусмотрен автоматический тормоз на случай обрыва или слабого натяжения абразивной ленты. Станок не включится при недостаточном давлении воздуха.

Входной и выходной прижимы сконструированы для того, чтобы осуществлять подачу деталей меньшей длины, чем те, которые могут пройти только через прижимные валики. Щетка для очистки панелей располагается над выходным конвейером с целью удаления пыли с изделий после прохождения ими станка. Качающиеся обдуватели располагаются возле ведомого вала с целью очистки абразивной ленты от пыли.

Табл. 5 - Характеристики PDA-4375

Максимальная ширина обрабатываемой детали, мм	1067
Максимальная толщина обрабатываемой детали, мм	127

Размеры шлифовальной ленты (Ш×Д), мм	1092×1905
Аспирация (Д×число отверстий), мм	150×6
Основной двигатель, л.с.	25
Двигатель подачи, л.с.	5
Двигатель подъема стола, л.с.	0,5
Переменная скорость подачи, м/мин	4-17
Рабочее давление, кг/см <sup>2</sup>	7
Объем воздуха аспирации, м <sup>3</sup> /час	18540
Вес, кг	3500
Габариты, мм.	2870×1930×2015

### 1.2.3 Схема управления шлифовальным станком

Для управления шлифовальным станком может быть использована следующая схема (Рис. 6). В линиях шлифования она является наиболее ответственной. Щит 1 перемещается конвейером 2 механизма подачи (рис. 6, а) и нажимает на бесконтактный конечный выключатель SQ1 Срабатывает реле времени КТ1. Через промежуток времени  $\tau = (l + S_1) / U$ , где  $l$  – расстояние от конечного выключателя до кромки шлифовальной ленты,  $S_1$  – расстояние кромки щита от переднего края шлифовальной ленты,  $U$  – скорость подачи, т. е. когда передняя кромка щита окажется посередине шлифовальной ленты, сработает реле КМ1 (замкнется контакт КТ1) и включит электромагнит УА1.



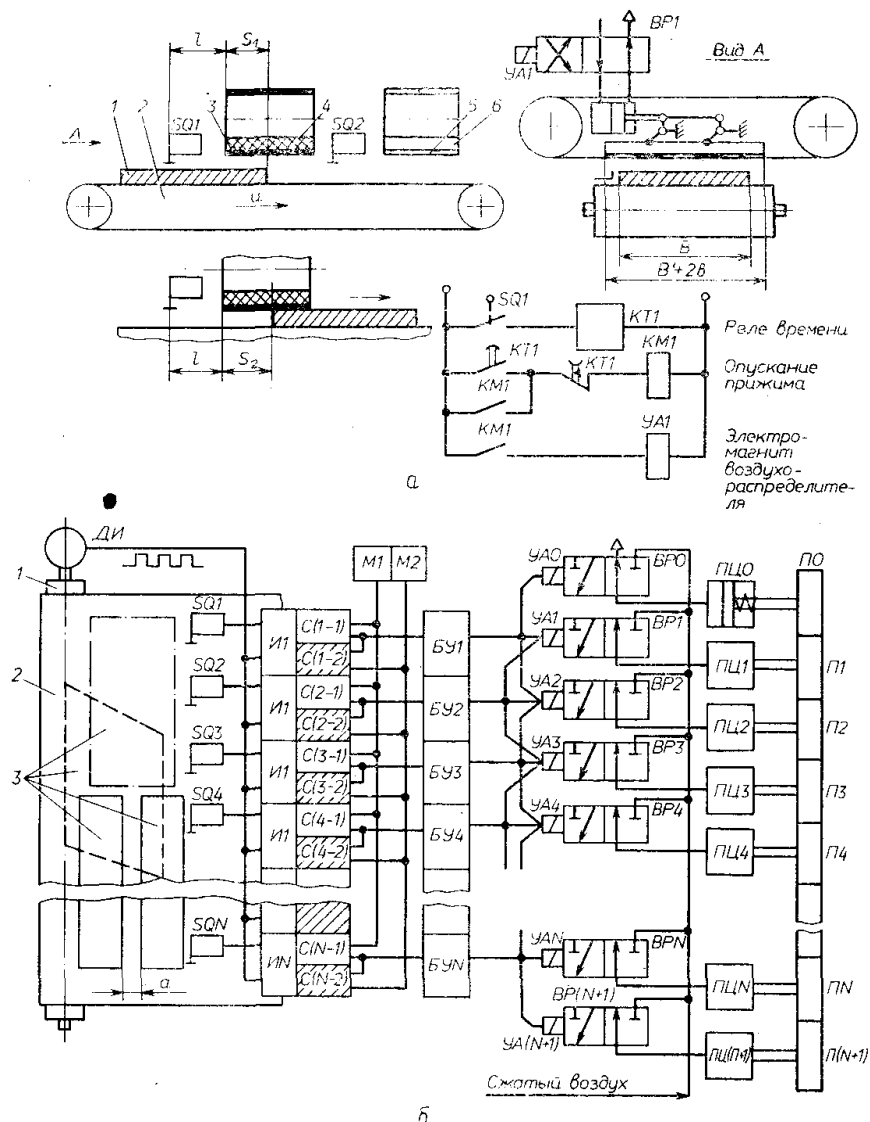


Рис. 6. - Схемы управления шлифовальными станками:

а – прижимным утюжком; б – многосекционным прижимом

Воздухораспределитель ВР1 подаст воздух в штоковую полость пневмоцилиндра ПЦ1 и прижим 4 опустится и прижмет шлифовальную ленту к шпиту. Вторая лента 5 прижимается прижимом 6, имеющим автономную систему управления.

После освобождения SQ1 через время  $\tau_2 = (l + S_2) / U$ , где  $S_2$  – расстояние от задней кромки щита от переднего края шлифовальной ленты в момент подъема прижима, разомкнется контакт КТ1, реле КМ1 отключится и прижим поднимется.

Срабатывание прижима (подъем и опускание), когда в зоне обработки находится часть щита соответственно шириной  $S_1$  или  $S_2$  ( $S_1 \approx S_2 \approx 0.5 S$ ) исключает прошлифовку края. Величина  $\tau_1$  и  $\tau_2$  регулируется, чем достигается

качество обработки краев щита, причем  $\tau$  устанавливается и в зависимости от скорости подачи. Аналогично настраивается ширина прижима, которая равна  $B + 2b$ , где  $B$  – ширина щита. Такая конструкция и система управления прижимом в целом обеспечивают требуемое качество шлифования, но исключают обработку на станке щитов разной ширины, многопоточную обработку и обработку щитов сложной конфигурации. Многих перечисленных недостатков лишены шлифовальные станки с многосекционными прижимами. Ширина секции 20–30 мм, каждая секция имеет автономную систему управления. Барабан 1 конвейера подачи 2 связан с датчиком импульсов ДИ (рис. 6, б). Каждый импульс соответствует перемещению щита 3 на единичную величину (1–10 мм). Перед прижимом установлена батарея бесконтактных конечных выключателей SQ1–SQN. Щит нажимает ряд выключателей, находящихся в зоне щита. Сигнал от датчика импульса ДИ и нажатых конечных выключателей поступает через схемы совпадения И1–ИN на счетчики импульсов С (1–1) ÷ С (N–1). Через заданное число импульсов М1 с С (1–1) ÷ С (N–1) будет подаваться сигнал на блоки управления БУ1–БУN. Блоки управляют электромагнитами УАО–УА (N + 1) воздухораспределителей ВРО–ВРН.

При включении электромагнита воздух подается в поршневую полость пневмоцилиндров ПЦО ÷ ПЦ (N + 1), которые вводят в действие секции прижимов ПО ÷ П (N + 1). Причем при нажатии любого из SQK сигнал проходит на БУК, который включает УАК и по  $m$  соседних справа и слева прижимных элементов, т. е. включаются все УА (K–m) ÷ УА (K+m) и, соответственно, срабатывают прижимы П (K–m) ÷ П (K+m). После освобождения конечных выключателей через схему И1–ИN предусматривается прохождение сигналов с датчика ДИ на счетные схемы С (1–2) ÷ С (N–2).

Отметим основные достоинства и недостатки у существующей схемы автоматизации на ХК ООО «МЭЙКО».

Достоинства:

- Достаточно высокая производительность и неплохое качество получаемого сначала качества поверхности, а затем и поверхности лаковой, при соответственно максимальной загрузке шлифовального станка и лаконаливной машины.

- Наличие удобных средств управления в оборудовании.
- Достаточно высокий уровень безопасности жизнедеятельности на участке нанесения лака и шлифования

Недостатки:

- Возможность межоперационных простоев и вследствие этого не максимальная производительность.

- Отсутствие автоматического контроля качества поверхности щита и соответственно большой выход бракованных материалов.

- Повышенная напряженность физические нагрузки на рабочих при загрузке и выгрузке из станка.

- Невозможность контроля вязкости лака.

## **2. Проектные решения по реконструкции, совершенствованию систем автоматизации, компьютеризации оборудования**

### **2.1 Решения по реконструкции**

Для выполнения сформулированных задач необходимы следующие решения:

1. Максимальная загрузка шлифовального станка и лаконаливной машины для получения производительности этого участка производства.

2. Автоматическая загрузка и разгрузка оборудования.

3. Замена «ручной» оценки качества поверхности щита на автоматическую.

4. Установление контроля вязкости лака.
5. Снижение процента брака.

Для этого предлагается ввести в технологический процесс нанесения лака на детали мебели из сплошного массива систему конвейеров, осуществляющих транспортные связи между шлифовальным станком и лаконоливной машиной, и ввести так же автоматическую загрузку/разгрузку данного участка.

## **2.2 Предлагаемая схема автоматизации**

Предлагаемая схема автоматизации процесса шлифования-лаконанесения представлена следующими модернизированными составляющими. В технологическом процессе появились

Конвейеры:

1. Продольный роликовый для подачи заготовок в шлифовальный станок.
2. Продольный ленточный для принятия заготовок из шлифовального станка.
3. Поперечный цепной, осуществляющий функцию накопителя, если, например, простаивает лаконоливная машина.
4. Продольный роликовый для подачи шлифованных щитов от накопителя к лаконоливной машине
5. Продольный ленточный для отгрузки готовых лакированных щитов

Средства автоматизации:

1. Автоматическое измерение шероховатости поверхности мебельного щита после шлифовального станка
2. Автоматическое измерение вязкости лака
3. Автоматическое определение наличия щита на конвейере

Средства погрузки разгрузки:

1. Автопогрузчик или подъемный лифт
2. Автоукладчик-формирователь пакетов щитов

Система микропроцессорного управления.

Все вышеперечисленные средства автоматизации устанавливаются и монтируются на уже существующее оборудование и взаимодействуют между собой следующим образом.

На автоматический загрузчик подаются мебельные щиты, которые далее поступают с помощью роликового конвейера в шлифовальный станок. Если произошел сбой в работе этого конвейера, то подается сигнал на исполнительный загрузчика и подача щитов приостанавливается до соответствующего разрешения от системы управления. После процедуры шлифования щиты попадают на ленточный конвейер и далее на поперечный цепной, выполняющий роль накопителя. Если произойдет переполнение, то подача заготовок от загрузчика прекращается до выяснения причины останова. С накопителя шлифованный щит поступает на конвейер, где производится измерения шероховатости ультразвуковым датчиком (рис. 7) и в соответствии с полученным результатом выдается сигнал от микроконтроллера шероховатости об изменении скорости подачи в шлифовальном станке. Щит, не удовлетворяющий условиям нормы, снимается с конвейера.

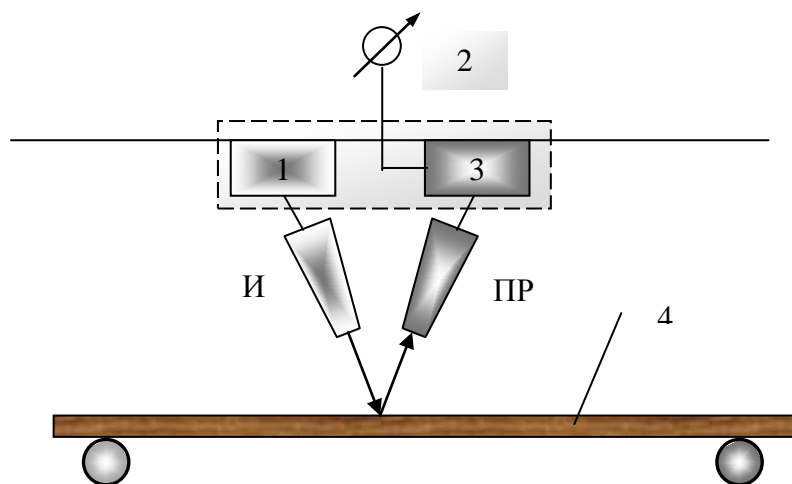


Рис. 7. - Измерение шероховатости поверхности

После оценки качества подающим конвейером мебельный щит поступает в лаконоливную машину, где в зависимости от вязкости лака и шероховатости поверхности устанавливается скорость подачи микроконтроллером вязкости. Облагороженный материал посредством конвейера поступает на разгрузчик. Далее готовую продукцию отправляют в камеры сушки. Основные элементы

устройства – акустические блоки излучателя и приемника ультразвуковых волн и вторичный прибор. Акустические блоки излучателя и приемника расположены в одной плоскости и установлены непосредственно у контролируемой поверхности на расстоянии 1 м под одинаковыми углами к нормали поверхности. На поверхность контролируемой детали падает ультразвуковая волна, генерируемая акустическим излучателем И, на вход которого поступают электрические колебания с генератора вторичного прибора. Акустический приемник ПР принимает зеркально отраженные волны. Электрические колебания с выхода приемника ПР, амплитуда которых зависит от шероховатости поверхности детали, усиливаются усилителем З, к выходу которого подключен измерительный прибор 2. Шероховатость поверхности оценивают по площади пятна облучения поверхности, которая может изменяться с изменением угла, устанавливаемого в пределах 10–80°. На таком принципе основан ультразвуковой датчик УДШ, параметры которого описаны в разделе 4 (КТС).

### 3. Оптимизация систем автоматического регулирования и управления

#### 3.1 Управление скоростью подачи

Для оптимизации работы объектов регулирования необходимо проанализировать структурную схему системы автоматического регулирования и управления транспортером рис. 8:

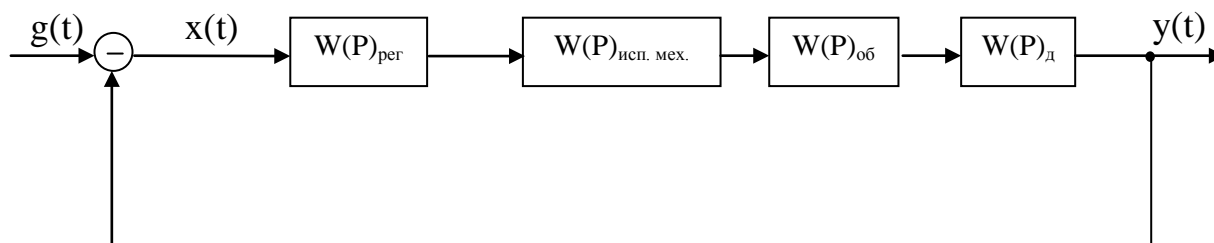


Рис. 8. - Структурная схема системы автоматического регулирования и управления транспортером

В данной схеме: объект управления – транспортер подачи заготовок на шлифование, представляет собой усилительное звено с чистым транспортным запаздыванием. Его передаточная функция имеет следующий вид  $W_{об}(P) = k_{об} e^{-P\tau}$ , где  $k_{об}$  – коэффициент передачи, который рассчитывается методом отношения количественного выражения выходного параметра к входному.

В данном случае выходное воздействие  $y$  – скорость движения транспортера от 10 до 170 м/мин, а входное  $x$  – частота вращения двигателя 750–2000 об/мин. Тогда коэффициент усиления  $k_{об} = y / x = 90 / 1375 = 0.066$  м/об.,  $\tau$  – время транспортного запаздывания, в данном случае принимается равным 0.2 с. Тогда передаточная функция в численном выражении будет иметь вид:  $W_{об}(P) = 0.066 e^{-0.2P}$ .

Регулятор – ЭВМ, представляющая собой простое усилительное звено с передаточной функцией:  $W_{рег}(P) = k_{рег} = 1$ .

Исполнительный механизм – электродвигатель подачи постоянного тока с частотой вращения от 750 до 2000 об/мин, при напряжении питания 110В – апериодическое инерционное звено первого порядка с передаточной функцией

$$W_{ум}(P) = \frac{k_{ум}}{T_{ум}P + 1} = \frac{12.5}{0.15P + 1}.$$

Датчик – ультразвуковой, оценивающий качество поверхности – простое усилительное звено с передаточной функцией  $W_{д}(P) = k_{д} = 2$ .

Общая передаточная функция в разомкнутом состоянии:

$$W_{раз}(P) = \frac{k_{ум} \times k_{об} \times k_{д} \times k_{рег} \times e^{-P\tau}}{T_{ум}P + 1} = \frac{k \times e^{-P\tau}}{T_{ум}P + 1} = \frac{1.65 \times e^{-0.2P}}{0.15P + 1}.$$

Динамическая характеристика представляется уравнением:

$$y = kx(t - \tau)(1 - e^{-t/T_{ум}}) = 1.65 \times (t - 0.2) \times (1 - e^{-t/0.15}).$$

Графически это можно представить как на рис. 9.

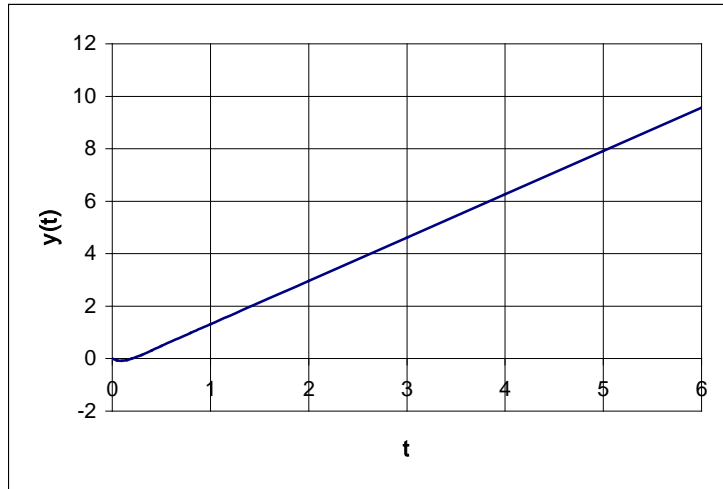


Рис. 9 – Графическая интерпретация уравнения динамической характеристики

Теперь произведем замену в передаточной функции  $P = j\omega$ . Получим выражение частотной передаточной функции:  $W_{\text{раз}}(j\omega) = \frac{k \cdot e^{-j\omega\tau}}{T_{\text{им}} j\omega + 1}$ .

Далее выделим мнимую и действительную части:

$$W_{\text{раз}}(j\omega) = -k \cdot \frac{-\cos(\omega\tau) + T_{\text{им}} \omega \sin(\omega\tau)}{1 + T_{\text{им}}^2 \omega^2} + jk \cdot \frac{T_{\text{им}} \omega \cos(\omega\tau) + \sin(\omega\tau)}{1 + T_{\text{им}}^2 \omega^2} = U(\omega) + jV(\omega).$$

$$\text{Действительная часть} - U(\omega) = -k \times \frac{-\cos(\omega\tau) + T_{\text{им}} \omega \sin(\omega\tau)}{1 + T_{\text{им}}^2 \omega^2}.$$

$$\text{Мнимая часть} - jV(\omega) = -k \cdot \frac{T_{\text{им}} \omega \cos(\omega\tau) + \sin(\omega\tau)}{1 + T_{\text{им}}^2 \omega^2}.$$

Амплитудно-частотная характеристика в разомкнутом состоянии определяется из выражения:

$$A(\omega) = \sqrt{U^2(\omega) + V^2(\omega)} = \frac{k}{\sqrt{1 + T_{\text{им}}^2 \omega^2}} = \frac{1.65}{\sqrt{1 + 0.0225\omega^2}}.$$

Фазово-частотная характеристика системы в разомкнутом состоянии:

$$\varphi(\omega) = -\arctg \frac{V(\omega)}{U(\omega)} = -\arctg(T_{\text{им}} \omega) - \omega\tau = -\arctg(0.15\omega) - 0.2\omega.$$

Проверка на устойчивость системы методом Найквиста-Михайлова (рис. 10).



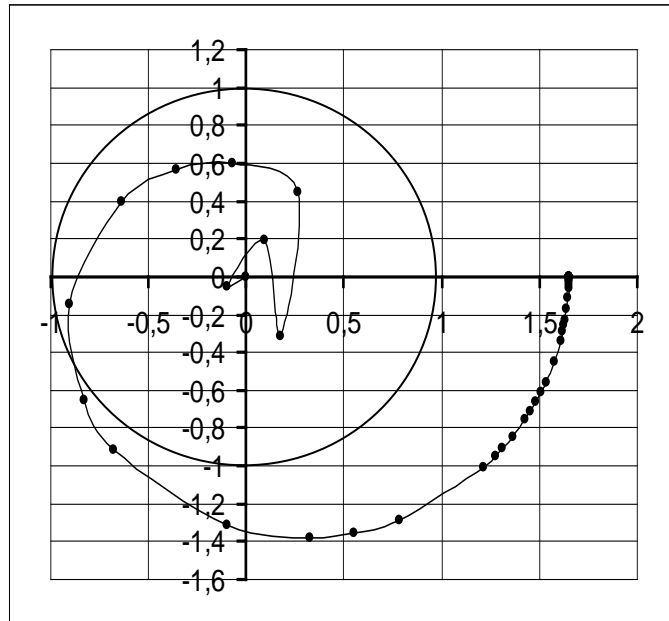


Рис. 10 - Графическая интерпретация проверки на устойчивость

Как следует из рис. 10 система является устойчивой с запасом по амплитуде  $a=0.1$  и по фазе  $\gamma=15^\circ$ .

Так как на систему управления оказывает влияние возмущающее воздействие необходимо рассмотреть структурную схему с возможностью его устранения (рис. 11).

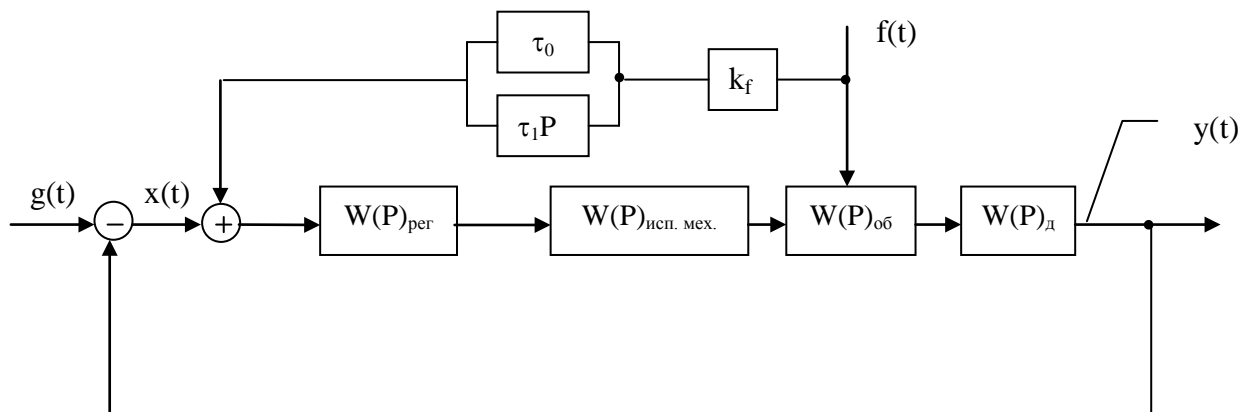


Рис. 11 - Структурная схема системы автоматического регулирования, инвариантной к возмущающим воздействиям

В данной схеме возмущающее воздействие  $f(t)$  – износ шлифовальной шкурки – простое усилительное звено с коэффициентом передачи  $k_b$ . Для его устранения предлагает ввести в контур управления корректирующее звено. Для

нахождения характеристик блока инвариантности используется следующее

выражение  $\varphi(P) = \frac{W_f(P)}{W_{раз}(P)} = k_f(\tau_0 + \tau_1 P)$ . Для нашей системы получим:

$$\varphi(P) = \frac{k_s}{\frac{ke^{-P\tau}}{T_{им}P + 1}} \quad (3.1)$$

Заменяя в выражении (3.1)  $e^{-P\tau} = \tau / 3$ , получим

$$\varphi(P) = 3 \frac{k_b}{k\tau} (T_{им}P + 1) = k_f(\tau_0 + \tau_1 P), \quad (3.2)$$

где  $k_f = 3 \frac{k_b}{k\tau} = 9.375$ ;  $\tau_0 = 1$ ;  $\tau_1 = T_{им} = 0.15$ .

И окончательно получим:

$$\varphi(P) = 9.375(1 + 0.15P) \quad (3.3)$$

По данным этого выражения выбирается звено коррекции, обладающее высоким быстродействием и надежностью в работе.

### 3.2 Управление подачей лака

Структурная схема управления идентична рассмотренной на рисунке 11. В данном случае: объект управления – транспортер подачи заготовок в лаконоливную машину, представляет собой звено чистого транспортного запаздывания. Его передаточная функция имеет следующий вид

$$W_{об}(P) = k_{об}e^{-Pt} = e^{-0.8P}$$

Регулятор – ЭВМ, представляющая собой простое усилительное звено с передаточной функцией:  $W_{рег}(P) = k_{рег} = 1$ .

Исполнительный механизм – двигатель подачи – апериодическое инерционное звено первого порядка  $W_{им}(P) = k_{им} = \frac{k_{ум}}{T_{ум}P + 1} = \frac{2}{0.15P + 1}$ .

Датчик – вязкозиметр – апериодическое инерционное звено первого порядка  $W_d(P) = \frac{k_d}{T_dP + 1} = \frac{5}{10P + 1}$ .

Общая передаточная функция в разомкнутом состоянии:

$$W_{\text{раз}}(P) = \frac{k_{\text{им}} \cdot k_{\text{об}} \cdot k_{\text{д}} \cdot k_{\text{рег}} \cdot e^{-P\tau}}{(T_{\text{им}}P + 1)(T_{\text{д}}P + 1)} = \frac{k \cdot e^{-P\tau}}{(T_{\text{им}}P + 1)(T_{\text{д}}P + 1)} = \frac{10 \cdot e^{-0.8P}}{(0.15P + 1)(10P + 1)}.$$

Динамическая характеристика представляется уравнением:

$$y = kx(t - \tau)(1 - e^{-t/T_{\text{им}}})(1 - e^{-t/T_{\text{д}}}) = 10(t - 0.8)(1 - e^{-t/0.15})(1 - e^{-t/10}).$$

Теперь произведем замену в передаточной функции  $P=j\omega$ . Получим выражение частотной передаточной функции:

$$W_{\text{раз}}(j\omega) = \frac{k \cdot e^{-j\omega\tau}}{(T_{\text{им}}j\omega + 1) \cdot (T_{\text{д}}j\omega + 1)} = \frac{10 \cdot e^{-j0.8\omega}}{(0.15j\omega + 1) \cdot (10j\omega + 1)}.$$

Для построения графиков АЧХ и ФЧХ в разомкнутом виде выделим мнимую и действительную часть:

$$W_{\text{раз}}(j\omega) = -k \cdot \frac{T_{\text{им}}\omega \sin(\omega\tau) - \cos(\omega\tau) + T_{\text{д}}\omega \sin(\omega\tau) + T_{\text{д}}T_{\text{им}}\omega^2 \cos(\omega\tau)}{1 + T_{\text{д}}^2\omega^2 + T_{\text{им}}^2\omega^2 + T_{\text{д}}^2T_{\text{им}}^2\omega^4} +$$

$$+ k \cdot \frac{-T_{\text{им}}\omega \cos(\omega\tau) - \sin(\omega\tau) - T_{\text{д}}\omega \cos(\omega\tau) + T_{\text{д}}T_{\text{им}}\omega^2 \sin(\omega\tau)}{1 + T_{\text{д}}^2\omega^2 + T_{\text{им}}^2\omega^2 + T_{\text{д}}^2T_{\text{им}}^2\omega^4} = U(\omega) + jV(\omega)$$

$$U(\omega) = -k \cdot \frac{T_{\text{им}}\omega \sin(\omega\tau) - \cos(\omega\tau) + T_{\text{д}}\omega \sin(\omega\tau) + T_{\text{д}}T_{\text{им}}\omega^2 \cos(\omega\tau)}{1 + T_{\text{д}}^2\omega^2 + T_{\text{им}}^2\omega^2 + T_{\text{д}}^2T_{\text{им}}^2\omega^4},$$

$$jU(\omega) = k \cdot \frac{-T_{\text{им}}\omega \cos(\omega\tau) - \sin(\omega\tau) - T_{\text{д}}\omega \cos(\omega\tau) + T_{\text{д}}T_{\text{им}}\omega^2 \sin(\omega\tau)}{1 + T_{\text{д}}^2\omega^2 + T_{\text{им}}^2\omega^2 + T_{\text{д}}^2T_{\text{им}}^2\omega^4}.$$

АЧХ системы в разомкнутом состоянии определяется:

$$A(\omega) = \sqrt{U^2(\omega) + V^2(\omega)} = \frac{k}{\sqrt{1 + T_{\text{д}}^2\omega^2} \sqrt{1 + T_{\text{им}}^2\omega^2}} = \frac{10}{\sqrt{1 + 100\omega^2} \sqrt{1 + 0.0225\omega^2}}. \text{ ФЧ}$$

Х системы в разомкнутом состоянии:

$$\phi(\omega) = -\arctg \frac{V(\omega)}{U(\omega)} = -\arctg(T_{\text{д}}\omega) - \arctg(T_{\text{им}}\omega) - \omega\tau =$$

$$= -\arctg(10\omega) - \arctg(0.15\omega) - 0.8\omega$$

Проверка на устойчивость системы методом Найквиста-Михайлова (рис. 11):

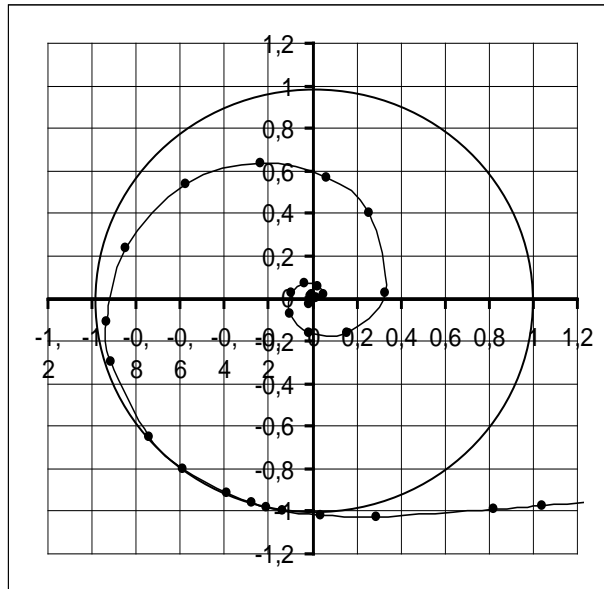


Рис. 11 - Графическая интерпретация проверки на устойчивость

Как следует из рисунка, система является устойчивой с запасом по амплитуде  $a=0.9$  и по фазе  $\gamma=80^\circ$ . Так как на систему управления оказывает влияние возмущающее воздействие необходимо рассмотреть структурную схему с возможностью его устранения (Рис. 12).

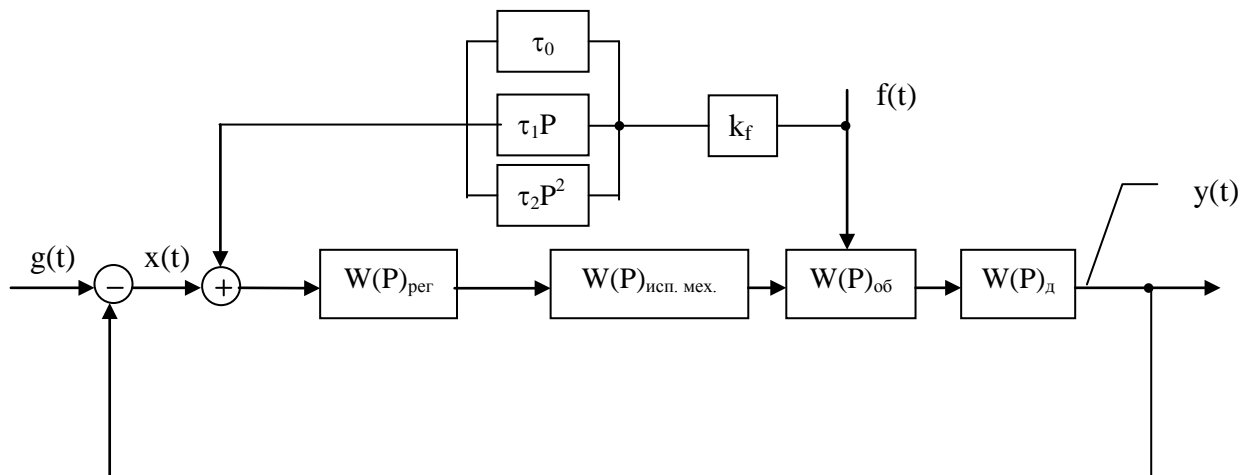


Рис. 12 - Структурная схема системы автоматического регулирования, инвариантной к возмущающим воздействиям

В данной схеме возмущающее воздействие  $f(t)$  – загустевание лака – простое усилительное звено с коэффициентом передачи  $k_b$ . Для его устранения предлагает ввести в контур управления корректирующее звено. Для

нахождения характеристик блока инвариантности используется следующее

выражение  $\varphi(P) = \frac{W_f(P)}{W_{pas}(P)} = k_f(\tau_0 + \tau_1 P + \tau_2 P^2)$ . Для нашей системы получим:

$$\varphi(P) = \frac{k_g}{\frac{ke^{-P\tau}}{(T_{им}P + 1)(T_d P + 1)}}. \quad (3.4)$$

Заменяя в выражении ( )  $e^{-P\tau} = \tau / 3$ , получим

$$\varphi(P) = 3 \frac{k_b}{k\tau} (T_{им} P + 1)(T_d P + 1) = k_f(\tau_0 + \tau_1 P + \tau_2 P^2), \quad (3.5)$$

где  $k_f = 3 \frac{k_b}{k\tau} = 0.375$ ;  $\tau_0 = 1$ ;  $\tau_1 = T_{им} + T_d = 10.15$ ;  $\tau_2 = T_{им} T_d = 1.5$

В результате получим:  $\varphi(P) = 0.375(1 + 10.15P + 1.5P^2)$  (3.6)

По данным этого выражения выбирается звено коррекции, обладающее высоким быстродействием и надежностью в работе.

### 3.3 Плата коммутирования аналоговых сигналов PCLD-789D

Учитывая, что в контур управления технологическим процессом внедрен микроконтроллер, который работает с цифровыми сигналами, необходимы технические средства преобразования и коммутирования аналоговых сигналов. Для этого в работе предлагается использовать плату усилителя/коммутатора аналоговых сигналов PCLD-789D фирмы ProSoft (Россия).

Плата PCLD-789D предназначена для приема, нормализации и переключения первичных сигналов на аналоговые входы карт серии PC-LabCards. Она переключает 16 входных каналов на один из предварительно выбранных входов АЦП. Вы можете каскадно соединить до 10 плат PCLD-789D, позволяя одной плате АЦП получить доступ к 160 входным каналам. Плата PCLD-789D имеет внешние соединители типа DB-37 и типа IDC-20 и позволяет платам АЦП, таким как PCL-818L и PCL-818HD, получить доступ к 128 каналам без применения дополнительных соединительных кабелей для

управления выбором канала.

На плате расположен высокоточный инструментальный усилитель с коэффициентами усиления  $x1$ ,  $x2$ ,  $x10$ ,  $x50$ ,  $x100$ ,  $x200$  и  $x1000$ , задаваемыми переключателями. Это позволяет производить точные измерения напряжений в широком диапазоне уровней сигнала. Плата также содержит схему компенсации температуры холодного спая, позволяющую производить прямые измерения температуры с помощью термопар. Может быть задан любой тип термопары в программе компенсации и линеаризации.

#### Области применения

- Увеличение числа каналов
- Измерение температуры
- Усиление и нормализация сигналов

#### Основные характеристики

- Переключение 16 дифференциальных входов на один вход АЦП
- Расширение числа аналоговых входов карт АЦП серии PC-LabCards до 128.
- Высокоточный инструментальный усилитель обеспечивает коэффициенты усиления из ряда:  $x1$ ,  $x2$ ,  $x10$ ,  $x50$ ,  $x100$ ,  $x200$  и  $x1000$
- Встроенная схема компенсации температуры холодного спая позволяет производить прямые измерения температуры
- Встроенные возможности нормализации сигналов, включая фильтрацию, ослабление и токовые шунты
- Наличие второго соединителя для обеспечения простого каскадирования
- Клеммные соединители обеспечивают легкость и надежность подключения источников сигналов

#### Технические данные

- Входные каналы: 16 дифференциальных каналов
- Диапазон входных сигналов: не более  $\pm 10$  В, зависит от коэффициента усиления
- Диапазон выходного сигнала:  $\pm 10$  В (максимум)
- Характеристики усилителя-мультиплексора

Табл. 8 - Характеристики входных составляющих

Коэффициент усиления	1000	100	10	1
Подавление помехи общего	125	115	105	85
Нелинейность, % от полной	0,005	0,005	0,007	0,015
Время переключения, мкс	75	15	15	15

- Защита от перенапряжений по входу:  $\pm 30$  В (непрерывно)
- Выход цепи компенсации холодного спая:  $+24,4$  мВ/°С
- Требования по питанию:
  - +5 В/не более 10 мА
  - +12 В/не более 80 мА
- Соединители для цифровых и аналоговых линий: один соединитель типа DB-37, два 20-контактных соединителя типа IDC-20 для обеспечения каскадирования

- Габариты: 205x114 мм

Для управления технологическим процессом будет использоваться модуль микроконтроллера CPU188-5.

### 3.4 Модуль микроконтроллера CPU188-5

Модуль микроконтроллера CPU 188-5 предназначен для использования в системах сбора данных и управления. Возможность подключения основных средств ввода-вывода (карты VGA, ЖК-дисплеи, клавиатуры, принтеры, НГМД) позволяет использовать модуль в системах с участием оператора. Благодаря своей компактности, низкому потреблению и функциональной насыщенности, модуль CPU188-5 является оптимальным решением для широкого диапазона встраиваемых приложений.

#### Характеристики

- Процессор Am 188ES/40 МГц (5.35VAX MIPS, 5K FLOPS)
- Статическое ОЗУ (SRAM) до 1024 кбайт
- флэш-память до 2048 кбайт
- 32-контактная розетка для установки DiskOnChip, микросхемы

DS1216xx (календарь/часы/аккумулятор) или энергонезависимого ОЗУ 128 кбайт

- Таймеры: 3 системных, 1 сторожевой
- 5 линий прерываний + NMI
- 2 канала DMA (до 5 Мбайт/с, без сигналов DACK)
- Универсальный порт дискретного ввода-вывода - 48 каналов
- Количество дополнительных каналов дискретного ввода-вывода - 22
- 2 последовательных изолированных порта COM1:RS-232/485, COM2:

RS-232/422/485

- ПортЖКИ (алфавитно-цифровой, графический) с источником питания для подсветки и с регулировкой контрастности

- Порт РС и матричной клавиатуры 4x4, 5x4
- 8 изолированных 12-разрядных аналоговых входов (8AI)
- 2 изолированных 12-разрядных аналоговых выхода (2АО)
- Изолированный удаленный сброс
- Зуммер
- ОС, совместимая с MS-DOS 6.22
- Диапазон рабочих температур от -40 до +85°C
- Среднее время наработки на отказ -120 тыс. часов

Его конфигурация при поставке представлена в табл. 9.

Табл. 9 - Таблица поставочных конфигураций модуля CPU188-5

Модель	CPU188-5LC	CPU188-5BS	CPU188-5MX
SRAM	512 кбайт	1024 кбайт	1024 кбайт
FLASH	1024 кбайт	1024 кбайт	1024 кбайт
COM1	RS-232 (неизолированный)	RS-232 (неизолированный)	RS-232 (неизолированный)
COM2	RS-232 (неизолированный) RS-422/485 (изолированный)	RS-232 (неизолированный) RS-422/485 (изолированный)	RS-232 (неизолированный) RS-422/485 (изолированный)



AI/AO	–	–	8AI/2AO (изолированный)
-------	---	---	----------------------------

Для выявления программных и аппаратных сбоев на плате установлены супервизор и сторожевой таймер.

#### Внутренняя и внешняя память

Модуль имеет статическое оперативное запоминающее устройство (SRAM) размером до 1024 кбайт и флэш-память размером до 2 Мбайт с файловой системой. Кроме того, в модуле имеется розетка для установки флэш-диска DiskOnChip (2...144 Мбайт) и/или часов/календаря/аккумулятора типа DS-1216xx.

#### Изолированный порт аналогового ввода-вывода

Модуль имеет 8-канальный АЦП с программируемым диапазоном напряжения по каждому входу (0...5 В; ±5 В; 0...10 В; ±10 В), шунтирующие резисторы для измерения тока и 2 аналоговых выхода с диапазонами 0...5 В; ±5 В; 0...10 В.

#### Изолированные последовательные порты

Два последовательных гальванически изолированных порта позволяют реализовать интерфейсы RS-232/422/485 со скоростями обмена соответственно до 200/2500/ 2500 кбит/с.

Универсальный порт дискретного ввода-вывода реализован на матрице FPGA и может использоваться для подключения принтера, плат с опторазвязкой MPV-24, ТВI-xx или терминальных плат.

Основные применения порта: измерение частот, ввод-вывод дискретных сигналов, формирование временных диаграмм и т. п.

#### Порты клавиатуры и ЖКИ

В состав модуля входят порт для подключения матричной (4×4, 4×5) или АТ-клавиатуры и порт ЖК-дисплея.

Схема возможных подключений различных устройств представлена на рис. 14. Технические данные микроконтроллера:

Тип процессора – Ат188Е5/40МГц

Магистраль – 8-разрядная ISA

BIOS – Fastwel, AT совместимая, с расширениями

DOS – Совместима с MS-DOS 6.22

Статическое ОЗУ

Объем встроенной оперативной памяти до 1 Мбайт; возможно подключение дополнительного энергонезависимого ОЗУ объемом 128кбайт

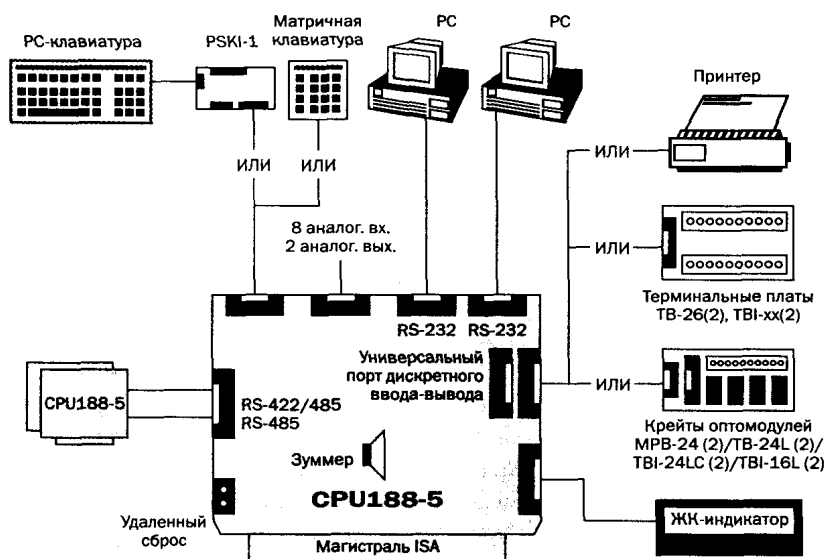


Рис. 14. - Подключения внешних устройств к микроконтроллеру CPU188-5 НГМД

Для подключения НГМД возможно использование внешнего контроллера (5815 Octagon Systems)

Порты последовательной связи

COM1: RS-232/485,

COM2: RS-232/422/485

Скорость обмена:

в режиме RS-232 до 200 кбит/с,

в режимах RS-422/485 до 2,5 Мбит/с

Параллельный ввод-вывод

Поддержка режима обмена SPP

Универсальный порт дискретного ввода-вывода

48 индивидуально программируемых каналов ввода-вывода; нагрузочная способность – до 20 мА

#### Аналоговый ввод

8 однопроводных каналов, 12-разрядный АЦП с программируемым диапазоном напряжения по каждому входу (0...5 В; ±5 В; 0...10 В; ±10 В), шунтирующие резисторы для измерения тока (подключение перемычками); защита входов от перенапряжения ±16,5 В; входное сопротивление 16 кОм; скорость измерения до 80000 выборок/с

#### Аналоговый вывод

Два 12-разрядных ЦАП с диапазонами 0...5 В; ±5 В; 0...10 В (устанавливаются перемычками); скорость преобразования до 100000 выборок/с

#### Клавиатура

Возможность подключения матричной (4x4, 5x4) и АТ совместимой клавиатуры

#### Внешние запросы прерывания

До 48 линий через универсальный порт ввода-вывода

#### Требования по питанию

Напряжение питания +5 В ±5%;

максимальный потребляемый ток

СРУ188-5-LC 400 мА,

СРУ188-5-BS 600 мА,

СРУ188-5-MX 750 мА

Вход удаленного сброса: один оптоизолированный

#### Условия эксплуатации

Диапазон рабочих температур от -40 до +85°C.

Относительная влажность воздуха от 5 до 95% при 25°C без конденсации влаги.

Диапазон температур хранения от -55 до +90°C.

Габаритные размеры: 124,5x114,3 мм.

Для взаимодействия оператора с блоком микроконтроллеров будем использовать операторский терминал VIP 3900 модели 0.36x2-134-1140, который предназначен для оптимизации операторского интерфейса в

различных приложениях.

Технические характеристики:

- Программируемые порты RS-232 или RS-422
- Вакумно-флуорисцентные дисплей размером 4×20 символов со светофильтрами различных цветов

- Высоконадежная клавиатура до 22 программируемых клавиш
- Диапазон рабочих температур: –20–70°С
- Монтаж в 19" панель

В качестве преобразующих и передающих устройств связи микроконтроллеров с датчиками у которых выходной сигнал аналоговый используется модуль аналогового ввода ADAM-4012 с характеристиками:

- Эффективное разрешение АЦП: 16 разрядов
- Диапазон входного сигнала:  $\pm 150$  мВ,  $\pm 500$  мВ,  $\pm 1$  В,  $\pm 10$  В,  $\pm 20$  мА
- Частота выборки: 10 отсчетов/сек
  - Дискретный вывод: каналов 2, транзисторный ключ с открытым коллектором

В качестве датчиков определяющих наличие заготовки и следящих за перемещением используются фотоэлектрические цилиндрические датчики серии E3F2. Они выпускаются в виде цилиндрической резьбовой шпильки с наружной резьбой M18. К основным достоинствам можно отнести удобство монтажа, малые габариты, прочность конструкции, возможность выбора режима срабатывания (светлое/темное), наличие индикатора режима работы, защита от короткого замыкания и переплюсовки. Датчики поставляются с предустановленным кабелем или под разъем. Его технические характеристики:

- Рабочий метод: проходной, переотражательный, диффузионный
- Рабочий элемент: красный светодиод
- Фокусирующая система: акриловая линза
- Зона чувствительности: для проходных 3-7 м, для переотражательных 2 м, для диффузионных 100-300 мм
- Напряжение питания: 10-30 В постоянного тока; 24-240 В

переменного

- Выходной каскад: PNP, NPN
- Диапазон рабочих температур:  $-25...+55^{\circ}\text{C}$
- Влажность: 35-85%
- Степени защиты: IP66-IP67, NEMA 1, 2, 4
- Метод монтажа: резьбовой корпус, M18

### 3.5 Пакетоукладчик УП-1

В качестве разгрузочного устройства будем использовать пакетоукладчик УП-1, который позволяет формировать пакеты щитов длиной 2000...6500мм., шириной до 1250мм., высотой до 1200 мм. Пакетоукладчик УП-1 (рис. 15) представляет собой двухсекционный конвейер, установленный на каретке, перемещающийся по направляющим, закрепленным на фундаменте. Конвейер состоит из горизонтальной и наклонной секцией с единым приводом от мотора редуктора. В верхней части подвижной секции предусмотрены наклонные консоли с роликами, автоматически сохраняющие в процессе работы пакетоукладчика заданный угол наклона.

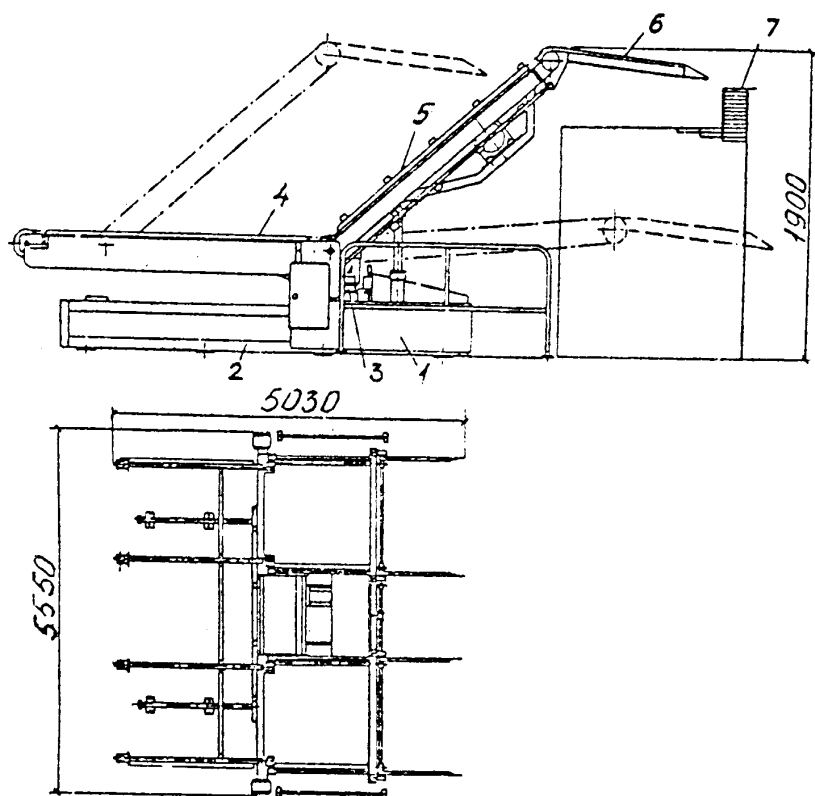


Рис. 15. - Схема паке­то­ук­лад­чи­ка УП-1:

1 — подвижная тележка; 2 — направляющие; 3 — гидростанция; 4 — горизонтальная секция конвейера; 5 — наклонная секция конвейера; 6 — приемные консоли; 7 - пакет пиломатериалов.

Горизонтальная секция конвейера крепится к поперечной балке и шарнирно связана с наклонной секцией, приводимой в движение двумя гидроцилиндрами. Каретка с индивидуальным приводом предназначена для перемещения конвейера в пределах ширины пакета. Поступающие с линии лаконолива щиты принимаются горизонтальной секцией, перемещаются до захвата упорами наклонной секции, а затем с последней под действием собственного веса сползают по роликам наклонной консоли укладчика и вручную укладываются в пакет.

### **3.6. Рекомендации по эксплуатации системы компьютерной автоматизации**

Для решения задачи компьютерной оптимизации технологического процесса лаконона­се­ния на детали мебели из сплошного массива, необходимо наличие алгоритмического и программного обеспечения ЭВМ. Схема алгоритма цифрового управления процессом шлифования и лаконона­се­ния приведена на рис. 16.

Эта схема работает следующим образом: с клавиатуры оператор вводит максимально допустимое значение шероховатости  $Q$  и оптимально-допустимое значение вязкости лака. Далее в блоке 2 осуществляется проверка заполненности накопительного конвейера 3 и если он переполнен, то блоком 3 осуществляется останов подачи щитов погрузчиком и далее происходит переход к процедуре измерения шероховатости. Если же конвейер 3 не заполнен, в блоках 4-8 осуществляется загрузка щита, шлифование и его подача

конвейером 2 на конвейер 3. В блоке 10 происходит измерение шероховатости и если значение больше допустимого  $Q$ , заготовка убирается и снижается скорость подачи в шлифовальном станке, а если нет, то осуществляется подача блоком 14 в лаконоливную машину.

В блоке 15 происходит измерение вязкости лака. Если вязкость лака выше оптимальной  $V$ , то снижается скорость подачи в лаконоливной машине, а если ниже – повышение скорости подачи в лаконоливной машине. Далее щит подается конвейером 5 на разгрузчик. Блоком 21 осуществляется погрузка щита. Если работа не окончена – переход к блоку 4.

В целом программное обеспечение АСУ процесса нанесения лака на детали из сплошного массива должно включать в себя:

- общее программное обеспечение поставляемое в комплекте с компьютером, состоящее из организующих и диспетчерских программ, текстовых программ для проверки работоспособности КТС, транслирующих программ и др.;





Программное обеспечение должно удовлетворять следующим требованиям:

- обеспечение возможности работы в режиме реального времени;
- восстановление состояния данных и вычислительного процесса на определённый момент времени;
- использование существующих программных модулей и пакетов прикладных программ.

Таким образом, спроектированная система автоматизации способна выполнять функции, сохраняя эксплуатационные показатели в установленных пределах в течение заданных интервалов времени при заданных условиях эксплуатации. Система является восстанавливаемой многофункциональной системой и предназначена для непрерывной работы с периодическим проведением профилактических работ. Профилактическое обслуживание всей системы производится в момент плановых остановок объекта управления.

Экономические результаты внедрения проектируемого мероприятия

Показатели	Единица измерения	Значения
1.Дополнительные вложения, связанные с приобретением внедряемого оборудования	р.	224750
2. Дополнительные затраты, связанные с содержанием и эксплуатацией внедряемого оборудования	р.	73932,78
-амортизационные отчисления	р.	16205,4
-дополнительное использование электроэнергии	р.	24014,88
3.Экономический результат, полученный после внедрения проектного мероприятия	р.	981137, 21
4. Годовой экономический эффект от внедрения проектного мероприятия	р.	907204,43
5. Срок окупаемости дополнительных вложения	лет	0,75

Таким образом, внедрение автоматической линии нанесения лакокрасочного покрытия позволит получить экономический эффект в размере 981137, 21 руб. Спроектированная система достаточно быстро окупается – за 9 месяцев. Следовательно, внедрение данного мероприятия экономически целесообразно, причем не только в компании ООО «МЭЙКО», но и на других мебельных предприятиях и комбинатах.

## Заключение

Процесс шлифования и последующего лаконоанесения является одним из наиболее трудоемких процессов в изготовлении щитовых деталей мебели. Большое количество ручного труда и отсутствие средств автоматизации на участке вырезки пороков древесины являются причиной низкой производительности и повышенного расхода материалов. Применяемые на предприятии системы автоматики несколько устарели и требуют замены на более современные. Это говорит об актуальности темы разработок.

При работе над ВКР были проведены экспериментальные и теоретические исследования процесса шлифования и лаконоанесения. Были выявлены недостатки существующей технологии изготовления лакированных щитов и предложены разработки для их устранения, в результате спроектирована система автоматической поточной линии и компьютерная система управления данным технологическим процессом.

Опираясь на проектные решения, были выбраны технические средства автоматизации, которые отличаются высокими техническими показателями. Так же они отвечают современным требованиям и основаны на новой модернизированной технической базе. Проектные решения, разработанные в данной квалификационной работе, кроме всего прочего, повышают общий уровень техники безопасности и систем БЖД. Они приводят к улучшению условий труда и обслуживания линии.

В экономической части работы теоретически обосновывается экономическая эффективность предложенных разработок и рассчитывается экономический эффект внедряемых усовершенствований. Из этих расчетов видно, что предложенные проектные решения экономически эффективны и окупаются за 4 месяца. Таким образом, эффективность внедрения разработок квалификационной работы очевидна. Эти разработки приведут к увеличению объема выпуска лакированных щитов мебели, что в свою очередь скажется на снижении себестоимости и получении дополнительной прибыли.

## Список литературы

1. Буглай Б.М. Технология отделки древесины. Учебник для вузов / Б.М. Буглай, Орел: Печатник, 2015. – 304 с.
2. Прозоровский Н.И. Технология отделки столярных изделий / Н.И. Прозоровский - М.: Знаниум, 2018. – 288 с.
3. Аш Ж. Датчики измерительных систем: В 2-х книгах / Ж. Аш - М.: Лань, 2017. – 480 с.
4. Петровский В.С. Автоматизация производственных процессов лесопромышленных предприятий / В.С. Петровский, В.В. Харитонов - Орел: Печатник, 2017. – 471 с.
5. Емельянов А.И. Проектирование систем управления технологическими процессами. / А.И. Емельянов, О.В. Капник - М.: Энергия, 2015. – 400 с.
6. Антипин В.С. Справочник молодого монтажника приборов контроля и систем автоматизации / В.С. Антипин, В.И. Найлушин - М.: Ерь, 2016. – 256 с.
7. Арсеньев Ю.Н. Проектирование систем логического управления на микропроцессорных средствах: Учебное пособие для вузов. / Ю.Н. Арсеньев, В.М. Журавлев - М.: Знаниум, 2016. – 319 с.
8. Вершинин О.Е. Применение микропроцессоров для автоматизации технологических процессов. / О.Е. Вершинин - СПб.: Принт, 2016. – 207 с.
9. Горбунов В.Л. Справочное пособие по микропроцессорам и микроЭВМ. / В.Л. Горбунов - М.: Лань, 2018. – 272 с.
10. Кошарский Б.Д. Автоматические приборы, регуляторы и вычислительные системы / Б.Д. Кошарский, Т.Х. Бензовская, В.А. Бек - СПб.: Альфарет, 2016. – 488 с.
11. Мамиконов А.Г. Проектирование АСУ. М.: Высшая школа, 1987. – 303 с.
12. Мипаев П.А. Монтаж систем контроля и автоматики / П.А. Мипаев - М.: Букос, 2019. – 543 с.

13. Монтаж средств измерения и автоматизации: Справочник / Под ред. Ключева - М.: Энергоиздат, 1998. – 403 с.
14. Пижурин А.А. Моделирование процессов деревообработки / А.А. Пижурин, М.С. Розенблит - М.: Даласс, 2019. – 231 с.
15. Ползик П.В. Автоматика и автоматизация производственных процессов деревообрабатывающих предприятий / П.В. Ползик, Л.Г. Молчанов, В.К. Вороницын - М.: Лань, 2017. – 440 с.
16. Павленко Ю.С., Скирута М.А. Управляющие вычислительные машины и их применение в легкой промышленности / Ю.С. Павленко, М.А. Скирута. – М.: КТИЛП, 2017. – 48 с.
17. Тупицин Ю.С. Процессы и оборудование для отделки древесных плитных материалов. / Ю.С. Тупицин - М.: АРАС ПРИНТ, 2019. – 254 с.
18. Четвериков В.Н. Автоматизированные системы управления. / В.Н. Четвериков, В.А. Галкин - М.: Оптимум, 2016. – 279 с.
19. Чистяков С.Ф. Монтаж средств измерения и автоматизации теплоэнергетических процессов на электростанциях. / С.Ф. Чистяков - М.: Оптимум, 2015. – 249 с.