

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Тольяттинский государственный университет»
Институт машиностроения
Кафедра «Оборудование и технологии машиностроительного производства»

УТВЕРЖДАЮ

И.о. зав. кафедрой

_____ А.В.Бобровский

«__» _____ 2016г.

ЗАДАНИЕ

**на выполнение выпускной квалификационной работы
(уровень специалиста)**

Специальность 151001.65 «Технология машиностроения»

Студент Аверьянов Алексей Александрович гр. ТМ-1101

1. Тема компьютерное моделирование и разработка технического оснащения для ультразвуковой упрочняющей обработки на станках с числовым программным управлением

2. Срок сдачи студентом законченной выпускной квалификационной работы «__» 2016 г.

3. Исходные данные к выпускной квалификационной работе _____

4. Содержание выпускной квалификационной работы (объем 100 с.)

Титульный лист. Задание. Аннотация. Содержание. Введение, цель, задачи

1) Обзор упрочняющей ультразвуковой обработки

2) Обзор устройств

3) Разработка конструкции ультразвукового устройства для упрочняющей обработки на станках с ЧПУ

4) Разработка системы управления

5) Теоретическое моделирование и исследование устойчивости САУ процессом УЗВ

6) Экспериментальные исследования технологии УЗО на станках с ЧПУ

7) Безопасность и экологичность проекта

8) Расчет трудоемкости и длительности цикла выполнения НИР

Заключение. Список литературы. Приложения

АННОТАЦИЯ

Тема дипломного проекта: «Компьютерное моделирование и разработка технического оснащения для ультразвуковой упрочняющей обработки на станках с числовым программным управлением»

В дипломном проекте рассмотрены вопросы автоматизации технологии ультразвукового выглаживания и ее интеграции в станочное оборудование с ЧПУ. В работе выполнен теоретический анализ технологического воздействия дополнительной энергии ультразвука на обрабатываемую поверхность, проанализированы существующие конструкции ультразвуковых устройств и выполнен анализ технических возможностей реализации технологии на токарном станке с ЧПУ.

Для реализации технологии спроектирована система автоматического управления процессом обработки и выполнено моделирование обработки с установкой критериев оптимального управления. Спроектированы и рассчитаны конструкции устройств для реализации технологии ультразвукового выглаживания.

Содержание

Введение	5
1. Обзор упрочняющей ультразвуковой обработки	7
1.1 Схемы обработки.....	8
1.2 Сущность ультразвукового ПДД.....	10
1.3. Влияние УЗО на показатель качества поверхностного слоя.....	14
2. Обзор устройств.....	22
2.1. Выводы.....	24
2.2. Цель и задачи проекта.....	24
3. Разработка конструкции ультразвукового устройства для упрочняющей обработки на станках с ЧПУ.....	25
3.1. Типовое устройство для УЗВ, его комплектация. Интегрирование в станок с ЧПУ.....	25
3.2 Разработка конструкции устройств.....	31
4. Разработка системы управления.....	37
4.1. Общая схема САУ процессом УЗВ на токарном станке с ЧПУ.....	37
4.2. Конструктивные элементы САУ.....	45
5. Теоретическое моделирование и исследование устойчивости САУ процессом УЗВ.....	60
5.1. Разработка математической модели САУ выглаживанием.....	60
6. Экспериментальные исследования технологии УЗО на станках с ЧПУ	66
7. Безопасность и экологичность проекта.....	71
7.1. Выводы.....	77
8. Расчет трудоемкости и длительности цикла выполнения НИР.....	78
Заключение	95
Список литературы.....	97
Приложения.....	100

Введение

Одной из основных задач, стоящих перед отечественным машиностроением, является обеспечение точности изготовления деталей машин и качества их поверхностного слоя, так как именно поверхностный слой определяет эксплуатационные свойства изделий. Ведь именно постепенное изменение геометрии деталей в результате износа или разрушения является одной из основных причин отказа их в работе. Как правило, в первую очередь изнашиваются рабочие поверхности, состояние которых часто становится доминирующим фактором, определяющим надёжность и долговечность оборудования. Следуя оптимальным для требуемых условий параметрам в процессе обработки рабочих поверхностей деталей машин можно обеспечить повышение их надёжности, долговечности и качества всего изделия в целом. В настоящее время основным методом чистовой обработки поверхности деталей является абразивная обработка, но известно, что абразивная обработка в ряде случаев не обеспечивает получение поверхности, требуемого качества. В связи с этим, возникла необходимость в совершенствовании альтернативных методов финишной обработки, к которым относится отделочно-упрочняющая обработка поверхностным пластическим деформированием (ППД). Одним из простых в реализации методов ППД является ультразвуковая обработка выглаживанием. Процессы ультразвуковых технологий являются наиболее эффективными методами формообразования. К тому же на данный момент область применения ультразвуковых технологий непрерывно расширяется. Однако область применения данных методов и их технологические возможности недостаточно глубоко исследованы.

Целью данной работы является улучшение свойств поверхностного слоя конструкционных материалов при комбинированной обработке ППД с наложением ультразвуковых колебаний в условиях автоматизированной обработки

1. Обзор упрочняющей ультразвуковой обработки

Для снижения шероховатости, повышения микротвердости и формирования остаточных сжимающих напряжений Муханов и др. предложили способ ультразвукового выглаживания. В результате работы индентора, колеблющегося с частотой более 20000 раз в секунду и смещающегося вдоль поверхности, в поверхностном слое возникают попеременные деформации сжатия и сдвига, которые и обеспечивают вышеописанный эффект. Схема ультразвукового выглаживания представлена на рис. 1.1.

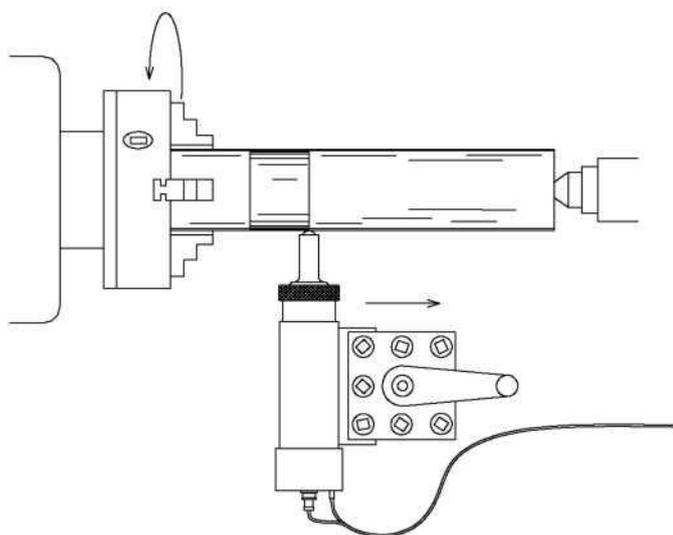


Рис. 1.1. Общая схема ввода ультразвуковой энергии

Существуют два способа ультразвукового поверхностного пластического деформирования:

1. Ультразвуковая обработка (УЗО) проводится при постоянной силе прижима в системе "обрабатываемая поверхность - деформирующий элемент - ультразвуковая колебательная система".
2. Виброударная ультразвуковая обработка (ВУЗО) проводится при наличии зазора между ультразвуковым преобразователем и обрабатываемой поверхностью.

1.1. Схемы обработки

Ввод ультразвуковой энергии (обзор способов)

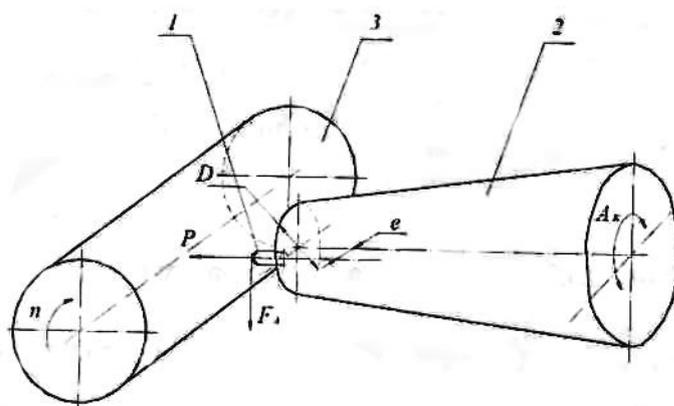


Рис. 1.1.1. Общая схема ультразвуковой обработки (1 - индентор, 2 – концентратор, 3 – обрабатываемая деталь)

Прижим преобразователя к обрабатываемой поверхности при ультразвуковой обработке происходит с постоянной силой F_N . Метод отличается от традиционного выглаживания тем, что инструмент совершает колебания с частотой 20000 раз в секунду. Инструмент движется по поверхности вращающейся детали со скоростью V_R и перемещается вдоль образующей, имея скорость V_S , как и при традиционном выглаживании (рис 1.1.1). Режим ППД, в зависимости от амплитуды ультразвуковых колебаний, может быть гармоническим или ударным. При увеличении амплитуды выше некоторого критического значения происходит переход режима ППД от гармонического к ударному. Инструмент и обрабатываемая поверхность в течение определенного времени не контактируют, а в момент контакта мгновенные напряжения существенно выше средних, что и приводит к большей ПД, чем при обычном выглаживании.

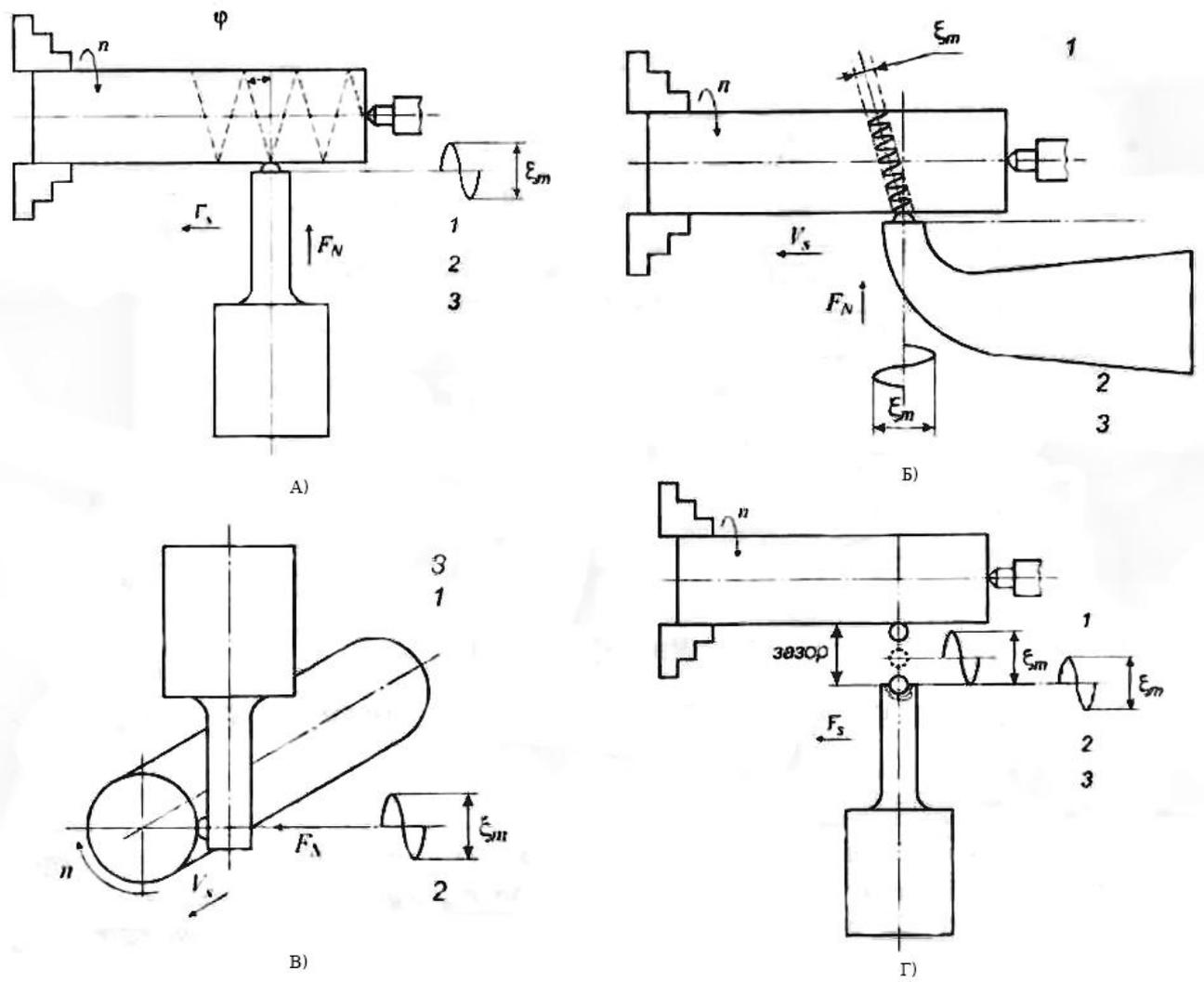


Рис. 3. Способы ввода ультразвуковой энергии

1.2. Сущность ультразвукового поверхностного пластического деформирования

Ультразвуковые преобразователи трансформируют высокочастотную электрическую энергию в ультразвуковую вибрацию, которая переходит к отделочной головке ультразвукового инструмента для того, чтобы сминать поверхность материала с требуемой скоростью воздействия - более чем 20 000 ударов в секунду. Отделочная головка из твердого металла и размещается под прямым углом по отношению к заготовке (рис. 1.2.1).

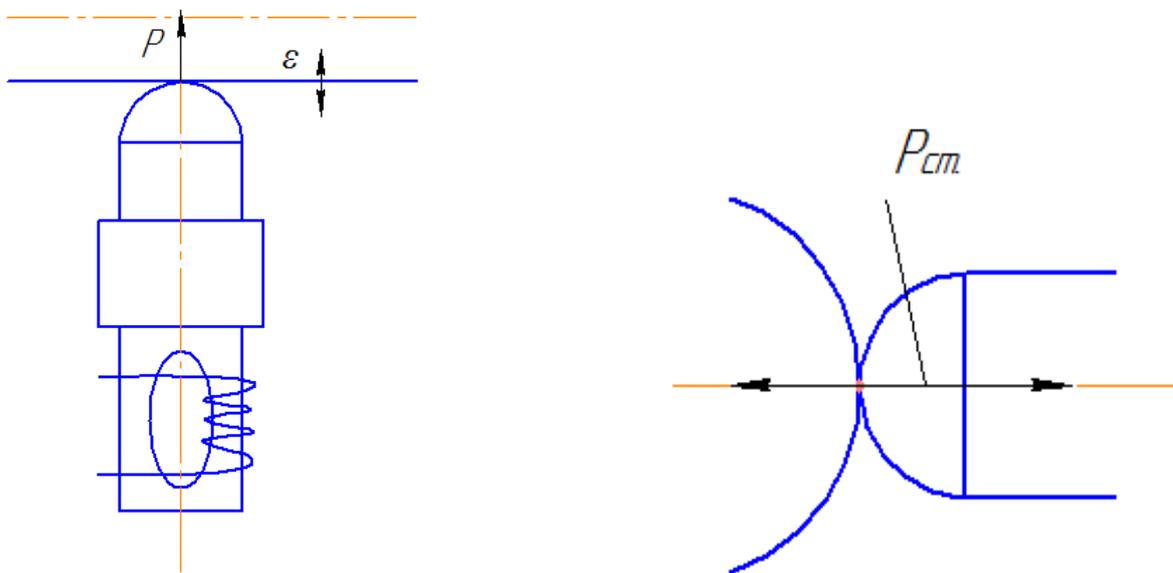


Рис. 1.2.1. Положение отделочной головки относительно обрабатываемой поверхности

При использовании данного метода обработки в отношении к обрабатываемой поверхности можно достичь благоприятного технологического эффекта, а именно упрочнения поверхностного слоя, релаксации остаточных напряжений, снижения шероховатости и др (рис. 1.2.2).

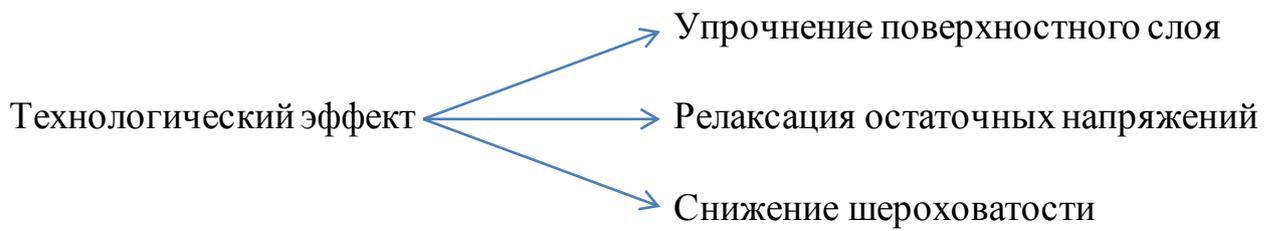


Рис. 1.2.2. Технологический эффект при обработке заготовки

В данной работе будет рассмотрена конструкторская задача по разработке конструкции ультразвуковой установки и её размещения на станке с ЧПУ 16Б16П по следующим схемам (рис. 1.2.3 и 1.2.1):



Рис. 1.2.3. Алгоритм проработки конструкторской задачи по размещению системы ультразвукового выглаживания на станке 16Б16П.

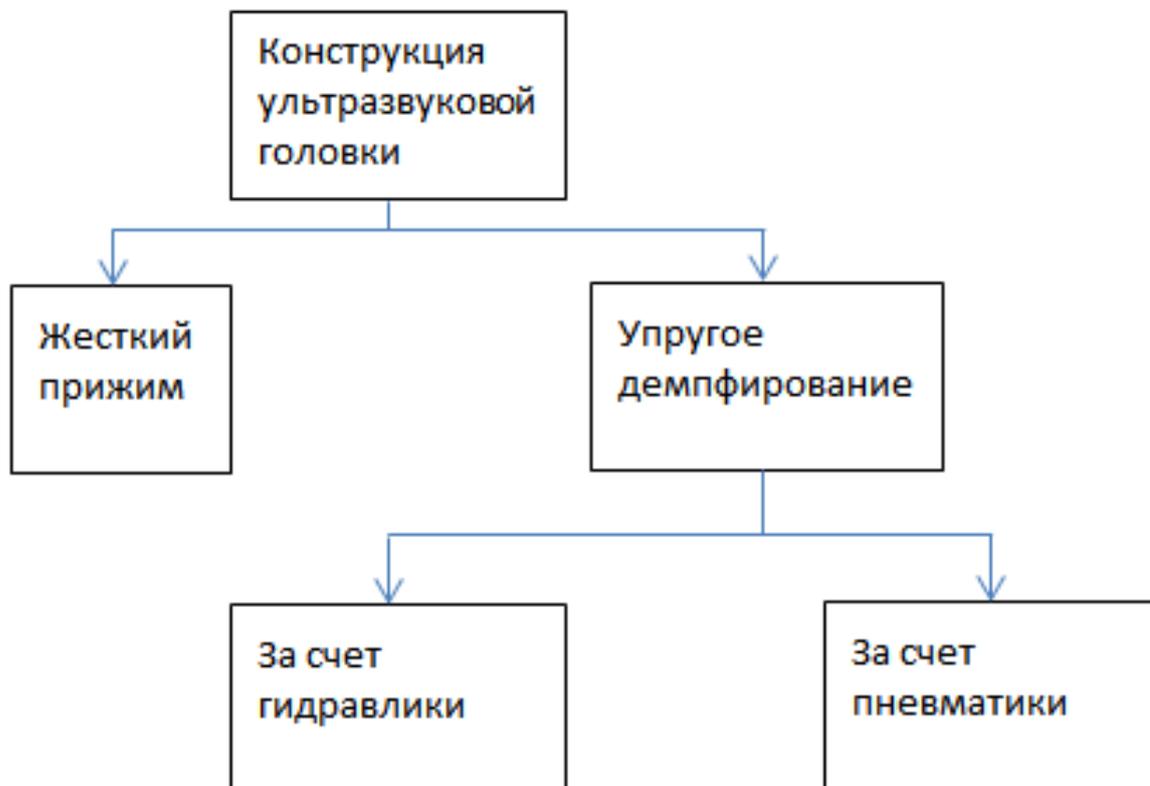


Рис. 1.2.4. Алгоритм разработки конструкции ультразвуковой головки исходя из физических ограничений

Проблемы:

1. Расположение и вывод проводов: поскольку мы имеем дело с установкой, которая приводится в работу генератором ультразвуковых частот, то провода, соединяющие их, требуется разместить в правильном порядке во избежание проблем с их обрывом. То же касается и гидравлических или пневматических трубок, если мы используем в работе упругое демпфирование.
2. Расположение ультразвукового генератора: необходимо разместить ультразвуковой генератор там, где он не будет мешать рабочим частям станка выполнять движение, также расположение проводов зависит от того, где будет стоять ультразвуковой генератор.
3. Организация рабочего пространства: необходимо просчитать, сколько резцов в данной револьверной головке мы можем ещё использовать, если в ней разместить ультразвуковую выглаживающую установку.
4. Интеграция с ЧПУ: одной из основных проблем при внедрении комбинированных технологий в технологическое оборудование с ЧПУ заключается в необходимости проектирования станочного оснащения и систем автоматического управления с возможностью интегрирования в действующее оборудование

1.3. Влияние ультразвуковой обработки на показатель качества поверхностного слоя

Ультразвуковой метод, исследованный в данной работе, используется в основном для обработки металлических поверхностей. Метод основан на формировании с ультразвуковой частотой. Ультразвуковые преобразователи трансформируют высокочастотную электрическую энергию в ультразвуковую вибрацию, которая переходит к отделочной головке ультразвукового инструмента для того, чтобы формировать поверхность материала с требуемой скоростью воздействия - более чем 20 000 ударов в секунду. Отделочная головка из твердого металла и размещается под прямым углом по отношению к заготовке. Отделочная головка прикреплена к пружинной системе, которая обеспечивает постоянную силу контакта. Пружина может быть сжата до требуемой степени, что приводит к повышению контактных сил как и к увеличению отклонения.

Другие механические способы обработки поверхности, такие, как выглаживание сферической поверхностью, широко используются для улучшения физико-механических свойств металлических компонентов. Вследствие пластических деформаций, сжимающих остаточных напряжений, упрочнений, микроструктурных изменений и благоприятной шероховатости, происходит повышение усталостной прочности и износостойкости. Этот механизм осуществляется посредством тела качения, которое перемещается по траектории на поверхности, одновременно применяя регулярную силу сжатия. Согласно Rodriguez и др., полирующая сфера улучшает как физические, так и механические свойства вращающихся деталей. Многие исследователи в прошлом исследовали влияние глубокого выглаживания сферой с использованием различных параметров для отделки вращающихся частей, но есть

несколько исследований, которые исследуют его влияние на овальность или конечный диаметр. Были исследованы остаточные напряжения в заготовке до и после выглаживания и ультразвукового выглаживания.

Метод, исследованный здесь, не удаляет материал из обрабатываемой детали. Тем не менее, ультразвуковое выглаживание имеет эффект пластического деформирования на материал.

Давление между финиширующей головкой и заготовкой и динамическая сила, полученная от ультразвуковой колебательной системы, создает пластическую деформацию, которая сминает пики шероховатости в направлении впадин, что приводит к новой топографии на поверхности. Процесс основан на создании небольших пластических деформаций на поверхности деталей, которые вызывают перемещение материала из "пиков или гребней" ко "впадинам или углублениям» поверхности микронеровностей.

Ультразвуковое выглаживание можно было бы использовать в качестве альтернативного способа финишной обработки, где инструмент может быть установлен непосредственно в держателе инструмента обрабатывающего центра, обеспечивая большую точность и, возможно, уменьшая время обработки, тогда как количество крепежных деталей и зажимов уменьшается.

С качеством шероховатости поверхности, достигнутого по отношению к времени, метод выглаживания может быть использован в качестве эффективного метода при обработке литевых форм и зубчатых колес. Ультразвуковое шлифование может заменить другие процессы обработки, такие как шлифовка или ручная полировка.

Этот метод является относительно новым, исследований по этой теме было сделано немного. В своих работах Niuki и соавт. и Nokkanen изучали этот метод выглаживания, но ни одно исследование не было выпущено в

отношении неовальности и изменения диаметра после завершения операции ультразвукового выглаживания. Неовальность - радиальное отклонение фактического профиля от идеального округлости, где значение неовальности - это разница между наименьшим и наибольшим радиусом профиля.

Производители делают измерения качества, чтобы их продукция удовлетворяла клиентов и соответствовала требуемым стандартам и для оптимизации их собственного производства. Отклонение от округлости играет важную роль в требуемом допустимом отклонении, что особенно заметно во время операции сборки [10]. Шероховатость поверхности проектируемых деталей является существенным критерием конструкции, который, как известно, оказывает значительное влияние на свойства, такие как износостойкость и усталостная прочность. Совершенно плоская поверхность никогда не может быть получена. Поверхности должны всегда иметь неровности в виде пиков и впадин.

Округлость часто является одним из измеряемых параметров качества. Производитель имеет несколько хороших причин, чтобы выяснить, из чего сделана поверхность. В первую очередь, производитель должен иметь возможность обеспечить округлость продуктов, для которых существует потребность на рынке. Во-вторых, они должны быть в состоянии сделать это таким образом, чтобы расходы не вышли из-под контроля.

В процессе разработки механизма, размеров деталей и узлов играет важную роль в сохранении контроля над разработкой. Одним из многих факторов в соблюдении нужных размеров является фактором допустимых отклонений. Допустимым отклонением, в этом контексте, является

величина изменения в размерах, которая может быть разрешена, или перенесена, без нарушения функциональной пригодности детали. Это нормально для отображения измерений с плюс или минус допустимым отклонением, что делает возможным оставлять некоторый запас на ошибки.

На неовальность особенно нужно обращать внимание при производстве подшипников, а также в случае осей, полуосей и валов. Круглые формы распространены в производстве промышленных деталей и возникают в различных деталях, таких как подшипники и вращающиеся валы. Если, например, детали в подшипнике не точно круглые, может иметь место преждевременный выход из строя и системная поломка. Величина неовальности необходимо учитывать во всех отраслях промышленности, которые используют круглые части. Вот почему очень важно измерять и знать влияние чистовой обработки на неовальность и конечный диаметр.

Эта работа рассматривает влияние ультразвукового выглаживания на неовальность и диаметр заготовки, а также то, как исходная шероховатость поверхности влияет на готовую поверхность. Целью данного исследования является предложить детальный анализ этого вопроса на эмпирическом уровне. Три различных материала заготовки будут рассмотрены: алюминия, 34-CrNiMo6 – закаленная сталь и S355J2 - конструкционная сталь. Следовательно, мотивацией для текущей исследовательской работы было изучение важных выходных параметров ультразвукового выглаживания, таких как неовальность и конечный диаметр. Однако, насколько нам известно, никакое из эмпирических исследований ранее не рассматривало влияние ультразвукового выглаживания на конечный диаметр заготовки.

Ультразвуковое выглаживание улучшает физические и механические свойства вращающихся деталей. В частности, этот метод улучшает

качество поверхности и увеличивает твердость поверхности деталей, и качество предварительно обработанной поверхности не сильно влияет на результат либо шероховатости поверхности, либо неовальности.

1.3.1 Материалы и методы

Подготовка и используемые материалы.

Были взяты три типичных материала для испытаний: алюминий (AW 6082 T6), основанная на хrome закаленная сталь 34-CrNiMo6 и конструкционная сталь S355J2. Были изготовлены заготовки длиной 600мм, каждая из которых была разделена на три участка длиной 200мм, в форме заготовки, с различными значениями шероховатости поверхности. Значения исходной ситуации можно увидеть в таблице 1. Алюминий был выбран для демонстрации влияния на более мягкий материала, в то время как 34-CrNiMo6 и S355J2 представляли собой обычно используемые легированные стали. В таблице 1 представлены также твердость обрабатываемых деталей. Твердость обработанных выглаживанием поверхностей измеряли с помощью портативного твердомера с Gnehm Brickers 220.

Ультразвуковая выглаживающая система.

Ультразвуковую выглаживающую систему можно увидеть на рисунке 1. Ультразвуковое выглаживающее оборудование установлено в ручном токарном станке и соединено с генератором и блоком управления. Финиширующая головка прижата к заготовке, где пружина обеспечивает постоянный контакт. Жидкость добавляется между финиширующей головкой и обрабатываемой деталью. Частотой можно управлять с помощью блока управления. Оборудование рассчитано на питание от генератора.

Токарный станок, используемый в этом исследовании - ручной токарный станок со шпинделем мощностью 11кВт. Выглаживание осуществляется с помощью ультразвукового выглаживающего оборудования HIQUSA с вольфрам-карбидным шариком диаметра 3 мм (рисунок 1). Охлаждающая текучая среда, используемая для закаленной и конструкционной стали

представляет собой смесь минерального масла и воды концентрации 5%. Жидкость охлаждает заготовку и инструмент. Эта жидкость оказалась неэффективной с алюминиевой заготовки, так как шероховатость поверхности ухудшалась. Поэтому соединение Rocol RTD было использован в качестве смазки с алюминием, чтобы достичь более гладкой шероховатости поверхности. Параметры, используемые для выглаживания 34-CrNiMo6 и S355J2 сталей были 0,1мм/об для подачи и 100 об/мин для мощности шпинделя, с частотой воздействия 19,000Hz. Параметры выглаживания для более мягкого алюминия были 0,1мм/об для подачи, 80рад/мин для мощности шпинделя и 18,000Hz как частота воздействия. Выглаживание для всех трех типов материала проводили с той же финиширующей головкой - вольфрам-карбидным шариком диаметром 3 мм. Сжатие пружины составляло для закаленной и конструкционной стали 1мм, и 0.35мм для алюминиевой заготовки.

1.3.2 Измерения.

Измерения проводились в три этапа: на неовальность, диаметр, и измерения шероховатости поверхности. Измерения неовальности проводились с помощью устройства измерения Talysond 31C (рис 2) с линейным переменным дифференциальным трансформатором TaluMin. Измерительная головка представляет собой сапфировый шар с диаметром 2mm. Там решение устройства 0.01 μ m и радиальное разрешение шпинделя 0.025 μ m. Измерения диаметра были выполнены вручную, с помощью микрометра. Были проведены многократные измерения и высчитаны средние значения. Шероховатость поверхности была измерена с помощью измерительного прибора Perthen perthometer M4P. Щупы измерительных приборов измеряют топологию линии на поверхности.

1.3.3 Результаты

Измерения проводились на всех трех заготовках, каждая из которых включала поверхность с тремя предварительно полученными значениями шероховатости. Результаты должны выявить соотношение изменений на обработанных выглаживанием поверхностях с исходной шероховатостью поверхности.

Результаты многочисленных исследований привели к выводу, что шероховатость поверхности и микроструктура материала улучшаются путем ультразвукового выглаживания.

Пластическая деформация, которая происходит во время процесса выглаживания сглаживает пики, оставленные от предварительной обработки поверхности, уменьшая значение шероховатости поверхности. В дополнение к сглаживанию качеств ультразвукового выглаживания, деформация материала сжимает поверхностный слой материала, оставляя его твердым и более прочным. Это исследование дало толчок к последующим исследованиям ультразвуковой обработки, исследуя влияние этой технологии на размеры и овальность и как различные материалы и начальная шероховатость поверхности влияют на конечный результат.

2. Обзор устройств



Рис. 2.1.1 Устройство для ультразвукового выглаживания для станков с ЧПУ



Рис. 2.1.2 Устройство для ультразвукового выглаживания для токарных станков



Рис. 2.1.1 Устройство для ультразвукового выглаживания для штампов и пресс-форм

Данные устройства предназначены для обработки деталей из труднообрабатываемых материалов

Устройства позволяют:

- существенно снизить силы резания
- обрабатывать технологически нежесткие изделия без поддерживающих люнетов
- повысить точность обработки изделий
- увеличить стойкость инструмента
- улучшить чистоту и качество поверхности деталей
- устранить возможность возникновения автоколебаний при резании

2.1 Выводы

Рассматривая метод ультразвуковой обработки обнаружено, что данный метод улучшает физические и механические свойства вращающихся деталей, такие как поверхностная твердость, шероховатость, формируются остаточные сжимающие напряжения, улучшается структура зерен. Однако, нельзя не отметить, что данный метод обработки производится вручную под постоянным контролем оператора, что не очень удобно и увеличивает суммарное время обработки деталей.

2.2 Цель и задачи проекта

Целью данной работы является улучшение свойств поверхностного слоя конструкционных материалов при обработке ППД с наложением ультразвуковых колебаний в условиях автоматизированной обработки

Задачи:

- 1) Проанализировать существующие методы обработки поверхностным пластическим деформированием с помощью ультразвука
- 2) Разработка и компоновка ультразвукового выглаживателя на станке с ЧПУ
- 3) Разработка системы автоматического управления процессом ультразвукового выглаживания на токарном станке с ЧПУ

3. Разработка конструкции ультразвукового устройства для упрочняющей обработки на станках с ЧПУ

3.1 Типовое устройство для ультразвуковой обработки выглаживанием, его комплектация. Интегрирование в токарный станок с ЧПУ 16Б16П.

Важным принципом для интеграции технологии выглаживания, в том числе и ультразвукового в станочное оснащение с ЧПУ является принцип модульности. Принцип модульности реализуется на основе модульного построения автоматизированных устройств. Модульный принцип проектирования технологического оснащения для реализации технологии на автоматизированном станочном оборудовании позволит унифицировать основные узлы технологического оснащения, обеспечить взаимозаменяемость и повысить их многофункциональность.

В основе модульного принципа лежит основное технологическое оснащение, которое возможно использовать при любой. Основным функциональным элементом модуля является ультразвуковая головка, предназначенная для ввода дополнительной энергии ультразвуковых колебаний в зону обработки. Типовая конструкция ультразвуковой головки, используемая в МТ представлена на рисунке 3.1.1.

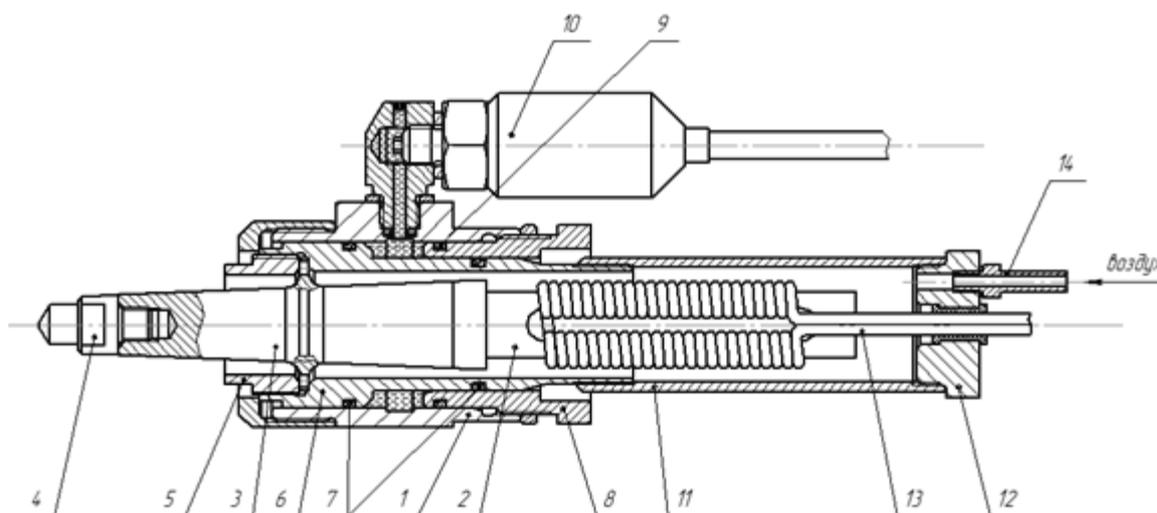


Рис. 3.1.1 Конструкция ультразвуковой головки для УЗВ [11]

Ультразвуковая головка содержит корпус 1, акустическую систему, состоящую из преобразователя 2, соединенного с волноводом 3, на торцевой части которого закреплен излучатель ультразвука 4, представляющий собой наконечник для упрочняющей обработки. Акустическая система по своему «нулевому» бурту жестко с помощью гайки 5 закреплена во внутреннем гнезде полого поршень-штока 6, на двух наружных цилиндрических поверхностях которого, являющимися опорными, установлены гидравлические уплотнения 7. Одна опорная поверхность большего диаметра (поршень) по подвижной посадке сопряжена с внутренним отверстием корпуса 1, находящимся с одной стороны, другая опорная поверхность меньшего диаметра (шток) сопряжена с направляющей втулкой 8, которая в свою очередь установлена в корпусе с возможностью осевого смещения вдоль корпуса с помощью винтовой пары, на наружной поверхности которой имеется гидравлическое уплотнение 9. Направляющая втулка 8 кроме дополнительной опоры для поршень-штока служит для обеспечения точной поднастройки усилия обработки, а также для регулировки длины замкнутой гидравлической полости, образованной вышеупомянутым рабочим торцом поршень-штока, торцом втулки и внутренней цилиндрической поверхностью корпуса и заполненной маслом, давление в которой контролируется с помощью установленного в корпусе электронного датчика 10. На свободном конце поршень-штока установлена защитная втулка 11, на торце которой размещена пробка 12 с выполненными в ней отверстиями для вывода проводов обмотки преобразователя 13 и установки штуцера 14 для подвода воздушного охлаждения в акустическую систему [11].

Если при обработке на специальных или универсальных станках требуется наличие специальных приспособлений, то на станке с ЧПУ, достаточно изменить конструкцию крепления инструмента с концентратором. Интеграция МТ для УЗВ в станочное оборудование с ЧПУ позволяет

обеспечить необходимый уровень автоматизации технологической операции УЗВ.

Компоновка модуля на токарном станке с ЧПУ в качестве дополнительной координаты позволяет обеспечить схему совмещенной обработки резанием и ультразвуковым выглаживанием, что позволяет в ряде случаев исключить из операций технологического процесса обработку шлифованием. Собственная система управления линейным приводом предполагает возможность автономного использования МТ на универсальных станках. Применение автоматизированного технологического оснащения, интегрированного с системой ЧПУ, позволяет расширить технологические возможности ультразвуковой обработки выглаживанием.

Вмешательство оператора в процесс обработки заготовки с применением МТ может быть сведено к минимуму. Алгоритмы управления МТ обеспечивают его автономную работу в течение всего процесса обработки. Применение агрегатно-модульного принципа организации кинематических связей велось на основе проработки варианта компоновки АТМ в рабочей зоне, согласно схеме, представленной на рисунке 3.1.2. По первому варианту АТМ устанавливается в револьверную головку станка. В этом случае используется для его функционирования система ЧПУ станка (рис 3.1.2). По второму варианту АТМ комплектуется собственным управляемым приводом линейного перемещения и устанавливается на станке на поперечном суппорте. При этом управление модулем осуществляется собственной системой автоматизированного управления.

Технические характеристики МТ УЗВ

Таблица 3.1

Максимальные размеры обрабатываемой детали, мм:	
диаметр, мм.....	регламентируется паспортом станка
длина, мм.....	регламентируется паспортом станка
Рабочий ход по направлению оси X, мм.....	150
Точность позиционирования по оси X, мкм.....	±3
Максимальное давление в гидросистеме, МПа.....	0,6
Мощность ультразвукового генератора, кВт.....	0,4
Ультразвуковой излучатель.....	наконечники для выглаживания
..... (ТУ2-037-100-84Е, исполнения I, II)	
.....	радиусами 1 – 4 мм.
Максимальная амплитуда колебаний, мкм.....	20
Частота колебаний, кГц.....	22
Серводвигатель	
выходная мощность, Вт.....	70
номинальный ток, А.....	3
напряжение питания блока управления, В.....	15
момент инерции вала ротора, кг/см ²	0,4
разрешение энкодера, имп./об.....	1000
Электронный датчик давления	
тип.....	МИДА-ДИ-13П-У2
диапазон измеряемых давлений, МПа.....	0 – 0,6
значение выходного сигнала, мА	
для давления 0 МПа.....	4
для давления 0,6 МПа.....	20
погрешность измерения, мА.....	±0,08
напряжение питания, В.....	12 – 36 (в зависимости от нагрузки)
потребляемый ток, не более, мА.....	20,2
Габаритные размеры, мм.....	625X106X215
Масса, кг.....	12

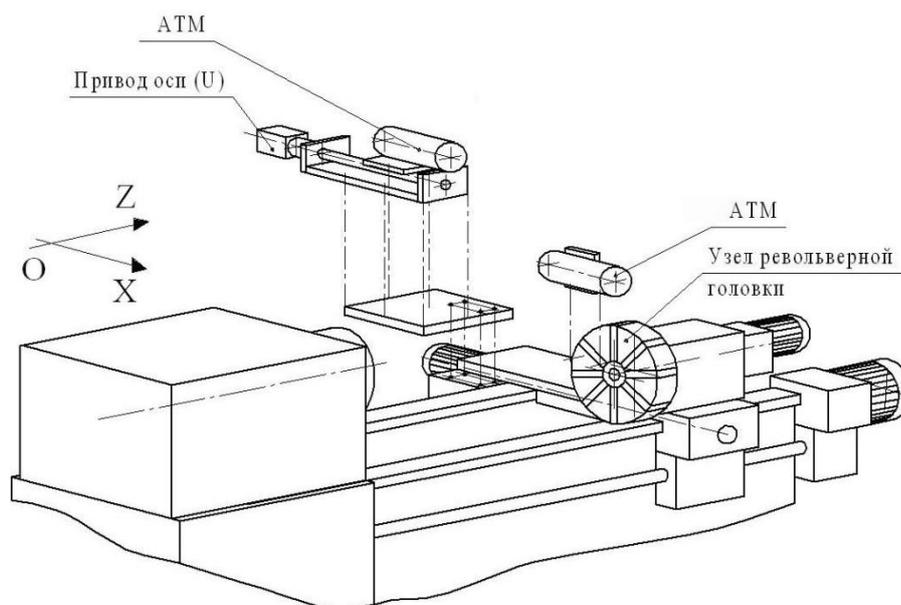
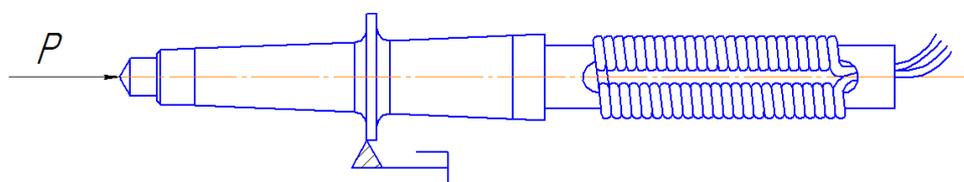


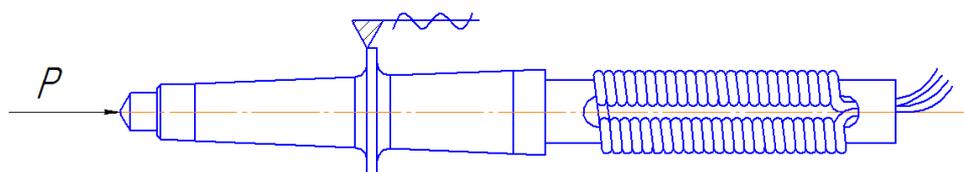
Рис 3.1.2 Компоновка АТМ на станках ЧПУ токарной группы

Одной из основных проблем при внедрении комбинированных технологий в технологическое оборудование с ЧПУ заключается в необходимости проектирования станочного оснащения и систем автоматического управления с возможностью интегрирования в действующее оборудование.

Рассмотрим основные возможные схемы автоматического управления процессом ультразвукового выглаживания. Различают две принципиальные схемы процесса выглаживания: с жесткой связью и упругой (рис. 3.1.3)



Вариант А: жесткий силовой контакт



Вариант Б: упругий контакт

Рис. 3.1.3 Основные возможные схемы автоматического управления процессом ультразвукового выглаживания

По схеме варианта а) с жесткой связью управление процессом выглаживания осуществляется по аналогии с управлением процессом точения. В этом случае используются алгоритмы управления позиционированием суппорта станка используемые в контроллере движения системы ЧПУ. При реализации схемы б) с упругой связью возникает необходимость оснащения дополнительными датчиками

контроля усилия обработки или давления в гидравлической системе и реализации обратной связи. Здесь предполагается организация обратной связи от датчиков и ее интеграция с системой ЧПУ станка. Имеется также перспективный вариант, когда устройство для выглаживания, в том числе и ультразвуковое устанавливается с собственным приводом движения (рис. 3.2.2)

3.2 Разработка конструкции устройств

В зависимости от технологического оснащения процесса выглаживания на токарном станке с ЧПУ возможно реализовать следующие схемы обработки при установке оснастки в револьверную головку станка (рис. 2.2.)

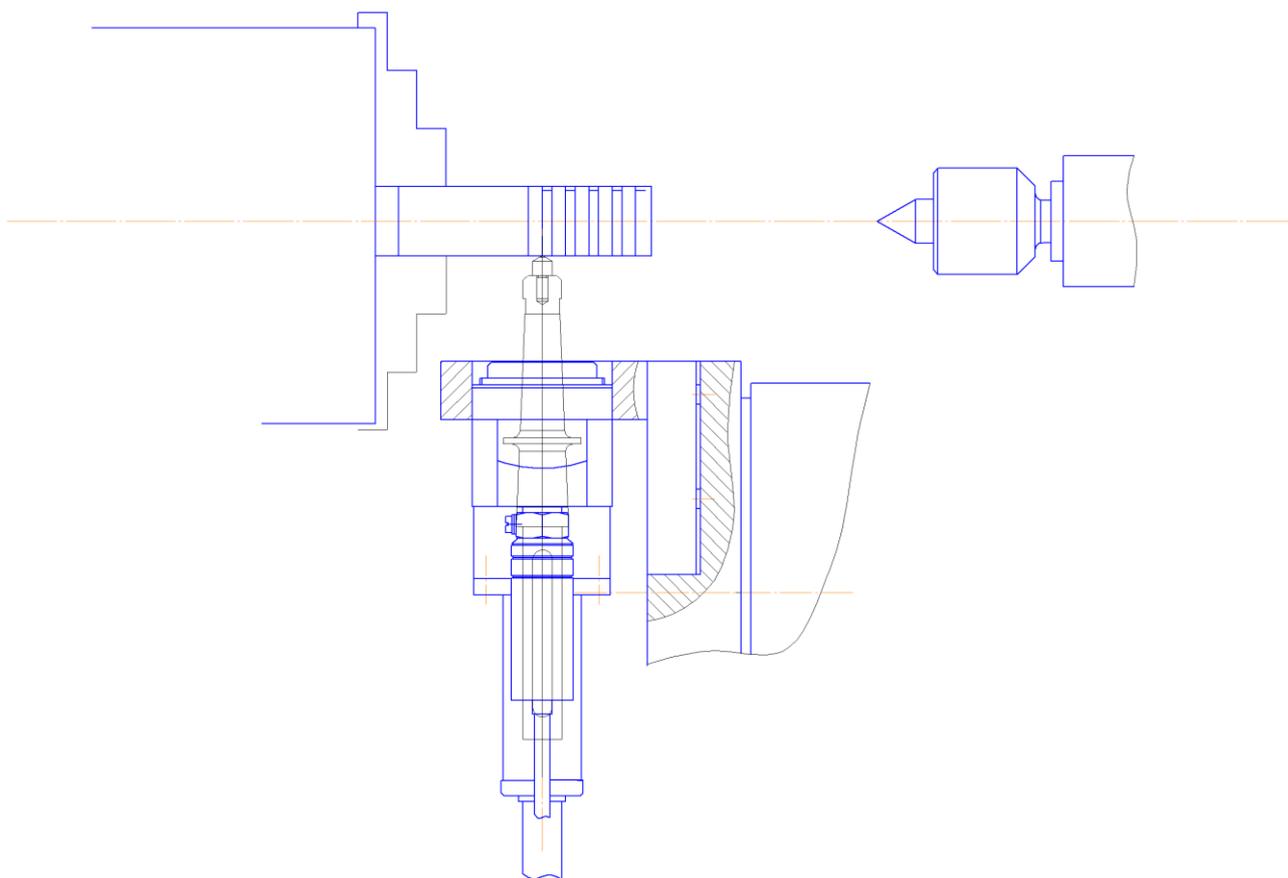


Рис. 3.2.1. Схема устройства для выглаживания, размещенного в револьверной головке

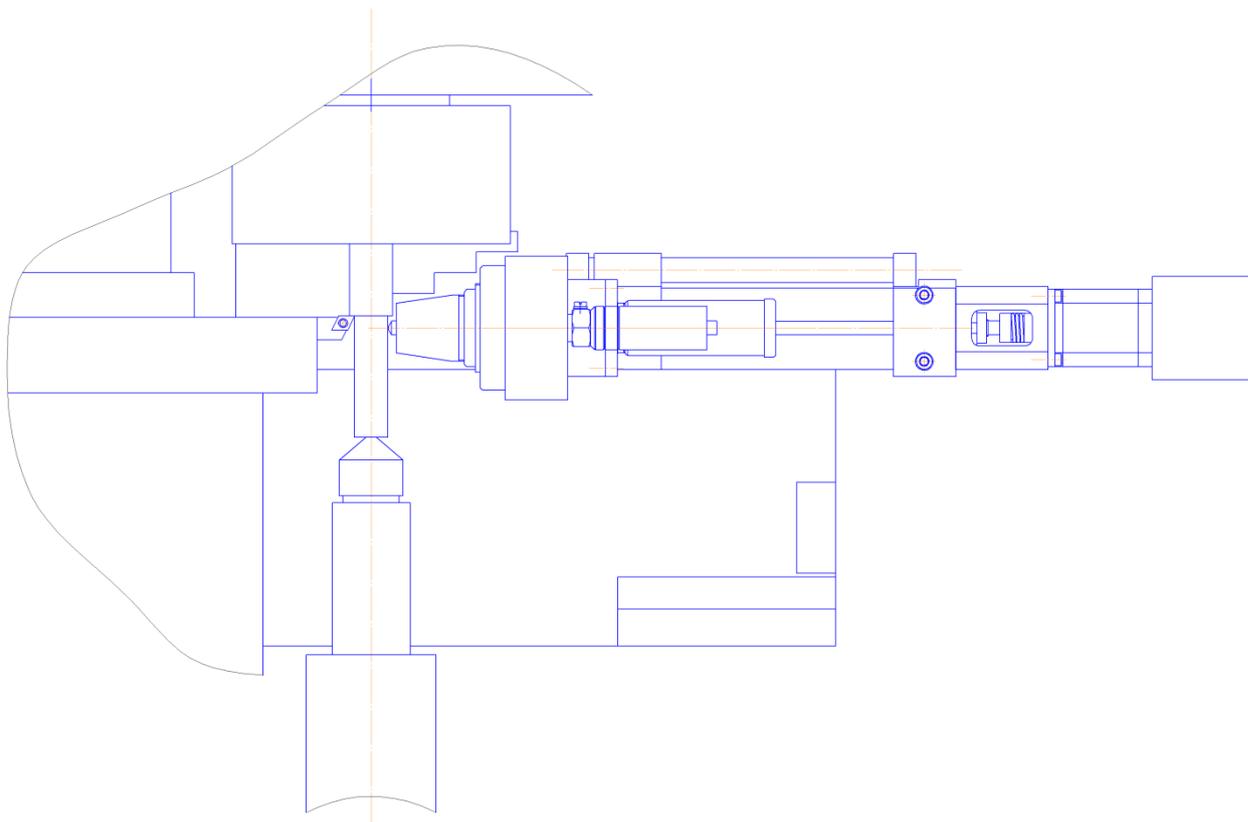


Рис. 3.2.2. Схема устройства для выглаживания с собственным приводом движения

При реализации схемы по рис. 3.2.2 необходимо проводить интеграцию дополнительного электропривода (дополнительной координаты) в систему ЧПУ станка.

Применительно к станкам с ЧПУ токарной группы для точного позиционирования относительно обрабатываемой детали возможно предложить следующую обобщенную схему системы автоматического управления (рис. 3.2.3)

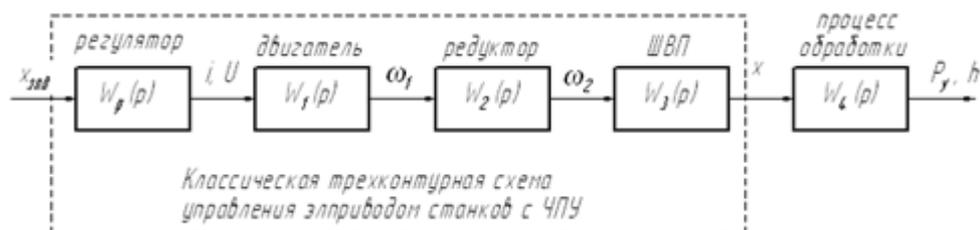


Рис. 3.2.3. Обобщенная схема САУ процессом выглаживания

Наряду с токарной обработкой кинематическая цепь автоматизации УЗВ реализована с помощью АТМ, смонтированным на продольном суппорте станка напротив револьверной головки таким образом, что поперечное перемещение револьверной головки и модуля было независимым друг от друга. При программировании циклов управления предусмотрена организация работы АТМ, как в последовательном, так и в последовательно-параллельном цикле совместно с основными узлами станка. В конструктивном исполнении (рис 3.2.4) АТМ представляет собой наличие двух основных, независимых модулей – ультразвуковой головки, предназначенной для ввода дополнительной энергии в зону обработки, и собственным приводом линейного перемещения, предназначенного для точного позиционирования ультразвуковой головки относительно обрабатываемой заготовки. Управление вводом дополнительной энергии УЗ-колебаний и позиционированием УЗ-головки осуществляется с помощью собственной системы управления, интегрированной с системой ЧПУ станка.

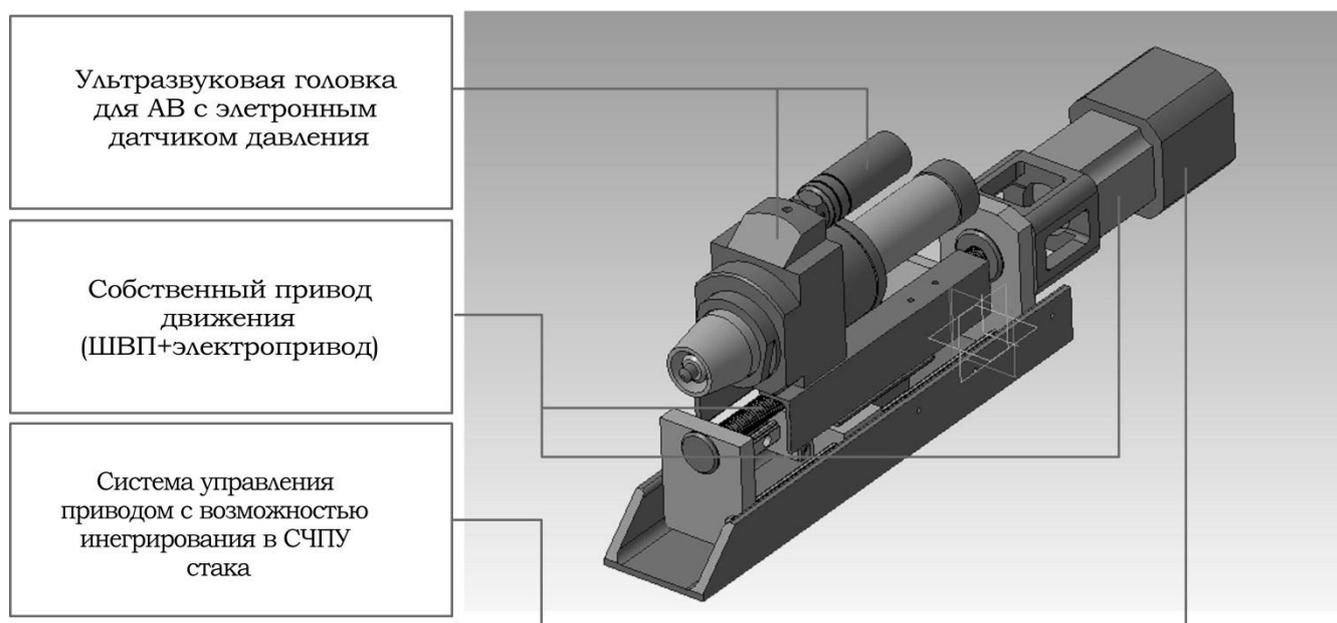


Рис. 3.2.4 Конструктивная схема АТМ

Практически все типы разработанных АТМ комплектуются ультразвуковыми головками и собственным приводом линейного перемещения (рис 3.2.5), выполненного на базе шарико-винтовой пары и шагового серводвигателя (предусмотрена возможность комплектования любыми типами двигателей, в том числе и асинхронными, как вариант возможно оснащение АТМ лазерными головками). В комплект модуля также входят электронный датчик давления для контроля давления в гидросистеме ультразвуковой головки; блоки питания и управления соответственно датчиком давления и шаговым двигателем; ультразвуковой генератор (УЗГ), для преобразования частоты тока 50 – 60 Гц в 22 кГц. Для контроля и визуализации давления в гидросистеме ультразвуковой головки используется измеритель ПИД-регулятор «Овен ТРМ-210» с интерфейсом RS-485 для связи с персональным компьютером (ПК).

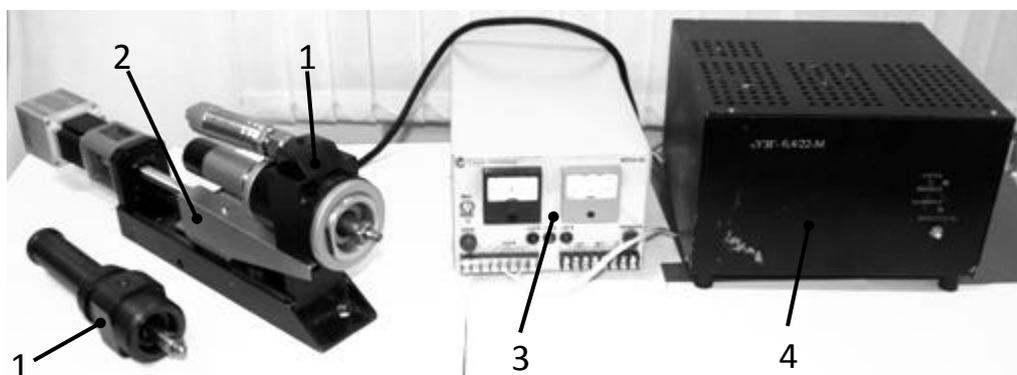


Рис. 3.2.5 Комплектность АТМ для УЗВ: 1 – ультразвуковая головка; 2 – привод линейного перемещения; 3 – блок управления приводом; 4 – ультразвуковой генератор

Монтаж электронных блоков и УЗГ произведен в шкафу системы ЧПУ, а необходимые цифровые индикаторы для визуального считывания и анализа информации и панель управления линейным приводом модуля

выведены на стойку ЧПУ. Технические характеристики модуля приведены в таблице 1.

Собственная система управления шаговым двигателем линейного привода АТМ интегрирована с системой ЧПУ FlexNC. Технически это реализовано за счет модульности аппаратной части СЧПУ FlexNC, стандартных программных и пользовательских интерфейсов и ее открытой архитектуры, построенной на базе персонального компьютера (ПК). Использование в СЧПУ стандартных интерфейсов позволяет интегрировать в ее структуру совместимые с ПК периферийные устройства, в нашем случае электронный блок (контроллер) управления шаговым двигателем АТМ, интерфейс которого также совместимый с ПК [10,11,12].

Из вышеописанных схем расположения устройства на станке можно выделить следующие положительные и отрицательные моменты (таб. 3.2)

Таблица 3.2

	«+»	«-»
Напротив револьверн ой головки	<ul style="list-style-type: none"> • Возможность одновременной обработки • Сокращение времени обработки • Удобство расположение проводов и гидравлических/пневматических трубок 	<ul style="list-style-type: none"> • Собственный привод • Затраты на доп. Оборудование
В револьверн ой головке	<ul style="list-style-type: none"> • Не требует доп. оборудования • Компактное расположение в револьверной головке 	<ul style="list-style-type: none"> • Невозможна одновременная обработка • Как следствие, увеличение времени обработки • Неудобство расположения проводов и гидравлических/пневматических трубок • Занимает сразу 2 позиции в револьверной головке

4. Разработка системы управления

4.1 Общая схема САУ процессом ультразвукового выглаживания на токарном станке с ЧПУ

Важным моментом интеграции технологии ультразвукового упрочнения в станочное оборудование с ЧПУ является возможность не только автоматизации процесса обработки, но и возможность управления технологическими параметрами обработки, с целью обеспечения заданных показателей качества ПС детали. Современные системы ЧПУ открытой архитектуры позволяет не только обеспечить управление приводами станка, но собирать и обрабатывать большие массивы данных; блоки управления системы ЧПУ имеют доступ к любым переменным и сигналам системы управления, электроприводам и т.д. Так, в модернизируемом нами оборудовании к качеству системы ЧПУ применяли СЧПУ FlexNC отечественной разработки. Ядро СЧПУ FlexNC составляет DSP-процессор фирмы Motorola, на котором реализовано три контура управления электроприводами, контроллеры движения и электроавтоматики станка. Функциональное объединение трех устройств на одном процессоре позволяет повысить скорость управления и обмена данными внутри системы и реализовать адаптивные и диагностические алгоритмы управления в режиме реального времени. Это дает возможность осуществлять диагностику процесса обработки, а, следовательно, в реальном режиме времени отслеживать формирование показателей качества детали, причем без использования дополнительных датчиков. При этом, диагностическими параметрами могут служить значения моментов и токов в электроприводах главного движения и подач. Далее такие параметры будем называть диагностическими параметрами СЧПУ и обозначать P_i . Установление количественной взаимосвязи диагностических параметров СЧПУ с технологическими параметрами

обработки и формируемыми показателями качества поверхностного слоя (ПС) в виде комплекса математических зависимостей (4.1) представляет возможность «обучения» СЧПУ и разработки автоматизированной системы управления процессами УЗТ в режиме реального времени.

$$ПК_i = f(ТП_j);$$

$$П_k = f(ТП_j); \quad (4.1)$$

$$ПК_i = f(П_k),$$

где $ПК_i$ – i -й параметра качества ПС; $ТП_j$ – j -й технологический параметр обработки; $П_k$ – k -й диагностический параметр, считываемый СЧПУ.

Открытая архитектура установленной на станке системы ЧПУ FlexNC, ее диагностические возможности по комплексной оценке состояния электроприводов главного движения и подач в режиме реального времени, позволили разработать и интегрировать в ее структуру [11] оригинальную автоматизированную систему управления (АСУ) процессом ультразвукового выглаживания (УЗВ). Разработанная автоматическая система управления отличается автоматическим согласованием затрат энергии в обрабатываемой области, которые концентрируются в площади деформирования обрабатываемой поверхности, с текущими затратами энергии на движение и подачу в электроприводах.



Рис. 4.1 Схема согласования энергетических затрат в зоне обработки с энергетическими затратами в электроприводах станка

Неоднородность структуры поверхностного слоя, погрешность профиля поверхности оказывают определенное влияние на энергетические затраты в зоне обработки, в частности к колебанию силы выглаживания, что в конечном итоге приводит к неравномерности упрочнения ПС. Таким образом, одной из задач АСУ УЗВ является обеспечение стабильного формирования показателей качества ПС при неоднородности исходной структуры ПС и его геометрии. В этом случае система должна обеспечить на всем цикле обработки поверхности постоянное усилие выглаживания. Другой, важной задачей является «выравнивание» исходной структуры ПС и исправление погрешности формы обрабатываемой поверхности за счет автоматической поднастройки требуемого усилия. Важным

обстоятельством при решении двух отмеченных выше задач является возможность такой организации и управления кинематическими связями МТ, встроенных в станочное оборудование, при котором возможно обеспечить быстродействие и устойчивость АСУ и отслеживания в режиме реального времени возмущающего воздействия (неоднородность структуры ПС и погрешность формы).

Функциональная схема разработанной АСУ УЗВ представлена на рисунке 4.2. Объектом управления АСУ является статическое усилие P , H , с которым выглаживающий инструмент внедряется в обрабатываемую поверхность, являющимся технологическим показателем передаваемой в ПС внешней энергии (здесь необходимо также учитывать динамическую составляющую силы выглаживания, обусловленную УЗ-колебаниями). Возмущающим воздействием, приводящим к колебанию силы выглаживания, является неоднородность структуры ПС и погрешность формы детали. Динамическую взаимосвязь статического усилия P с погрешностью формы обрабатываемой поверхности оценим следующим образом. Движение каждой точки на обрабатываемой поверхности заготовки радиусом R_3 , совершающей вращательное движение с скоростью ν , в направлении внедрения выглаживающего инструмента, будет описываться кинетическим уравнением

$$x(t) = R_3 \cos(\omega t + \alpha), \quad (4.2)$$

где $x(t)$ - координата внедрения выглаживающего инструмента в обрабатываемую поверхность, мм; $\omega = \nu/R_3$ - угловая скорость вращения заготовки, радиусом R_3 , α - угол сдвига фаз. Учитывая, что из-за погрешности формы поверхности, рассматриваемая точка не всегда будет находиться на поверхности радиусом R_3 . Введем некоторую функцию, характеризующую отклонение высотных параметров профиля поверхности $w(x)$, с учетом которой для (4.2) получим выражение

$$x(t) = R_3 w(x) \cos(\omega t + \alpha) \quad (4.3)$$

Связь усилия P с величиной внедрения инструмента в обрабатываемую поверхность оценим из выражения [30]

$$P = \pi \sigma_T h R, \quad (4.4)$$

где σ_T – предел текучести обрабатываемого материала, МПа; h – величина внедрения инструмента в обрабатываемую поверхность (по координате x), мм; R – радиус инструмента, мм.

Учитывая, что погрешность формы детали оказывает влияние на глубину внедрения инструмента, то на основании формул (4.3) и (4.4) получим следующее выражение устанавливающее динамическую взаимосвязь усилия с погрешностью формы поверхности обрабатываемой заготовки при ее вращении

$$P(t) = \pi \sigma_T \left[h + R_3 w(x) \cos(\omega t + \alpha) \right] \bar{R} \quad (4.5)$$

Требуемое усилие выглаживания создается путем подвода УЗ-головки с помощью собственного привода МГ до касания инструмента обрабатываемой поверхности и контролируется с помощью датчика давления, преобразующий входной аналоговый сигнал давления p в полости гидроцилиндра УЗ-головки в выходной аналоговый сигнал величины тока I_d , используемый в дальнейшем как сигнал управления двигателем привода МГ. Датчик давления используется как пропорциональное звено в контуре обратной связи для реализации кинематической связи «двигатель – УЗ-головка», при этом связь входной величины (давления) с выходной (ток) описывается уравнением

$$I_d = k_d p, \quad (4.6)$$

где k_d – коэффициент пропорциональности (определяется техническими характеристиками датчика давления)

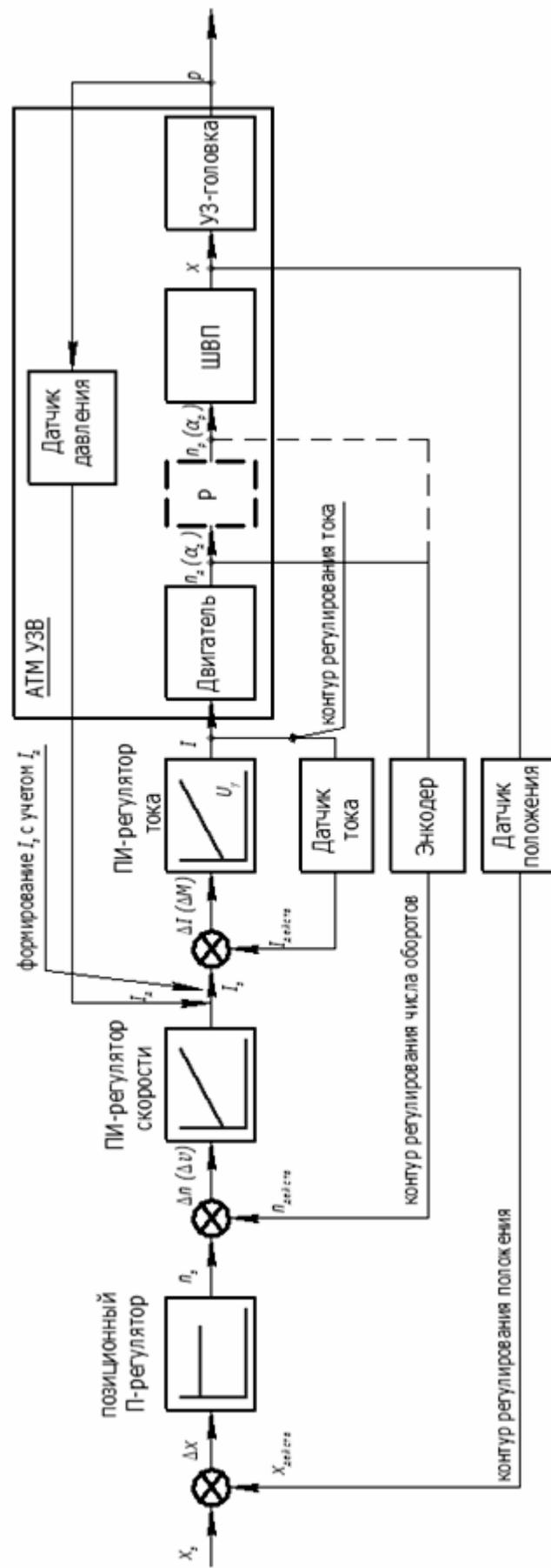


Рисунок 4.3 Функциональная схема автоматизированной системы управления процессом УЗВ

Связь давления в полости гидроцилиндра УЗ-головки с усилием опишем следующим выражением:

$$P(t) = S_{\text{УЗГ}} p(t), \quad (4.7)$$

где $S_{\text{УЗГ}}$ – рабочая площадь поршня гидроцилиндра УЗГ

Кинематическая связь «двигатель – УЗ-головка» осуществляется посредством шарико-винтовой пары (ШВП) и редуктора, представляющего собой простую кинематическую пару с некоторым передаточным отношением i . В частном случае возможна безредукторная организация кинематической связи. Данная кинематическая связь обеспечивает по заданному значению тока I_3 с учетом значения тока с канала обратной связи I_d (с датчика давления) в обмотке двигателя необходимое положение x УЗ-головки для создания требуемого давления в полости гидроцилиндра, а следовательно и усилия обработки. Для точного управления позиционированием УЗ-головки относительно обрабатываемой заготовки и обеспечения требуемого положения x предложено каскадное регулирование, однако в отличие от стандартного регулирования электроприводов станков с ЧПУ вместо трех контурного регулирования предложено 4-х контурное. Первые три контура (контур регулирования положения, контур регулирования чисел оборотов и контур тока) заимствованы от управления электроприводами станков с ЧПУ, а четвертый контур (канал обратной связи) по разработанному алгоритму формирует совместно с ПИ-регулятором скорости (см. рис. 4.3) управляющий сигнал в виде тока для управления двигателем привода МГ. Для моделирования кинематической связи МГ и исследования устойчивости и быстродействия АСУ УЗВ необходимо в общем виде получить дифференциальные уравнения движения динамической системы «двигатель – редуктор – ШВП» на входе которой задающая величина тока I_3 с учетом

значения тока с канала обратной связи I_d , а на выходе требуемое положение УЗ-головки X .

4.2 Конструктивные элементы САУ

Передача винт-гайка качения собственного привода

Винт-гайка - та передача, которая очень хорошо вписывается в системы позиционирования станков с числовым программным управлением. КПД такой передачи очень высок - порядка 0,8-0,9. Отсутствующее самоторможение, пониженное демпфирование, а также высокая стоимость снижают привлекательность данной передачи.

Конструкционные особенности передачи и её конструкция

Передача состоит из винта 1 (рис. 4. 1), гайки 2, шариков 3 и устройств для возврата шариков (на рисунке не показаны). Полуциркулярный резьбовой профиль считается более технологичным и обычно применяют его. Если напряжения в контактах достаточно высоки, то для их снижения предусматривают $\gamma_{\text{в}} = \gamma_{\text{г}} = (1,03 \dots 1,05) r_1$. Для более высокой точности и жесткости передачи предварительного натяга применяют винты, сдвоенные дифференциальные гайки. Его принимают за номинальный. Размеры передачи по ГОСТ 25329 - 82 приведены в табл. 4.1.

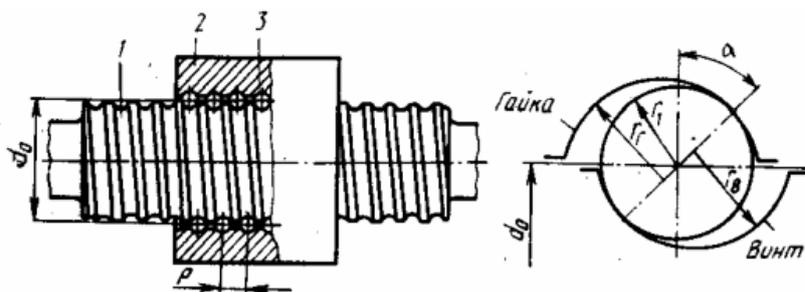
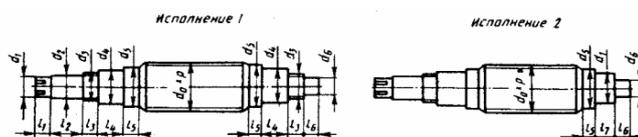


Рис. 4.2. Схема передачи винт-гайка качения

Для заданного шага $p=5\text{мм}$ выбираем винт с $d_0=32\text{мм}$.

Основные и присоединительные размеры винтов

Таблица 4.2



$d_0 \times p$	d_1	l_1	d_2	l_2	d_3	l_3	d_4	l_4	d_5	l_5	d_6	l_6	d_7	l_7
25x5	13		14		M16x1,5		17	65	21,7				17	
32x5		11							28,7					
32x(6)	14		16		M20x1,5				28,2		14	15	20	20
40x5							20			30				
40x(6)			20	40				78	36,7					
40x(6)	18				M24x1,5				36,2		20	25	25	
40x10		15	22				25		33,7					
50x5									46,7					22
50x(6)			25						46,2					
50x10	24				M30x1,5		30	88			24	30	35	
50x(12)			28	50					43,7	40				
									42,7					

Принимаем передачу с двумя гайками, снабженными зубчатыми венцами. В шарико-винтовой механизм входят винт 2 (рис. 4. 2), две гайки 4 и 6, комплект шариков 5, корпус 1.

Устройства для возврата шариков 3 выполнены в виде вкладышей, вставленных в три окна каждой гайки. Два соседних витка винтовой канавки сдвинуты относительно друг друга по оси на один шаг канавки, соединяются вкладышами и разделяют шарики в каждой гайке на три повторяющиеся группы. Зубчатые венцы на фланцах входят во внутренние зубчатые венцы корпуса, которыми снабжены гайки для тонкого регулирования натяжения. Зубьев на одном фланце на один больше, чем на втором. Заданный натяг создается благодаря небольшому осевому сближению профилей резьб гаек, для этого нужно вывести из корпуса венцы обоих фланцев, на одно и то же количество повернуть гайки в одну сторону (но на неравные углы) и снова соединить зубчатые венцы.

В этом механизме, как и в других с возвратом шариков через вкладыши, рабочее число шариков в одном витке

$$Z_1 = \frac{\pi \cdot d_0}{d_1} - \frac{3p}{d_1}$$

расчетное число шариков в одном витке

$$Z_p = k_z Z_1$$

где $k_z = 0,7 \dots 0,8$ - коэффициент, учитывающий погрешности изготовления резьбы винтового механизма.

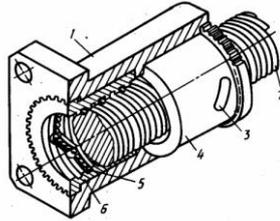


Рис. 4.2. Передача с двумя гайками, снабженными зубчатыми венцами

Для смазки ШВП используют индустриальные масла, а при возникновении затруднений его использования - солидол. Масло подаётся к корпусу с гайками. Солидол закладывают в канавки гайке. Иногда можно использовать масла с противозадирными присадками из-за трения скольжения в каналах возврата.

Для защиты самих винтов от загрязнения разрешено использовать гармоникообразные меха - они не обладают большими габаритами, в отличие от телескопических трубок с уплотнениями, которые возможно задействовать только при увеличении длины винта. Отличным средством очистки винта является фетровая втулка или втулка из войлока с резьбой на внутренней поверхности (рис. 4.3 а), однако она недолговечна и быстро изнашивается. Нейлоновая втулка также снижает фрикционные силы и меньше изнашивается твердотельными частицами.

Также винт можно чистить скребками-щетками (рис. 4.3 б, в), однако необходимо поставить их так, чтобы не пришлось разбирать целиком весь узел.

Синтетические резьбовые кольца теряют свои свойства при износе, однако при нормальной работе жестко соединенные с гайкой они отлично уплотняют ШВП у противоположных торцов и чистят винт. В устройстве на рис. 4.4 а) размещено по два фтороплатовых кольца с винтовым профилем на внутренней поверхности у каждого торца гайки (рис. 4.4 б, в). Неподвижное кольцо 3 удерживается от вращения относительно гайки 4 при помощи упора 1. Вращающийся винт передачи уводит за собой кольцо 2 до тех пор, пока оно не упрется в неподвижное кольцо. Благодаря этому у торца гайки, где винт ввинчивается в нее, возникает контакт с натягом между винтовыми профилями колец и винта. Вращая его в обратную сторону такой же контакт возникает и в другом конце гайки. Влияние износа колец на работу устройства невелико. Загрязнения отводятся наклонными пазами в кольцах.

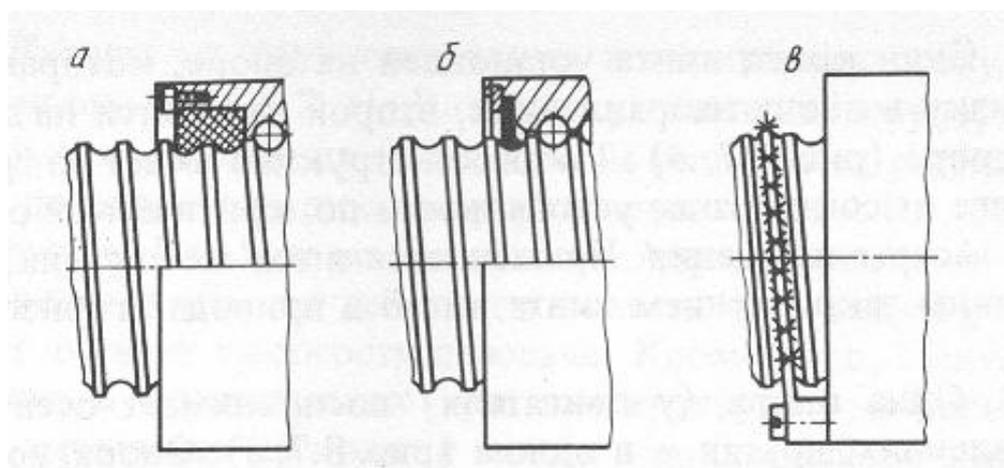


Рис. 4.3. Устройства для предохранения шарико-винтового механизма от загрязнения

винту; i - передаточное отношение этой цепи.

$$M = \frac{70 \cdot 0,73}{0,3452} = 148 \text{ Н/м}$$

Окружная сила на радиусе резьбы, Н:

$$T = \frac{2M}{d_0}, \quad T = \frac{2 \cdot 148}{0,32} = 925 \text{ Н}$$

Осевая сила, действующая на винт, Н:

$$Q = \frac{T}{\operatorname{tg}(\beta + \rho)}$$

где $\beta = \operatorname{arctg} p / (\pi d_0) = \operatorname{arctg} 5 / (\pi \cdot 32) = 78,69 / 3,14 \cdot 32 = 0,7831$ - угол подъема резьбы;

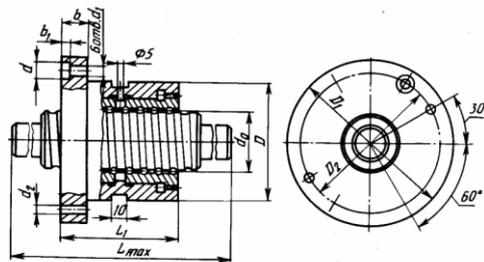


Рис. 4.5. Основные размеры передачи ВГК с двумя гайками в круглом корпусе.

Таблица 4.2 Основные размеры (мм) передачи ВГК

d0	p	D	D1	D2	d	d1	d2	L1	b	b1
32	5	60	95	75	14	9	5,8	80	16	8

$\rho = \operatorname{arctg} f$ - угол трения (f -коэффициент трения качения, $f = (57 \dots 85) \cdot 10^{-5}$).

$$\rho = \operatorname{arctg}(60 \cdot 10^{-5}) = 0,034, \quad Q = \frac{925}{\operatorname{tg}(0,7831 + 0,034)} = 64857 \text{ Н}$$

Предельно допустимая нормальная статическая нагрузка на один шарик.

Эту нагрузку (Н) определяют по зависимости:

$$P = k_{\sigma} d_1^2$$

где k_{σ} - коэффициент, зависящий от допустимого контактного напряжения

на поверхности шарика σ_H (при $\sigma_H = 2500; 3000; 3500$ и 3800 МПа соответственно $k_\sigma = 20; 35; 55$ и 70 ; для обычно применяемой передачи $k_\sigma = 70$); $d_1 = 0,6t = 0,65 = 3$ мм – диаметр шарика. $P = 70 \cdot 3^2 = 630$ Н

Статическая грузоподъемность передачи.

Статическая грузоподъемность C_0 – это предельно допустимая осевая нагрузка на винт, в результате действия которой возникает общая остаточная деформация тел качения, гайки и винта в наиболее нагруженной зоне контакта, равная $0,0001$ диаметра тела качения:

$$C_0 = 70 \cdot k_z \cdot d_1 (\pi d_0 - 3p) u \cdot \sin \alpha \cdot \cos \beta,$$

где $u=8$ – число витков в гайке; $\alpha = 45^\circ$ – угол контакта шарика с винтом и гайкой; $k_z = 0,7 \dots 0,8$ – коэффициент, учитывающий погрешности изготовления резьбы винтового механизма

$$C_0 = 70 \cdot 0,7 \cdot 3 \cdot (\pi \cdot 32 - 3 \cdot 5) \cdot 8 \cdot \sin 45^\circ \cdot \cos 0,7831 = 71117 \text{ Н}$$

Расчет силы предварительного натяга.

Силу предварительного натяга необходимо тщательно выбирать, ибо момент холостого хода увеличивается, снижая долговечность повышенной предварительным натягом осевой жесткости передачи.

За минимально допустимую силу натяга $P_{H \min}$ (Н), отнесенную к одному шарик, принимают такую силу, которая обеспечивает сохранение предварительного натяга в винтовой передаче при действии продольной силы Q :

$$P'_{H \min} = \frac{Q}{2k_z Z_1 u \sin \alpha \cos \beta}, \quad \text{где } Z_1 = \frac{\pi \cdot d_0}{d_1} - \frac{3p}{d_1} = \frac{\pi \cdot 32}{3} - \frac{3 \cdot 5}{3} = 28,51 \approx 29$$

рабочее число шариков в одном витке

$$P'_{H \min} = \frac{64857}{2 \cdot 0,7 \cdot 29 \cdot 8 \cdot \sin 45^\circ \cdot \cos 0,7831} = 282 \text{ Н}$$

Наибольшая допустимая сила натяга, отнесенная к одному шарик, при которой сохраняется статическая прочность механизма, Н:

$$P'_{H \max} = P(1 - 0.55Q/C_0) = 630 \cdot (1 - 0.55 \cdot \frac{64857}{71117}) = 314H$$

В зависимости от требуемой жесткости передачи, ее долговечности, допускаемого нагрева винта и особенностей измерительного преобразователя перемещений силу натяга выбирают чаще всего

$$P'_H = (1.5 - 2)P'_{H \min} = 1.5 \cdot 282 = 423 H .$$

Расчет передачи на динамическую грузоподъемность.

Если шарико-винтовой механизм в течение 106 оборотов выдерживает постоянную осевую нагрузку, то эта нагрузка называется динамической грузоподъемностью передачи.

Поскольку в процессе работы станка на винтовую передачу действуют разные по значению, направлению и времени воздействия нагрузки, а частота вращения винта не остается постоянной, методика выбора передачи по динамической грузоподъемности требует определения эквивалентной нагрузки и эквивалентной частоты вращения.

Если в шарико-винтовой механизм входят две гайки, эквивалентную нагрузку находят для каждой из них.

Пусть на передачу со стороны первой гайки действуют осевые нагрузки $Q_1(1), Q_2(1), \dots, Q_k(1)$ при соответствующих частотах вращения винта (гайки) $n_1(1), n_2(1), \dots, n_k(1)$, в течение интервалов времени $t_1(1), t_2(1), \dots, t_k(1)$ (табл. 4. 2).

Тогда силы, действующие на первую гайку передачи,

$$Q'_{i(1)} = P_H (1 + \frac{Q_{i(1)}}{4P_H}), i = 1, 2, \dots, k ,$$

где P_H - сила предварительного натяга в шарико-винтовом механизме.

В этом случае вторая гайка нагружена силами

$$Q'_{i(2)} = Q'_{i(1)} - Q_{i(2)}$$

Если со стороны второй гайки действуют осевые нагрузки $Q_1(2), Q_2(2), \dots, Q_s(2)$ при соответствующих частотах вращения винта (гайки)

$n_1(2), n_2(2), \dots, n_s(2)$, в течение интервалов времени $t_1(2), t_2(2), \dots, t_s(2)$, то она нагружена силами:

$$Q'_{j(2)} = P_H \left(1 + \frac{Q_{i(2)}}{4P_H}\right), j = 1, 2, \dots, s,$$

а первая:

$$Q'_{j(2)} = Q'_{j(1)} - Q_{j(2)}$$

Средняя частота вращения винта при постоянной нагрузке

$$\bar{n} = \frac{n_{1(1)}t_{1(1)} + n_{2(1)}t_{2(1)} + \dots + n_{k(1)}t_{k(1)}}{t_{1(1)} + t_{2(1)} + \dots + t_{k(1)}}$$

Режимы нагрузки винта в течении его эксплуатации

Таблица 4.3

Относительное время работы в долях от общего, t	Частота вращения винта n, об/мин	Осевая нагрузка Q, Н
0,45	0,05	4908
0,3	10	3857
0,2	62	3155
0,05	380	490

Силы, действующие на первую гайку передачи:

$$Q'_{1(1)} = 72 \left(1 + \frac{4908}{4 \cdot 72}\right) = 1300 \text{ Н}$$

$$Q'_{2(1)} = 72 \left(1 + \frac{3857}{4 \cdot 72}\right) = 1036 \text{ Н}$$

$$Q'_{3(1)} = 72 \left(1 + \frac{3155}{4 \cdot 72}\right) = 861 \text{ Н}, \quad Q'_{4(1)} = 72 \left(1 + \frac{490}{4 \cdot 72}\right) = 195 \text{ Н}$$

Силы, действующие на вторую гайку передачи:

$$Q'_{1(2)} = 1300 - 4908 = 3608 \text{ Н}, \quad Q'_{2(2)} = 1036 - 3857 = 2821 \text{ Н}$$

$$Q'_{3(2)} = 861 - 3155 = 2294 \text{ Н}, \quad Q'_{4(2)} = 195 - 490 = 295 \text{ Н}$$

Средняя частота вращения винта при постоянной нагрузке

$$\bar{n} = \frac{0,05 \cdot 0,45 + 21 \cdot 0,3 + 62 \cdot 0,2 + 380 \cdot 0,05}{0,45 + 0,3 + 0,2 + 0,05} = \frac{0,0225 + 6,3 + 12,4 + 19}{1} = 37,72$$

Эквивалентная нагрузка:

$$Q_3 = \left[\frac{\sum_{i=1}^k (Q_{i(1)})^3 n_{i(1)} t_{i(1)}}{\bar{n}} + \frac{\sum_{j=1}^s (Q_{i(2)})^3 n_{i(2)} t_{i(2)}}{\bar{n}} \right]^{\frac{1}{3}} = 3652 H$$

Допустимая продолжительность работы механизма, выраженная в оборотах,

$$N = (C / Q_3)^3 10^6 = \left(\frac{71117}{3652} \right)^3 10^6 = 7385 \cdot 10^6$$

Допустимая продолжительность работы механизма, выраженная в часах:

$$T = \frac{N}{60n} = \frac{7385 \cdot 10^6}{60 \cdot 62} = 1,98 \cdot 10^6$$

Так как требуемую продолжительность работы механизма до наступления усталости любого его элемента принимают равной около 10000 часов, то можно оставить параметры текущего механизма.

Расчет винта на устойчивость по критической осевой силе. Если достаточно длинный винт работает на сжатие, его проверяют на устойчивость при наибольшем тяговом усилии Q , принимаемом за критическую силу. С учетом того что момент инерции сечения винта определяют не для минимального его диаметра, а условного d_0 , получают приближенную зависимость

$$Q_{\max} \approx \frac{\pi^2 EI}{(\mu l)^2},$$

где $E = 20 \cdot 10^5$ - модуль упругости материала винта;

$$I = \frac{\pi d^3}{32} = 3216$$

- момент инерции сечения винта;

μ - коэффициент, зависящий от характера заделки концов винта (если оба

конца винта заземлены, μ принимают равным 0,5; при одном заземленном конце и размещении второго на шарнирной опоре, имеющей возможность смещаться в осевом направлении, $\mu = 0,707$; при обеих шарнирных опорах $\mu = 1$; при одном заземленном конце и втором свободном $\mu = 2$);

$l=350$ - наибольшее расстояние между гайкой и опорой винта.

$$Q_{\max} \approx \frac{\pi^2 \cdot 2 \cdot 10^5 \cdot 3216}{(1 \cdot 350)^2} = 51821 \text{ Н}$$

Расчет винта на устойчивость по критической частоте вращения. В моменты быстрых перемещений рабочего органа станка, когда винт вращается с высокой частотой, центробежные силы могут вызвать потерю его устойчивости, что проявляется в наступлении вибраций, Критическая частота вращения винта (об/мин) $n_k = 5 \cdot 10^7 \frac{d \sqrt{\nu k}}{l^2}$, где d - внутренний диаметр резьбы винта, мм; ν - коэффициент, зависящий от способа заделки винта (если один конец винта заделан жестко, второй свободный, ν принимают равным 0,7; в случае обоих опорных концов $\nu = 2,2$; если один конец заделан жестко, другой опорный, $\nu = 3,4$; когда оба конца заделаны жестко $\nu = 4,9$); $k = 0,5 \dots 0,8$ - коэффициент запаса; l - расстояние между опорами винта, мм

$$n_k = 5 \cdot 10^7 \cdot 28,5 \cdot 2,2 \cdot 0,8 / 350^2 = 2047 \text{ об/мин}$$

Расчет на жесткость.

Необходимый диаметр ходового винта d_0 можно определить из условия обеспечения жесткости привода, которая связана с жесткостью шарико-винтового механизма j_M , винта j_v и его опор j_0 :

$$\frac{1}{j} = \frac{1}{j_M} + \frac{1}{j_v} + \frac{1}{j_0} = \frac{1}{428} + \frac{1}{1800000} + \frac{1}{320} = 0,00546 \text{ мм/Н}$$

Осевая жесткость привода оказывает влияние на возможность возникновения и его резонансных колебаний.

Чтобы не допустить резонансного режима, собственную частоту колебаний механической части привода j принимают в 3-3,5 раза больше, чем частота f_1 импульсов, вырабатываемых системой измерения перемещений.

Для крупных станков $f_1 = 10 \dots 15$ Гц, для средних и малых $f_1 = 15 \dots 25$ Гц. Исходя из допустимой частоты колебаний механической части привода f , определяют его требуемую жесткость (Н/мм):

$$j = 4 \cdot 10^{-6} \cdot \pi^2 \cdot f^2 \cdot m = 4 \cdot 10^{-6} \cdot 3,14^2 \cdot 20^2 \cdot 25 = 99 \frac{H}{мм}$$

m - масса узлов механической части привода (ходового винта, исполнительного узла и установленных на нем приспособления, заготовки), кг.

Жесткость шарико-винтового механизма с предварительным натягом и возвратом шариков через вкладыши при

$$\frac{r_1}{r_2} = 0,96$$

$$j_M = 6 \cdot k_s \cdot u \cdot \left(\frac{d_0}{p} - 1\right) \cdot \sqrt[3]{0,1 \cdot P_H' \cdot p} = 6 \cdot 0,5 \cdot 8 \cdot \left(\frac{32}{5} - 1\right) \cdot \sqrt[3]{0,1 \cdot 72 \cdot 5} = 428 \frac{H}{мм}$$

где $k = 0,3 \dots 0,5$ - коэффициент, учитывающий погрешности изготовления гайки, а также деформации в винтовом механизме и во всех его стыках.

Наименьшая жесткость ходового винта зависит от способа установки его на опорах. При заземлении обоих концов (Н/м):

$$j_B = \frac{\pi \cdot d^2 \cdot E}{l_1} = \frac{3,14 \cdot 32^2 \cdot 2 \cdot 10^5}{350} = 18 \cdot 10^5 \frac{H}{мм}$$

Приближенное значение жесткости опор винта (Н/мм):

$$j_0 = e \cdot d_0 = 10 \cdot 32 = 320 \frac{H}{мм}$$

$e = 5; 10; 30$ соответственно для радиально-упорных, шариковых и роликовых подшипников; d_0 - в мм.

Датчик давления для гидравлического системы ультразвуковой головки

Датчик давления (МИДА-ДИ-13П-У2-0,5/0,6МПа-01-М12 ТУ 4212-044-18004487-2003) предназначен для непрерывного преобразования значения избыточного давления жидкостей в унифицированный сигнал постоянного тока или напряжения постоянного тока.

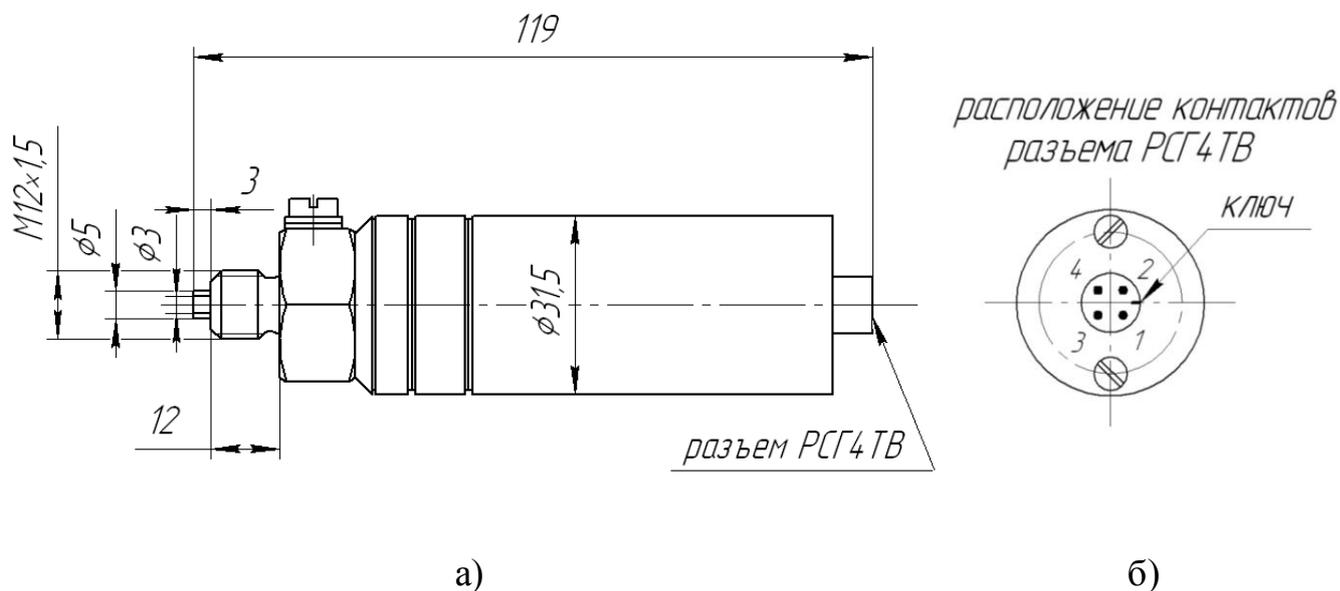


Рис. 4.7. Общий вид датчика давления МИДА-ДИ-13П-У2-0,5/0,6МПа-01-М12
Технические характеристики используемого датчика давления:

1. Пределы допускаемой основной погрешности γ датчика, выраженной в процентах от диапазона изменения выходного сигнала - $\pm 0,5$.
2. Вариация выходного сигнала датчика $\gamma_{\text{в}}$, выраженная в процентах от диапазона измерений не превышает 0,1
3. Зона нечувствительности датчика, выраженная в процентах от диапазона измерений, не превышает 0,1
4. Датчик имеет линейно возрастающую характеристику выходного сигнала. Номинальная статическая характеристика датчика имеет вид:

$$Y = Y_H + (Y_G - Y_H) \cdot \frac{P}{P_{\max}},$$

где Y – текущее значение выходного сигнала датчика: тока I или напряжения U ;

Y_G, Y_H – соответственно верхнее и нижнее предельные значения выходного сигнала ($Y_H = 4$ мА, $Y_G = 20$ мА);

$(Y_G - Y_H)$ – диапазон изменения выходного сигнала;

P – текущее значение измеряемой величины;

P_{\max} – верхний предел измеряемого давления.

5. Датчик предназначен для работы при следующих значениях сопротивлений нагрузки: от 0 до 1 кОм.

6. Дополнительная погрешность датчика, вызванная измерением температуры измеряемой и окружающей среды, выраженная в процентах от диапазона изменения выходного сигнала, не превышает 3 %.

7. Питание датчика осуществляется от стабилизированного источника постоянного тока. Минимальное значение напряжения питания $U_{\min} = 12$ В, максимальное $U_{\max} = 36$ В.

8. Ток, потребляемый датчиком при максимальном напряжении питания и максимальном выходном не должен превышать 20,2 мА.

9. Электрическое подключение датчика осуществляется 2-х проводной линией связи.

Устройство и принцип работы датчика давления

Конструкция датчика: тензопреобразователь объединён с электронным блоком. Его конструктивная схема с подключением изображена на рис. 5.2.10.

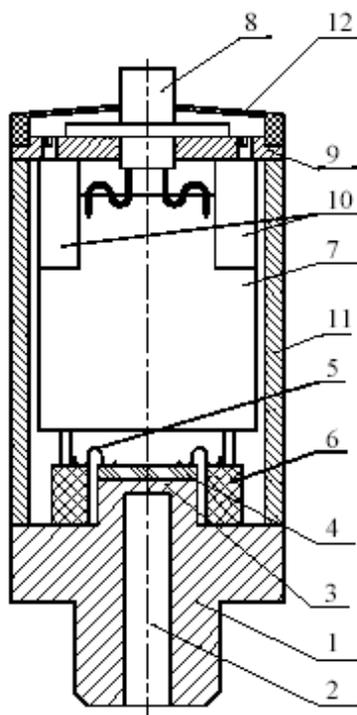


Рис. 4.8. Конструктивная схема датчика давления

Штуцер 1, мембрана 3 с жестко закрепленным кристаллом полупроводникового чувствительного элемента 4, алюминиевые проводники 5, разваренные на кристалл и на выводы коллектора 6, конструктивно образуют тензопреобразователь. Полупроводниковый чувствительный элемент 4 изготовлен из гетероэпитаксиальной структуры «кремний на сапфире» (КНС). Тензопреобразователь через выводы коллектора 6 электрически подключен к электронному блоку 7, а выход электронного блока – к выходному разъему датчика 8, установленному на основании 9. В других модификациях датчика вместо разъема 8 устанавливается контактная колодка с сальниковым выводом. В состав электронного блока могут входить корректоры (переменные резисторы) 10 НУЛЯ (начального значения выходного сигнала) и ДИАПАЗОНА (диапазона изменения выходного сигнала). Не имеют корректоров НУЛЯ и ДИАПАЗОНА датчики. Электронный блок защищен от внешних воздействий кожухом 11. Дополнительная защита от влаги, воды и пыли осуществляется съемным колпачком 12.

5. Теоретическое моделирование и исследование устойчивости САУ процессом ультразвукового выглаживания

5.1. Разработка математической модели САУ выглаживанием

В основу построения математической модели САУ выглаживанием положена схема с одномассовой моделью, имитирующей смещения выглаживающего приспособления относительно обрабатываемой детали (рис. 5.1)

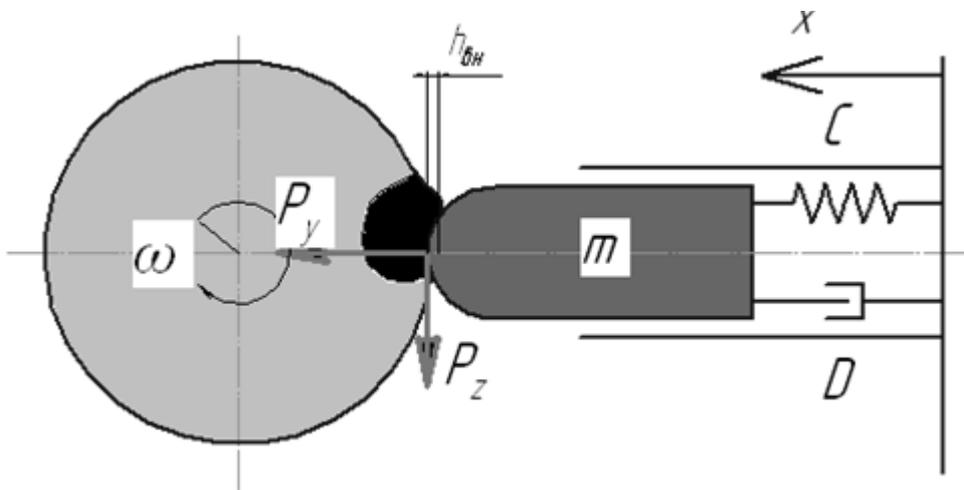


Рис. 5.1. Динамическая модель выглаживания

Согласно схеме динамику системы возможно описать дифференциальным уравнением:

$$m \frac{dx^2}{dt} + D \frac{dx}{dt} + Cx = P_y(t) \quad (5.1)$$

Уравнение (5.1) можно преобразовать к следующему виду

$$\frac{Cx}{P_y} = \frac{1}{\left(\frac{1}{\omega^2}\right)p^2 + \left(\frac{\varepsilon}{\omega}\right)p + 1} \quad (5.2)$$

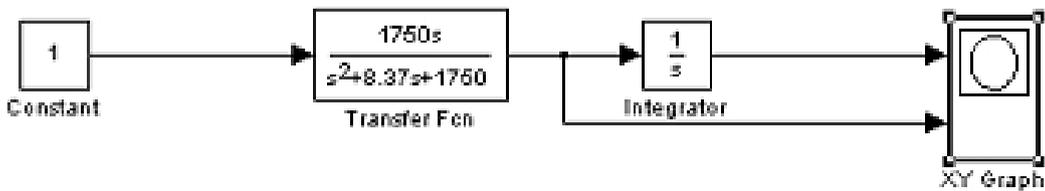
где p - оператор дифференцирования, ω – угловая скорость колебания инструмента относительно обрабатываемой поверхности, ε – соответственно амплитуда колебаний инструмента.

$$\omega = \sqrt{\frac{C}{m}} = 2\pi n$$

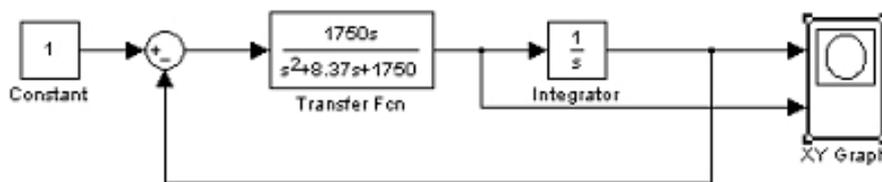
$$\varepsilon = \frac{D}{2\sqrt{Cm}}$$

Уравнение (5.2) представляет собой передаточную функцию процесса обработки выглаживанием, выражающее отношение смещения инструмента по координате x к прикладываемому усилию обработки.

Имитационное моделирование осуществлялось в Simulink пакета Matlab. Моделировались условия внедрения инструмента в обрабатываемую поверхность на заданную глубину как без реализации обратной связи по перемещению так и с реализацией. Соответствующие Simulink модели выглаживания представлены на рис. 5.2 а, б



а)



б)

Рис. 5.2 Simulink модель процесса выглаживания без реализации обратной связи по перемещению а) и с реализацией обратной связи б)

Результаты моделирования в виде фазовых траекторий в координатах скорость – смещение приведены на рис. 5.3.

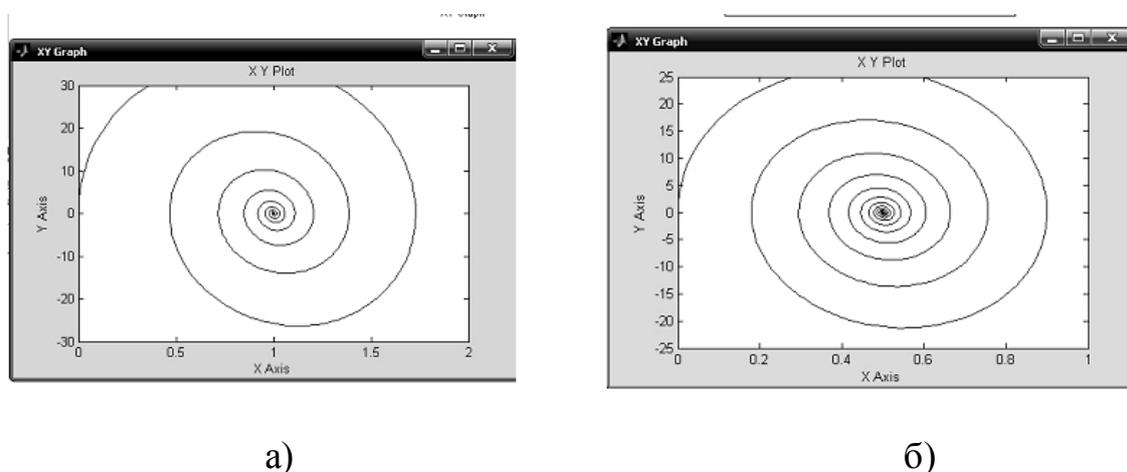


Рис. 5.3. Результаты моделирования а) без реализации обратной связи и б) с обратной связью по смещению

На рис. 5.4. приведены переходные характеристики при ступенчатом изменении входного сигнала (изменении усилия обработки)

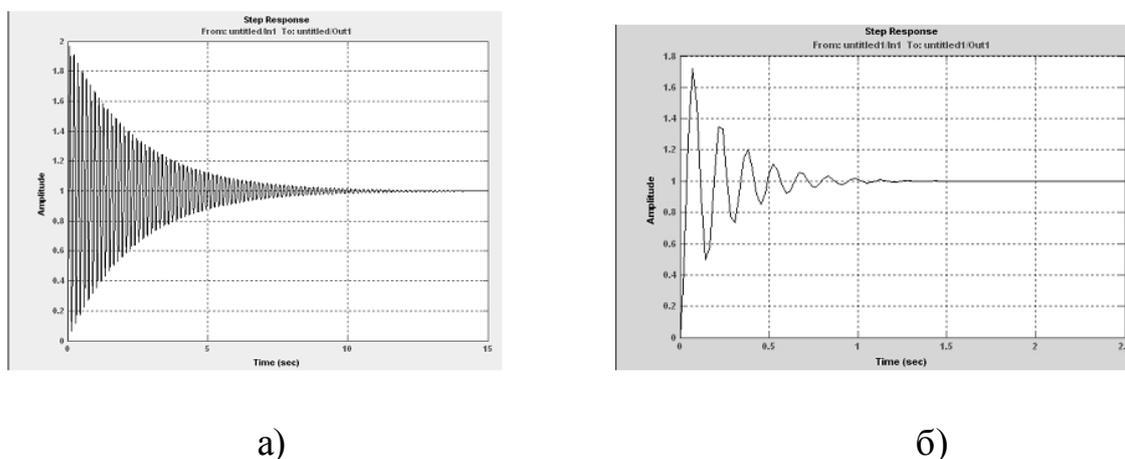


Рис. 5.4 Переходные характеристики САУ выглаживания
а) без реализации обратной связи, б) с реализацией обратной связи

Как следует из анализа моделирования наиболее устойчивым является процесс при реализации обратной связи по смещению.

Для установления связи смещения x УЗ-головки с величиной давления в полости гидроцилиндра проводили серию экспериментов на токарном станке с

ЧПУ модели 16Б16 по поэтапному внедрению инструмента в обрабатываемую поверхность из стали 40Х (*НВ* 290). При каждом статическом внедрении проводили запись величины тока I_x в электроприводе по координате X . Как следует из анализа проведенных исследований изменение давления в гидроцилиндре УЗ-головки оказывает влияние на величину тока I_x , как при обработке с УЗК, так и без них. Таким образом, параметры электропривода, считываемые СЧПУ, могут являться диагностическими показателями процесса обработки в целом.

Обработка результатов экспериментов позволила установить корреляционную связь (рис. 5.5) давления в полости гидроцилиндра с величиной смещения УЗ-головки и получить следующее уравнение:

$$x = 3,07p - 2,246p^2. \quad (5.8)$$

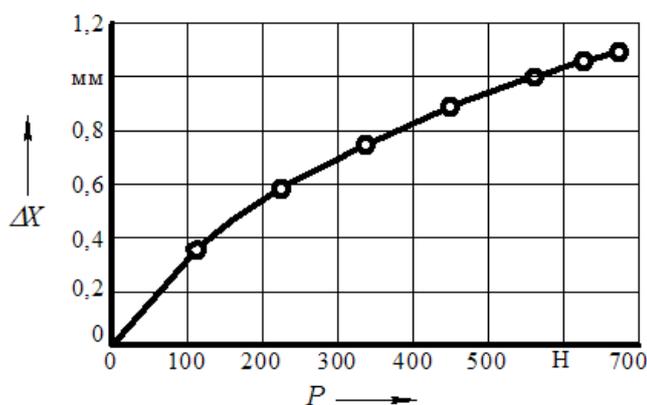


Рис. 5.5 Корреляционная связь смещения ΔX УЗ-головки с давлением в полости гидроцилиндра p

Учитывая вышеприведенные расчеты, а также динамическое уравнение движения электропривода в общем виде получим систему уравнений, устанавливающую функциональную связь величины отклонения профиля обрабатываемой поверхности $w(x)$ (возмущающее воздействие),

величины тока с датчика давления I_d (канал обратной связи) и величины смещения УЗ-головки по координате x

$$\begin{cases} x = 3,07 \left(\frac{I_d}{k_d} \right) - 2,246 \left(\frac{I_d}{k_d} \right)^2 \\ \pi \sigma_T h R + \pi \sigma_T h R_3 R w(x) \cos(\omega t + \alpha) = S_{\text{узг}} \frac{I_d}{k_d} \\ M_\partial - P = \sum J \frac{d\omega_\partial}{dt} \\ M_\partial = f(I) \end{cases} \quad (5.9)$$

где M_∂ – электромагнитный момент, развиваемый двигателем, Нм; P – сила сопротивления МТ, приведенная к валу двигателя, Н; $\sum J$ – суммарный момент инерции, приведенный к валу двигателя; ω_∂ – угловая частота вращения ротора двигателя, рад/с.

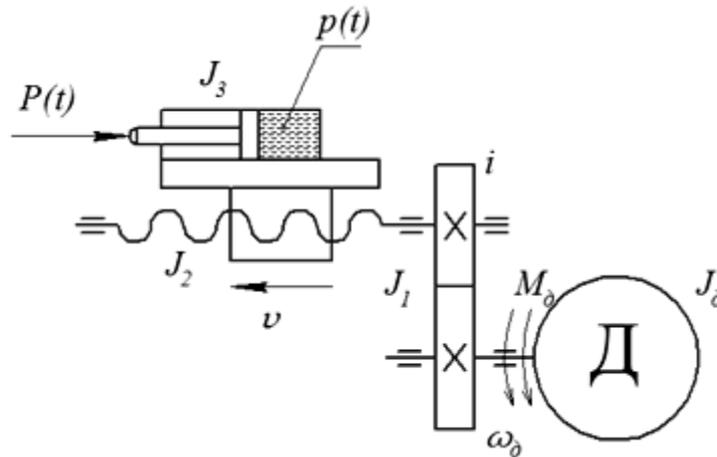


Рис. 5.6 Кинематическая схема МТ

Силу сопротивления $P(t)$, приведенную к валу двигателя (рисунок 5.6), определим на основе равенства баланса мощностей

$$P(t) = M_{\delta} \frac{\omega_{\delta}}{v_{\text{ШВП}}} \eta_p \eta_{\text{ШВП}}, \quad (5.10)$$

где $v_{\text{ШВП}}$ – линейная скорость УЗ-головки, закрепленной на каретке ШВП, м/с; η_p , $\eta_{\text{ШВП}}$ – КПД соответственно редуктора и ШВП.

С учетом зависимостей (5.5) и (5.10) получим функциональную связь погрешности формы обрабатываемой поверхности $w(x)$ с моментом двигателя в виде

$$\pi \sigma_T h R + \pi \sigma_T h R_3 R w(x) \cos(\omega t + \alpha) = M_{\delta} \frac{\omega_{\delta}}{v_{\text{ШВП}}} \eta_p \eta_{\text{ШВП}}, \quad (5.11)$$

Используя полученные зависимости (5.9), (5.11) с учетом определенных значений моментов инерции конструктивных звеньев МГ возможно получить передаточные функции АСУ и определить характер ее динамической устойчивости и быстродействия к возмущающему воздействию.

6. Экспериментальные исследования технологии ультразвуковой обработки на станках с чпу

Для оценки диагностических возможностей СЧПУ «FlexNC» проводили серию опытов по обработке образцов УЗАВ и АВ, при этом на каждом режиме обработки СЧПУ настраивали на запись значений моментов и токов в приводе главного движения (M_s), приводе продольной подачи (M_z , I_z) и приводе поперечной подачи (M_x , I_x).

На рисунках 6.1, 6.2, 6.3 представлены графические зависимости изменения значений моментов в приводе поперечного (M_x) перемещения суппорта при торцовом выглаживании образцов из стали ШХ 15

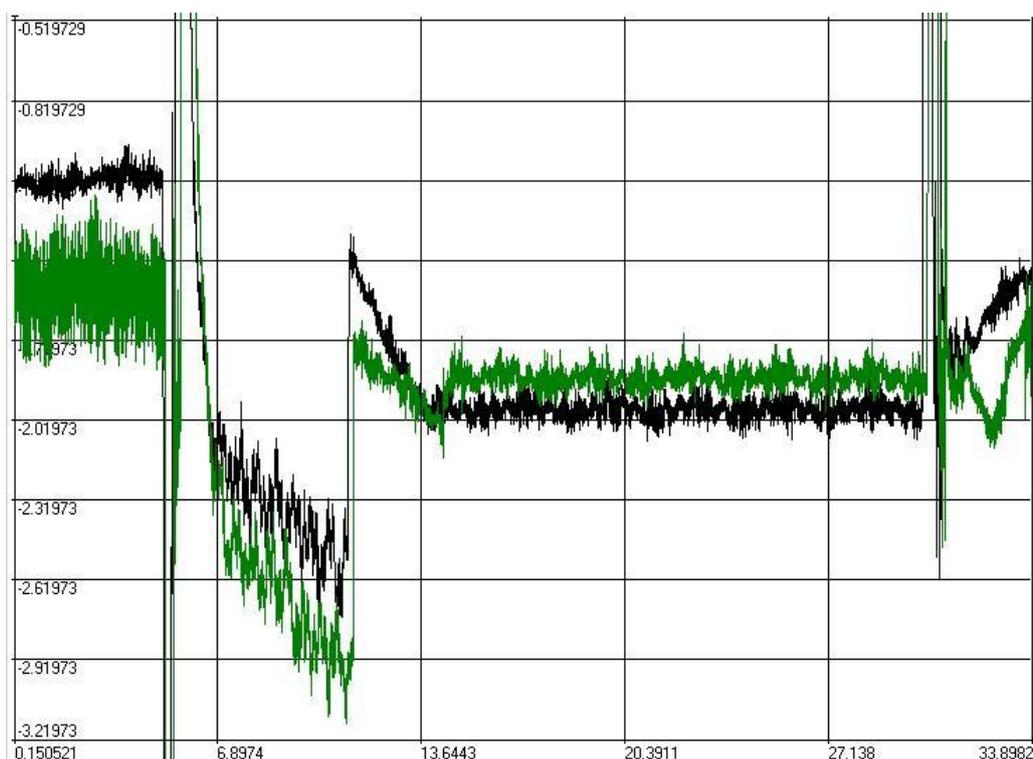


Рис. 6.1. Значения моментов при выглаживании торца образца с усилием $P = 100$ Н. (сталь ШХ15): 1 – с УЗК; 2 – без УЗК.

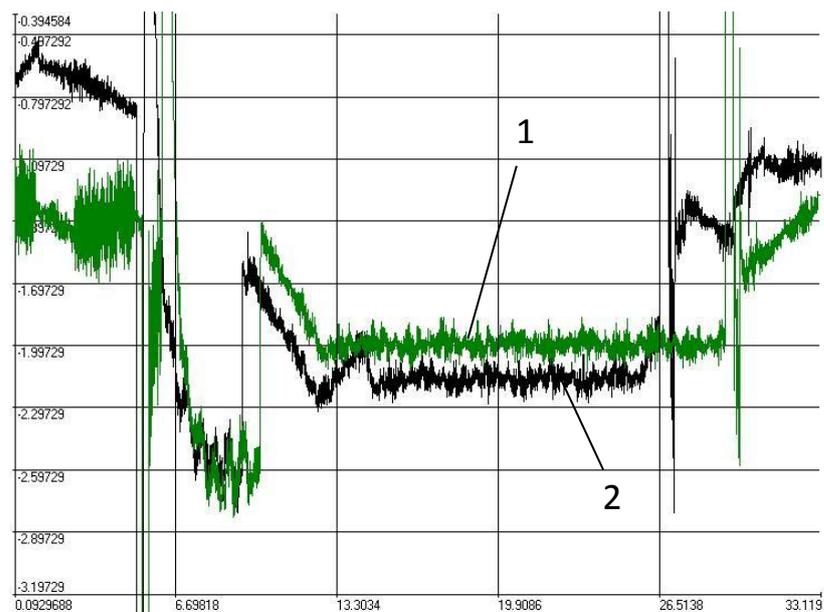


Рис. 6.2. Значения моментов при выглаживании торца образца с усилием $P = 150$ Н (сталь ШХ15): 1 – с УЗК; 2 – без УЗК.

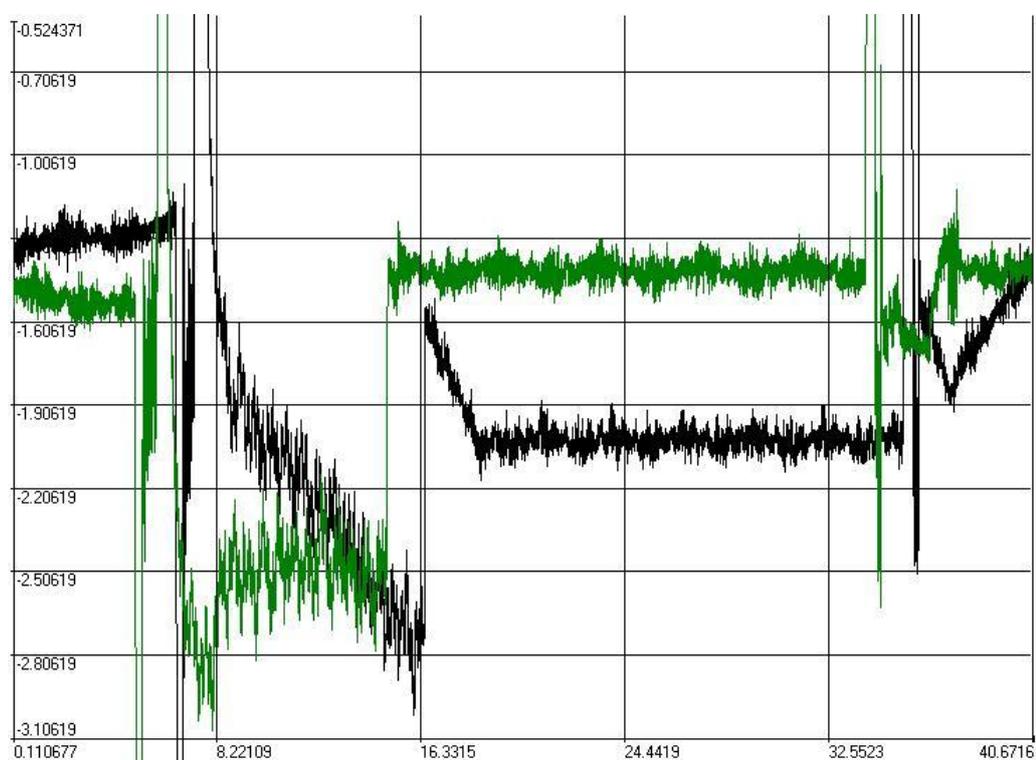


Рис. 6.3 Значения моментов при выглаживании торца образца с усилием $P = 200$ Н (сталь ШХ15): 1 – с УЗК; 2 – без УЗК.

Как следует из рисунков 6.1, 6.2, 6.3 технологические параметры обработки как с наложением на инструмент УЗ-колебаний так и без них вызывают изменения в параметрах приводов движений формообразования, считываемых СЧПУ. Из анализа рисунков следует, что наложение на инструмент УЗ-колебаний способствует снижению значений величин моментов в приводе. Установлено, чем больше статическое усилие обработки тем выше разница в значениях величин моментов при УЗАВ и обычном выглаживании. Исходя из этого можно сделать вывод о том, что действие УЗК приводит к снижению энергетических затрат в зоне обработки, затрачиваемых на деформацию поверхностного слоя. Обусловлено это, видимо, возникающими в ПС при наложении УЗ-колебаний синергетических эффектов, способствующих самоорганизации микроструктур ПС и тем самым снижению силового воздействия на деформируемый ПС.

На рисунке 6.1 показаны зависимости изменения величины момента в приводе продольной подачи при обработке цилиндрических участков образцов из стали 40Х с усилием 150 Н как с наложением УЗ-колебаний с амплитудой 5 мкм (участки 1,2) так и без УЗ-колебаний (участки 3,4). Из рисунка 6.3 также следует, что введение в зону обработки УЗ-колебаний снижает значения величин параметров приводов движений формообразования.

Таким образом, на основании проведенных предварительных исследований можно сделать следующие выводы:

- 1) Значения параметров приводов движений формообразования, контролируемые и считываемые СЧПУ, взаимосвязаны с технологическими параметрами и условиями обработки и, следовательно, могут служить как диагностические параметры обработки.

2) Введение в зону обработки энергии УЗ-колебаний способствует снижению значений величин параметров приводов движений формообразования

В ходе проведения экспериментальных исследований установлена взаимосвязь параметров электроприводов с технологическими параметрами обработки для некоторых марок обрабатываемых материалов (рис. 6.4 - 6.5).

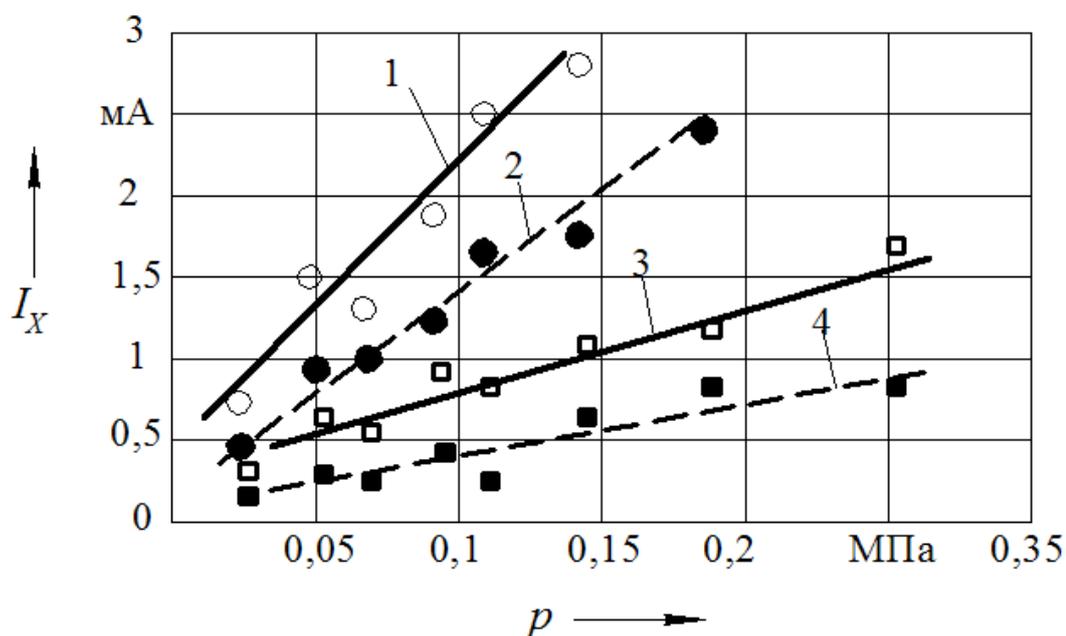


Рис. 6.4 Взаимосвязь величины тока в приводе по координате X с давлением p в гидроцилиндре УЗ-головки при обработке выглаживанием сталей ХВГ (зависимости 1, 2) и 40Х (зависимости 3,4).

Зависимости 1, 3 – обработка без УЗК; 2, 4 – с УЗК

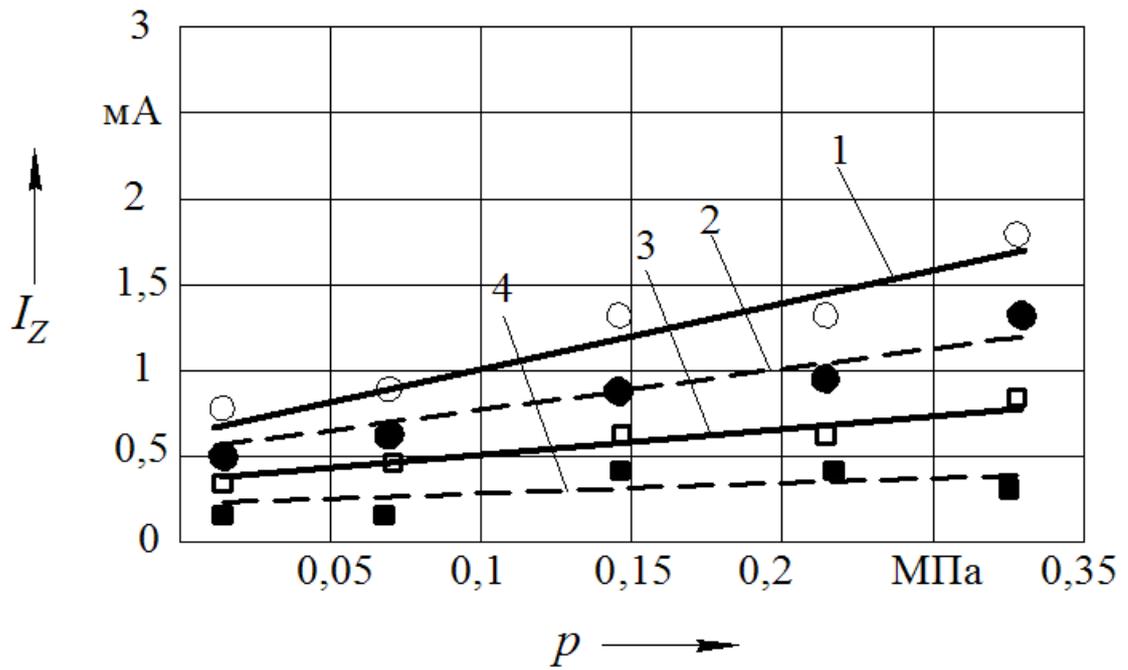


Рис. 6.5 Взаимосвязь величины тока в приводе по координате Z с давлением p в гидроцилиндре УЗ-головки при обработке выглаживанием сталей ХВГ (зависимости 1, 2) и 40Х (зависимости 3,4).

Зависимости 1, 3 – обработка без УЗК; 2, 4 – с УЗК

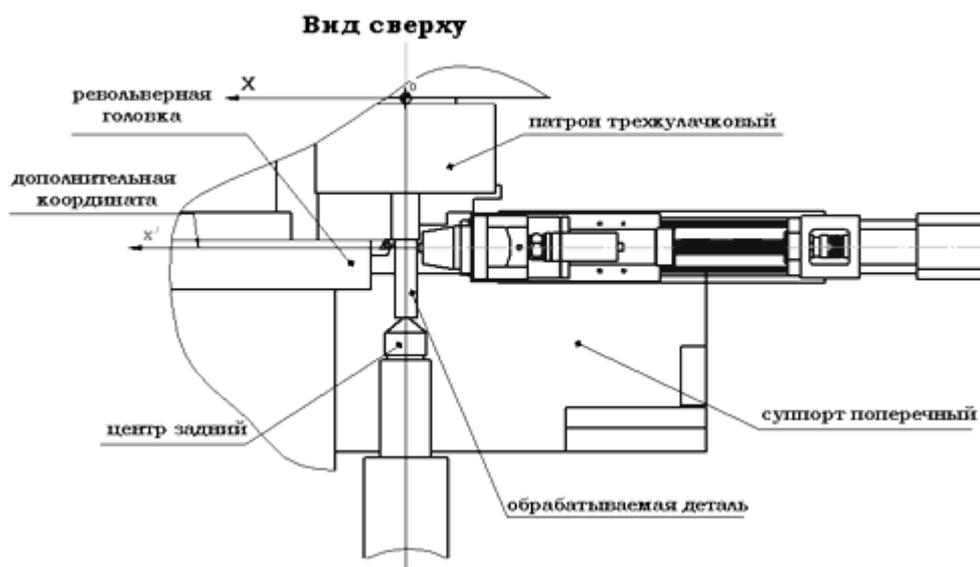


Рис. 7.1. Эскиз компоновки технологического модуля на токарном станке с ЧПУ модели 16B16T1C1

Перечень опасных и вредных производственных факторов (ОВПФ) даны в табл. 7.1.

ОВПФ при реализации технологии комбинированной обработки выглаживанием

Таблица 7.1.

Наименование ОВПФ	Источник ОВПФ
Физические:	
движущиеся машины и механизмы	Технологическое оборудование, зажимные механизмы приспособлений, узлы приводов шпинделей, технологическая оснастка.
повышенный уровень шума	Технологическое оборудования, зубчатые передачи коробок скоростей, подач.
отсутствие естественного света	В труднодоступных зонах технологического оборудования при наладке станков.

острые кромки, заусенцы и шероховатость на поверхности заготовок, инструментов и оборудования	Слесарный верстак, стеллаж для инструментов, заготовки, инструмент, приспособления
напряжение в сети	Технологическое оборудование
статические нагрузки	Все оборудование отделения

7.3. Обеспечение пожаробезопасности условий труда.

Категория «В», по пожарной опасности (твердые горючие и трудногорючие вещества и материалы (в том числе пыли и волокна), вещества и материалы, способные при взаимодействии с водой, кислородом воздуха или друг с другом только гореть при условии, что помещения, в которых они имеются в наличии или обращаются, не относятся к категориям А или Б). Значение пожарной профилактики очень велико. Она является наиболее важной частью противопожарной техники. Пожарная профилактика разрабатывает методы предупреждения и ликвидации пожаров и обеспечение эвакуации людей и имущества из горящих помещений.

Мероприятия по предупреждению и ограничению пожаров:

1. Мероприятия режимного характера:
 - запрещения курения в неположенных местах;
 - пользование электроприборами не предусмотренных по технологии;
 - пользование открытым пламенем в огнеопасных местах участка.
2. Мероприятия, обеспечивающие спешную эвакуацию людей и имущества из горящего помещения. Проектируемый участок имеет эвакуационные выходы: проходы, двери, ворота, ведущие наружу.

3. Мероприятия, обеспечивающие быстрое успешное развертывание тактических действий при тушении пожара. Проектируемый участок находится почти на выходе из производственного корпуса. На участке необходимо иметь гасительные средства и аппараты (пожарные стволы, огнетушители)

Число огнетушителей находим по формуле:

$$n = \frac{S}{600} ;$$

где S – площадь проектируемого участка, $S = 40 \text{ м}^2$;

$$n = \frac{40}{600} = 0,06 ;$$

Принимаем один углекислотный огнетушитель ОУ-2. На случай пожара на участке имеется ящик с песком. Ответственность за соблюдение правил несут начальник участка и мастер. Пожарная охрана и ее представители обязаны постоянно делать обходы по цехам и участкам. Нарушителей наказывать штрафом. Нормальные условия труда в производственных цехах могут быть обеспечены лишь при достаточной освещенности рабочих мест, достаточной ширине проходов и проездов. Освещение на рабочих местах не должно создавать резких теней или бликов.

7.4. Экологическая экспертиза предприятия.

Для снижения антропогенного воздействия на окружающую среду, на предприятии предпринимаются следующие меры воздействия: проведение своевременной регулировки двигателей, с целью снижения токсичности отработанных газов; проведение своевременных ремонтных работ; вывоз отработанных ГСМ на специальные базы по утилизации нефтепродуктов; организация собственных очистных сооружений, с целью предотвращения слива и инфильтрации в грунт технических растворов. В канализацию

сливается только вода, прошедшая предварительную очистку; своевременный вывоз бытового мусора силами специализированных предприятий.

7.5. Безопасность при аварийных и чрезвычайных ситуациях.

В случае возникновения ЧС на предприятиях, способных нанести значительный ущерб материальной части, руководство предприятия должно предпринять следующие действия:

1. Дать сигнал о пришествии в соответствующие службы защиты.
2. Организовать эвакуацию личного состава из производственного корпуса и остальных помещений, согласно утвержденному плану эвакуации.
3. Организовать эвакуацию автомобильного транспорта, согласно существующему порядку через основной и запасной выходы.
4. До приезда соответствующих служб организовать локализацию ЧП силами соответствующих бригад и служб предприятия.
5. При начале действий соответствующих служб организовать планомерный отход работников, участвующих в локализации очага ЧП в безопасное место.

7.6. Действие ультразвука на организм человека.

Ультразвук оказывает на организм человека механическое, тепловое, кавитационное действие.

При высоких частотах ультразвука может произойти механическое разрушение клеток тканей. При распространении в теле человека механическая энергия ультразвуковых волн преобразуется в тепловую, что также, в свою очередь, приводит к перегреву и разрушению тканей.

При долгом воздействии на человека ультразвук может вызвать утомляемость, головную боль, боль в ушах, раздражение, бессонницу, а также парезы кистей и предплечий.

На рабочем месте звуковое давление не должно превышать следующие значения

Средние геометрические частоты третьооктавных полос, кГц	12,5	16	20	25	31, 5.. .100
Уровень звукового давления, дБ	80	80 (90)	100	105	110

Вредное влияние ультразвука можно обойти, используя следующие мероприятия: использовать удаленное автоматическое управление, установить защитные кожухи, экраны, оптимизировать режимы труда и отдыха, а также регулярно проводит медицинский осмотр персонала, работающего непосредственно с ультразвуком.

6.1 Выводы

Рассмотрев опасные вредные производственные факторы объекта, воздействие объекта на окружающую среду, чрезвычайные и аварийные ситуации и предложив меры по их устранению можно сделать вывод, что проектируемое техническое оснащение удовлетворяет строительным и санитарно-гигиеническим нормам и не наносит сильный вред окружающей среде.

7. Организационное обоснование проведения работы научно-исследовательского направления в дипломном проекте

7.1 Определение содержания и последовательности выполнения научно-исследовательской работы в дипломном проекте

В результате проведения дипломного проекта научно-исследовательского направления большое значение уделялось как разработке методики исследования, так и определения последовательности выполнения отдельных этапов. В данном дипломном проекте присуща строго определенная последовательность выполнения различного рода действий на протяжении всего процесса исследования. Поэтому выполнение дипломного проекта проводим по очередности и по возможности совмещая и группируя в более крупные по своей величине и значимости части – этапы и стадии исследовательской работы. Проводимый перечень работ дипломного проекта, приводим в таблице. 9.1. Составленный классификатор работ полностью или частично удовлетворяет требованиям сетевого планирования таким образом, чтобы каждая проведенная самостоятельная работа, указанная в перечне, имела определенное содержание и заканчиваясь определенным результатом.

Таблица 7.1 Приводимый перечень работ при выполнении дипломного проекта научно-исследовательского направления

Стадии проведения исследований	Этапы научно-исследовательской работы	Содержание проводимых работ
Подготовительная стадия	Выполнение комплекса подготовительных работ	1. Составление (получения) задания на проведение НИР
		2. Сбор информации по теме исследования
		3. Составление обзора состояния вопроса
		4. Предварительное технико-экономическое обоснование проведения исследований
Теоретическая разработка	Разработка теоретической части исследования	5. Изучение и анализ существующих подобных конструкций, материалов, способов производства
		6. Составление и согласование разработанной методики проведения исследований с ранее изложенными
		7. Теоретические исследования и определение путей решения задачи о создании новой конструкции приспособления при разработке технологического процесса
		8. Разработка схемы и проектирование конструкции, теоретическое обоснование выбора вариантов исследования или базового варианта выполнения технологического процесса
Макетирование и экспериментальные работы	Разработка чертежей, проведение комплекса экспериментальных работ	9. Разработка чертежей приспособления
		10. Проведение экспериментальных расчетов в целях проверки и уточнения принятых теоретических решений
		11. Получение окончательных результатов проведения экспериментальных исследований
Заключительная стадия	Обобщение, выводы и предложения	12. Внесение необходимых изменений в теоретическую часть работы по результатам испытаний
		13. Обобщение результатов НИР
		14. Оформление конструкторской и технологической документации
		15. Расчет капитальных вложений в дипломный проект.
		16. Написание пояснительной записки с учетом замечаний консультантов и руководителя дипломного проекта
		17. Утверждение результатов НИР
		18. Написание отчета
19. Защита проекта		

7.2 Определение трудоемкости и длительности цикла выполнения научно-исследовательской работы (НИР)

В настоящее время трудоемкость проведения научно-исследовательской работы (НИР) в большинстве случаев определяется экспериментальным путем или по эмпирическим формулам полученных и выведенных в результате проведения эксперимента. Основой такого метода определения трудоемкости является то, что трудоемкость (НИР) представляется как функция от длительности цикла ее проведения и количества участников, то есть:

$$T=f(D_{\text{ц}}*P), \quad (7.1)$$

где $D_{\text{ц}}$ – длительность цикла выполнения научно-исследовательской работы (НИР), дни;

P – количество участников участвующих при выполнении (НИР)

Определение трудоемкости выполнения каждой работы проводим на основании системы экспертных оценок и, как правило на методе трех оценок

(T_{min} , T_{max} , $T_{\text{ож}}$).

Одновременно производим распределение исполнителей по всем видам работ и определение длительности цикла выполнения этапов и всей работы с учетом принятой численности исполнителей.

Ожидаемую трудоемкость выполнения каждой работы ($T_{\text{ож}}$) определяем по формуле:

$$T_{\text{ож}} = (3T_{\text{min}}+2T_{\text{max}})/5, \quad (7.2)$$

где T_{min} – оптимистическая оценка трудоемкости;

T_{max} – пессимистическая оценка трудоемкости

Ожидаемую трудоемкость выполнения каждого этапа определяется как сумма трудоемкости выполнения входящих в данный этап работ

Зная ожидаемую трудоемкость выполнения работ и этапов, определяем длительность цикла их выполнения с учетом численности задействованных исполнителей по формуле:

$$T_{\text{ц}} = T_{\text{ож}}/P, \quad (7.3)$$

Количество исполнителей задействованных в проведении научно-исследовательской работы принимаем равным $P = 2$ человека.

Результаты расчета представим в виде таблицы 7.2.

Таблица 7.2 Расчет трудоемкости и длительности цикла выполнения НИР

№ этапов	№ работ	Трудоемкость выполнения работ, дней			Численность работников				Длительность выполнения работ и этапов с учетом численности работников, дней
		T_{min}	T_{max}	$T_{\text{ож}}$	Руков. проекта	Вед. Инженер	Студент	Итого	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	1	1	4	2,2	1	–	1	2	1,1
	2	7	15	10,8	1	–	1	2	5,4
	3	5	10	7	–	–	1	1	3,5
	4	4	6	4,8	–	–	1	1	2,4
Итого:		17	35	24,8					12,4
2	5	7	13	9,4	1	–	1	2	4,7
	6	8	12	8,6	1	–	1	2	4,3
	7	10	20	14	1	–	1	2	7
	8	20	30	24	1	–	1	2	12
Итого:		45	75	56					28
3	9	30	40	34	1	–	1	2	17
	10	20	30	24	1	–	1	2	12
	11	20	30	24	1	–	1	2	12
Итого:		70	100	82					41
4	12	10	20	14	1	–	1	2	7
	13	10	12	10,8	1	–	1	2	5,4
	14	30	32	30,8	–	–	1	1	15,4
	15	10	20	14	–	–	1	1	7
	16	1	3	1,8	–	–	1	1	0,9
	17	2	3	2,4	1	–	–	1	2,4
	18	1	1	1	–	–	1	1	0,5
19	1	1	1	–	–	1	1	0,5	
Итого:		65	92	75,8					39,1
Всего:		197	302	238,6					120,5

В нашем случае ожидаемая трудоемкость выполнения всего комплекса научно-исследовательских работ составляет 238,6 чел.-дней, тогда как длительность цикла выполнения проекта с учетом численности исполнителей составляет 120,5 дней.

Для разработки сетевого графика необходимо предварительно составить перечень событий и работ таблица 7.3.

Таблица 7.3 Перечень событий и работ по выполнению проекта

№ событий	Наименование работ и событий	Шифр работ	Продолжительность работ, дней
1	2	3	4
0	Решение о выполнении проекта		
1	Составление задания на дипломное проектирование	0-1	1,1
2	Сбор информационных материалов по теме исследования	1-2	5,4
3	Составление обзора состояния вопросов по теме	1-3	3,5
4	Технико-экономическое обоснование проведения исследования	3-4	2,4
5	Изучение и анализ существующих конструкций, технологического процесса	4-5	4,7
6	Составление и согласование методики исследования	5-6	4,3
7	Теоретические исследования	5-7	7
8	Разработка схем и конструкций, теоретическое обоснование вариантов исследования	7-8	12
9	Разработка чертежей приспособления	8-9	17
10	Проведение экспериментальных работ и испытаний	9-10	12
11	Оформление результатов проведения экспериментальных исследований	10-11	12
12	Внесение необходимых изменений в теоретическую часть работы по результатам исследований	11-12	7
13	Обобщение результатов работы	12-13	5,4
14	Оформление конструкторской и технологической документации	12-14	15,4
15	Определение возможности использования результатов исследований в дальнейших работах	14-15	7
16	Написание пояснительной записки	15-16	0,9
17	Утверждение результатов НИР	16-18	0,5
18	Написание отчета	16-17	2,4
19	Защита проекта	17-19	0,5

По данным (табл. 7.3) определяем необходимые параметры и составляющие для построения сетевого графика

7.3 Расчет ранних сроков свершения событий до оптимизации сетевого графика

Расчет ранних сроков свершения событий определим по формуле:

$$T_{p+1} = T_{pi} + D_{i-(i+1)}, \text{ дней}; \quad (7.4)$$

где T_{p+1} – ранний срок свершения событий, в который приходит событие, дней;

T_{pi} – ранний срок свершения событий, из которых выходит работа, дней;

$D_{i-(i+1)}$ – работа затрачиваемая при переходе от одного события в другое

Определим все ранние сроки свершения событий необходимые для построения сетевого графика (до оптимизации)

$$T_{p1} = T_{p0} + D_{0-1} = 0 + 1,1 = 1,1 \text{ дней}$$

$$T_{p2} = T_{p1} + D_{1-2} = 1,1 + 5,4 = 6,5 \text{ дней}$$

$$T_{p3} = T_{p1} + D_{1-3} = 1,1 + 3,5 = 4,6 \text{ дней}$$

$$T_{p^1_4} = T_{p2} + D_{2-4} = 6,5 + 0 = 6,5 \text{ дней}$$

$$T_{p^2_4} = T_{p3} + D_{3-4} = 4,6 + 2,4 = 7 \text{ дней}$$

Если в событие входят две или более работ, то рассчитываем все значения, а в событие ставим максимальное значение, поэтому принимаем $T_{p^1_4} = 7$ дней

$$T_{p5} = T_{p^1_4} + D_{4-5} = 7 + 4,7 = 11,7 \text{ дней}$$

$$T_{p6} = T_{p5} + D_{5-6} = 11,7 + 4,3 = 16 \text{ дней}$$

$$T_{p7} = T_{p5} + D_{5-7} = 11,7 + 7 = 18,7 \text{ дней}$$

$$T_{p^1_8} = T_{p7} + D_{7-8} = 18,7 + 12 = 30,7 \text{ дней}$$

$$T_{p^2_8} = T_{p6} + D_{6-8} = 16 + 0 = 16 \text{ дней}$$

Из двух значений выбираем максимальное, то есть, принимаем

$$T_{p8}^1 = 30,7 \text{ дней}$$

$$T_{p9} = T_{p8}^1 + D_{8-9} = 30,7 + 17 = 47,7 \text{ дней}$$

$$T_{p10} = T_{p9} + D_{9-10} = 47,7 + 12 = 59,7 \text{ дней}$$

$$T_{p11} = T_{p10} + D_{10-11} = 59,7 + 12 = 71,7 \text{ дней}$$

$$T_{p12} = T_{p11} + D_{11-12} = 71,7 + 7 = 78,7 \text{ дней}$$

$$T_{p13} = T_{p12} + D_{12-13} = 78,7 + 5,4 = 84,1 \text{ дней}$$

$$T_{p14} = T_{p12} + D_{13-14} = 78,7 + 15,4 = 94,1 \text{ дней}$$

$$T_{p15}^1 = T_{p14} + D_{14-15} = 94,1 + 7 = 101,1 \text{ дней}$$

$$T_{p15}^2 = T_{p13} + D_{13-15} = 84,1 + 0 = 84,1 \text{ дней}$$

Из двух значений выбираем максимальное, то есть, принимаем

$$T_{p15}^1 = 101,1 \text{ дней}$$

$$T_{p16} = T_{p15}^1 + D_{15-16} = 101,1 + 0,9 = 102 \text{ дней}$$

$$T_{p17} = T_{p15}^1 + D_{16-17} = 102 + 2,4 = 104,4 \text{ дней}$$

$$T_{p18} = T_{p16} + D_{16-18} = 102 + 0,5 = 102,5 \text{ дней}$$

$$T_{p19}^2 = T_{p17} + D_{17-19} = 104,4 + 0,5 = 104,9 \text{ дней}$$

$$T_{p19}^1 = T_{p18} + D_{18-19} = 102,5 + 0 = 102,5 \text{ дней}$$

Из двух значений выбираем максимальное, то есть, принимаем

$$T_{p19}^1 = 104,9 \text{ дней}$$

7.4 расчет поздних сроков свершения событий до оптимизации сетевого графика

Расчет поздних сроков свершения событий определим по формуле:

$$T_{pi-1} = T_{pi} - D_{i-(i-1)}, \text{ дней} \quad (7.5)$$

где T_{pi-1} – поздний срок свершения событий, в который приходит событие, дней;

T_{pi} – поздний срок свершения событий, из которых выходит работа, дней;

$D_{i-(i11)}$ – работа затрачиваемая при переходе от одного события в другое
Определим все поздние сроки свершения событий необходимые для построения сетевого графика (до оптимизации)

$$T_{п18} = T_{п19} - D_{19-18} = 104,9 - 0 = 104,9 \text{ дней}$$

$$T_{п17} = T_{п19} - D_{19-17} = 104,9 - 0,5 = 104,4 \text{ дней}$$

$$T_{п16}^1 = T_{п17} - D_{17-16} = 104,4 - 2,4 = 102 \text{ дней}$$

$$T_{п16}^2 = T_{п18} - D_{18-16} = 104,9 - 0,5 = 104,4 \text{ дней}$$

Если в событие выходят две или более работ, то рассчитываем все значения, а в событие ставим минимальное значение, поэтому принимаем $T_{п16}^2 = 102$ дней

$$T_{п15} = T_{п16}^2 - D_{16-15} = 102 - 0,9 = 101,1 \text{ дней}$$

$$T_{п14} = T_{п15} - D_{15-14} = 101,1 - 7 = 94,1 \text{ дней}$$

$$T_{п13} = T_{п15} - D_{15-13} = 101,1 - 0 = 101,1 \text{ дней}$$

$$T_{п12}^1 = T_{п14} - D_{14-12} = 94,1 - 15,4 = 78,7 \text{ дней}$$

$$T_{п12}^2 = T_{п13} - D_{13-12} = 101,1 - 5,4 = 95,7 \text{ дней}$$

Из двух значений выбираем минимальное, то есть, принимаем

$$T_{п12}^2 = 78,7 \text{ дней}$$

$$T_{п11} = T_{п12}^2 - D_{12-11} = 78,7 - 7 = 71,7 \text{ дней}$$

$$T_{п10} = T_{п11} - D_{11-10} = 71,7 - 12 = 59,7 \text{ дней}$$

$$T_{п9} = T_{п10} - D_{10-9} = 59,7 - 12 = 47,7 \text{ дней}$$

$$T_{п8} = T_{п9} - D_{8-9} = 47,7 - 17 = 30,7 \text{ дней}$$

$$T_{п7} = T_{п8} - D_{7-8} = 30,7 - 12 = 18,7 \text{ дней}$$

$$T_{п6} = T_{п8} - D_{6-8} = 30,7 - 0 = 30,7 \text{ дней}$$

$$T_{п5}^1 = T_{п6} - D_{6-5} = 30,7 - 4,3 = 26,4 \text{ дней}$$

$$T_{п5}^2 = T_{п7} - D_{7-5} = 18,7 - 7 = 11,7 \text{ дней}$$

Из двух значений выбираем минимальное, то есть, принимаем

$$T_{п5}^2 = 11,7 \text{ дней}$$

$$T_{п4} = T_{п5}^2 - D_{5-4} = 11,7 - 4,7 = 7 \text{ дней}$$

$$T_{п3} = T_{п4} - D_{4-3} = 7 - 2,4 = 4,6 \text{ дней}$$

$$T_{п2} = T_{п4} - D_{4-2} = 7 - 0 = 7 \text{ дней}$$

$$T_{п1}^1 = T_{п2} - D_{2-1} = 7 - 5,4 = 1,6 \text{ дней}$$

$$T_{п1}^2 = T_{п3} - D_{3-1} = 4,6 - 3,5 = 1,1 \text{ дней}$$

Из двух значений выбираем минимальное, то есть, принимаем

$$T_{п1}^1 = 1,1 \text{ дней}$$

$$T_{п0} = T_{п1}^1 - D_{1-0} = 1,1 - 1,1 = 1 \text{ дней}$$

7.5. Определение резерва времени при совершении событий до оптимизации сетевого графика

Резерв времени при совершении событий определим по формуле:

$$R = T_{пi} - T_{pi}, \text{ дней}; \quad (7.6)$$

где $T_{пi}$ – поздний срок свершения события, дней;

T_{pi} – ранний срок свершения события, дней

Определим все резервы времени свершения событий

$$R_0 = T_{п0} - T_{p0} = 0 - 0 = 0 \text{ дней}$$

$$R_1 = T_{п1} - T_{p1} = 1,1 - 1,1 = 0 \text{ дней}$$

$$R_2 = T_{п2} - T_{p2} = 7 - 6,5 = 0,5 \text{ дней}$$

$$R_3 = T_{п3} - T_{p3} = 4,6 - 4,6 = 0 \text{ дней}$$

$$R_4 = T_{п4} - T_{p4} = 7 - 7 = 0 \text{ дней}$$

$$R_5 = T_{п5} - T_{p5} = 11,7 - 11,7 = 0 \text{ дней}$$

$$R_6 = T_{п6} - T_{p6} = 30,7 - 16 = 14,7 \text{ дней}$$

$$R_7 = T_{п7} - T_{p7} = 18,7 - 18,7 = 0 \text{ дней}$$

$$R_8 = T_{п8} - T_{p8} = 30,7 - 30,6 = 0 \text{ дней}$$

$$R_9 = T_{п9} - T_{p9} = 47,7 - 47,7 = 0 \text{ дней}$$

$$R_{10} = T_{п10} - T_{p10} = 59,7 - 59,7 = 0 \text{ дней}$$

$$R_{11} = T_{п11} - T_{р11} = 71,7 - 71,7 = 0 \text{ дней}$$

$$R_{12} = T_{п12} - T_{р12} = 78,7 - 78,7 = 0 \text{ дней}$$

$$R_{13} = T_{п13} - T_{р13} = 101,1 - 84,1 = 17 \text{ дней}$$

$$R_{14} = T_{п14} - T_{р14} = 94,1 - 94,1 = 0 \text{ дней}$$

$$R_{15} = T_{п15} - T_{р15} = 101,1 - 101,1 = 0 \text{ дней}$$

$$R_{16} = T_{п16} - T_{р16} = 102 - 102 = 0 \text{ дней}$$

$$R_{17} = T_{п17} - T_{р17} = 104,4 - 104,4 = 0 \text{ дней}$$

$$R_{18} = T_{п18} - T_{р18} = 104,9 - 102,5 = 2,4 \text{ дней}$$

$$R_{19} = T_{п19} - T_{р19} = 104,9 - 104,9 = 0 \text{ дней}$$

7.6 Построение сетевого графика до и с учетом оптимизации

При построении сетевого графика используем следующие правила:

1. Событие – это фиксированный момент времени или результат выполнения одной или нескольких работ указываем на графике кругом
2. В сетевом графике бывает только одно начальное и одно конечное событие
3. Реальная работа затрачивает время и ресурсы и на графике обозначается сплошной стрелкой с цифрой над ней, цифра обозначает затраты времени при переходе от одного события к другому
4. Фиктивная работа не затрачивает, не времени ни ресурсов на графике обозначается пунктирной стрелкой с цифрой 0 над стрелкой
5. Если забираем или бросаем на какой – то участок, какие то значения, а этот участок встречается в реальных путях, то уменьшаться или увеличиваться будут все пути, которые проходят через этот участок

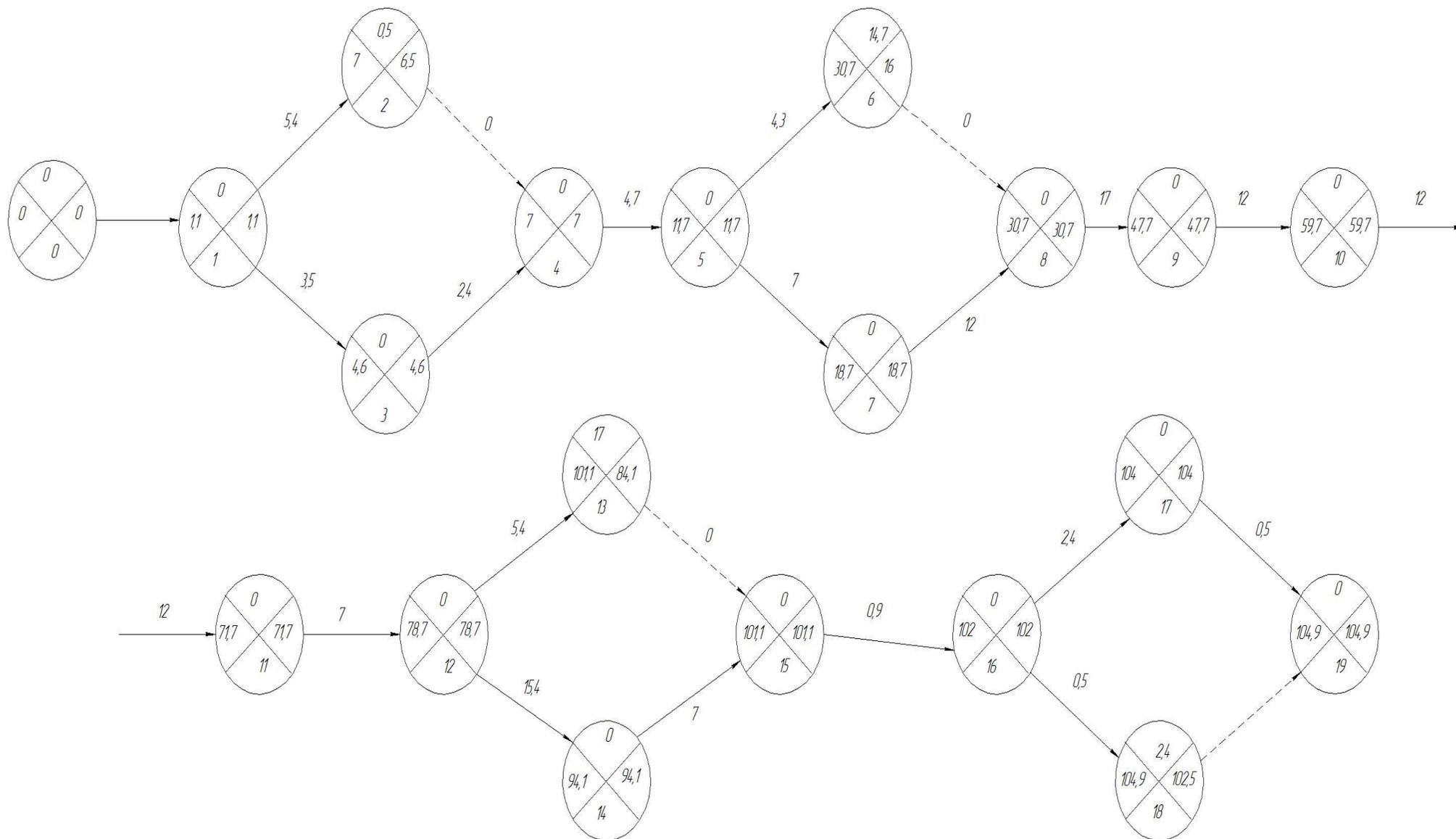


Рис.7.1 Построение сетевого графика до оптимизации

7.7 Расчет продолжительности всех возможных путей сетевого графика до оптимизации

Из сетевого графика (рис. 7.1) видно, что весь цикл работ может быть выполнен за 104,9 дней, тогда как на дипломную работу отпускается примерно 100 дней. Это свидетельствует о том, что первоначальный сетевой график необходимо оптимизировать.

В нашем случае из начального события в конечное ведут два пути:

- 1) $T_1 = 0-1-3-4-5-7-8-9-10-11-12-13-14-15-16-17-18-19 = 1,1+3,5+2,4+4,7+7+12+17+12+12+7+15,4+7+0,9+2,4+0,5 = 104,9$ дней (критический путь)
- 2) $T_2 = 0-1-2-4-5-6-8-9-10-12-13-15-16-18-19 = 1,1+5,4+0+4,7+4,3+0+17+12+12+7+5,4+0+0,9+0,5+0 = 70,3$ дней

Определим оптимальное и среднее значение длительности пути по формуле:

$$T_{\text{опт}} = \sum T_i / m, \text{ дней}; \quad (7.7)$$

где m – количество путей

Подставим полученные значения в формулу (7.7) получим:

$$T_{\text{опт}} = (104,9+70,3)/2 = 87,6 \text{ дней}$$

Для приближения к этому сроку необходимо:

- перебросить силы с работы 1-3 на работу 1-2 – 0,25 дней;
- перебросить силы с работы 7-8 на работу 5-6 – 7,35 дней;
- перебросить силы с работы 12-14 на работу 12-13 – 8,5 дней;
- перебросить силы с 16-17 на работу 16-18 – 1,2 дня.

Исходя из этих соображений построим оптимизированный сетевой график (рис. 7.2).

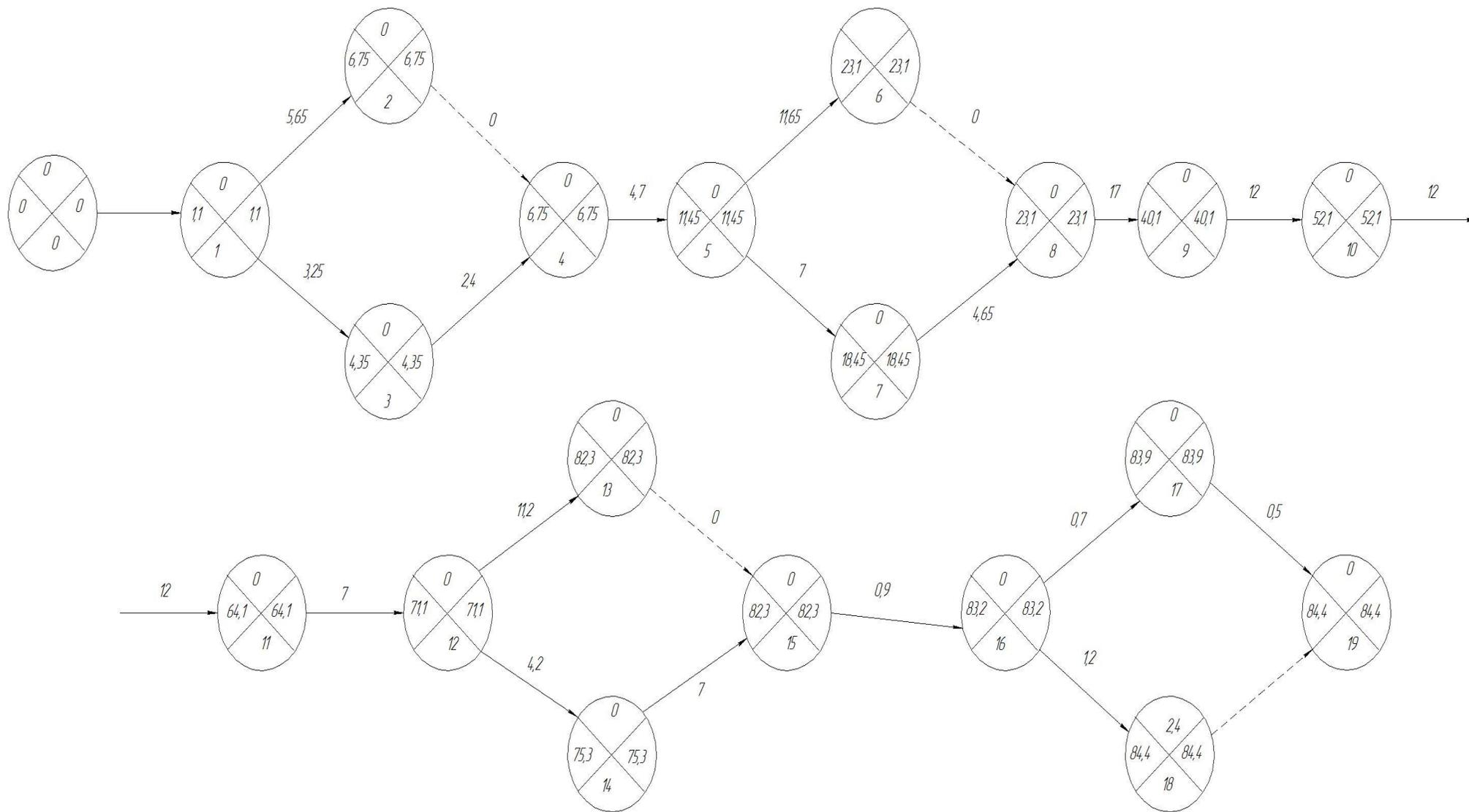


Рис. 7.2 Построение сетевого графика после оптимизации

7.8 Определение состава и фонда заработной платы

Состав исполнителей по каждой теме проекта определяется штатным расписанием, в котором одновременно рассматривается и фонд заработной платы исполнителей (табл. 7.5).

Табл. 7.5 Штатное расписание исполнителей и расчет фонда заработной платы

Наименование должностей	Численность (чел.)	Месячный оклад (руб.)	Средняя дневная ставка (руб.)	Количество отработанных дней	Сумма заработной платы, руб.
Научный руководитель 15 разряд	1	25000	96,89	3	2906,98
Инженер (студент) 9 разряд	1	1300	50,39	87,6	4413,95
Итого					7320,93

Определим сумму заработной платы для каждого исполнителя дипломного проекта по формуле:

$$Z_{\text{пл}} = M_0 / D_p * D_f, \text{ руб.} \quad (7.8)$$

где M_0 – месячный должностной оклад, руб;

D_p – среднее расчетное количество дней в месяце

(принимается равным 25,8);

D_f – фактически отработанное количество рабочих дней

Определим сумму заработной платы для каждого исполнителя

$$Z_{\text{пл.руков.}} = 25000 / 25,8 * 3 = 2906,98 \text{ руб.}$$

$$Z_{\text{пл.студент.}} = 1300 / 25,8 * 87,6 = 4413,95 \text{ руб.}$$

7.9 Экономическое обоснование и расчет затрат на проведение научно-исследовательского проекта

Материалы для организационно-экономического обоснования проекта получены: у руководителя проекта, из расчетов, произведенных в теоретической, исследовательской и расчетной частях проекта, из справочников.

7.10 Определение капитальных вложений на НИР

Затраты на проведение НИР в нашем случае состоят из текущих затрат на проведение исследования $K_{\text{вв.нир}}$:

$$K_{\text{вв.нир}} = C_{\text{нир}} + Z_{\text{уст}} = C_{\text{нир}} + C_{\text{ком}} + P_{\text{сб}} \quad (7.9)$$

где $C_{\text{ком}}$ – Комплект закупаемого оборудования и запчастей (табл. 7.7), руб;

$T_{\text{сб}}$ – Время на сборку оборудования, принимаем $T_{\text{сб}} = 288$ ч;

$C_{\text{ч}}$ – Почасовая ставка работника, принимаем $C_{\text{ч}} = 72,24$ руб/ч;

Основные текущие затраты на проведение НИР определим по формуле:

$$C_{\text{нир}} = Z_{\text{пл}} + N_{\text{зпл}} + P_{\text{э}}, \text{ руб.}; \quad (7.10)$$

где $Z_{\text{пл}}$ – затраты на заработную плату принимаем согласно (табл. 9.5), руб;

$N_{\text{зпл}}$ – отчисления на социальное страхование, принимаем как (30 % к заработной плате);

$P_{\text{э}}$ – стоимость потребляемых энергетических ресурсов руб.;

Затраты по заработной плате принимаем согласно (табл. 7.5)

$$Z_{\text{пл}} = 7320,93 \text{ руб.}$$

Отчисление на социальное страхование (30 % к заработной плате)

$$N_{\text{зпл}} = 2196,28 \text{ руб.}$$

Затраты на электроэнергию определим по формуле:

$$P_{\text{э}} = (M_{\text{у}} * K_{\text{м}} * T_{\text{м}} * n / \eta * 60) * C_{\text{э}}, \text{ руб.}; \quad (7.11)$$

где n – число экспериментов, принимаем $n = 6$

M_y – установленная мощность, кВт; принимаем $M_y = 50$ кВт

K_m – коэффициент использования токоприемников по мощности, $K_m = 0,7$

T_m – машинное время на один эксперимент, принимаем $T_m = 30$ мин

η – КПД электродвигателей, принимаем $\eta = 0,8$

$C_э$ – цена за 1кВт электроэнергии, принимаем $C_э = 2,582$ руб./кВт

Определим затраты на электроэнергию

$$P_э = (50 * 0,7 * 30 * 6 / 0,8 * 60) * 2,582 = 338,89 \text{ руб}$$

Затраты связанные со спецификой и характером проведения научных исследований (приобретение специальной литературы) не учитываем

$$C_{\text{нир}} = 7320,93 + 2196,28 + 338,89 = 9856,1 \text{ руб}$$

Таблица 7.6 Комплект закупаемого оборудования и запчастей.

№ изделия	Наименование изделия	Количество	Цена на единицу изделия, руб.	Сумма, руб.
1	ЭД	1	50000	50000
2	Вал ШВП	1	3000	3000
			Итого:	53000

Учитывая все элементы, входящие в затраты на НИР, определим их величину:

$$K_{\text{вв.нир}} = C_{\text{нир}} + C_{\text{ком}} + T_{\text{сб}} * C_{\text{ч}} = 9856,1 + 53000 + 288 * 72,24 = 83661,22 \text{ руб.}$$

Заключение

Упрочняющая обработка деталей машин выглаживанием является одним из эффективных методов повышения качества изделий. Введение в зону обработки дополнительной энергии ультразвука способствует многократному улучшению показателей качества обрабатываемых поверхностей. Однако, отечественные технологии ультразвуковой обработки выглаживанием в основном реализуются на универсальных станках с ручным управлением процессом обработки. Между тем перспективным направлением совершенствования технологии ультразвукового выглаживания является ее автоматизация и применение в станочном оборудовании с числовым программным управлением. В данном дипломном проекте поставлена задача разработки системы автоматического управления процессом ультразвукового выглаживания на токарном станке с ЧПУ.

Для реализации технологии ультразвукового выглаживания применяется ультразвуковая головка, которая имеет возможность установки в револьверную головку станка, а также напротив нее с собственным приводом движения. В работе представлены конструкции соответственно ультразвуковой головки и технологического модуля с собственным приводом движения.

Для автоматизации процесса обработки смоделирован процесс выглаживания обрабатываемой поверхности и связаны входные управляемые величины с выходными. Для реализации технологии на станке с ЧПУ необходимо увязать между собой величину позиционирования ультразвуковой головки с величиной усилия обработки. С этой целью получена передаточная функция характеризующая процесс обработки.

Результаты моделирования проводили в пакете Matlab Simulink. Как следует из анализа результатов при реализации обратной связи по положению

ультразвуковой головки процесс обработки является более устойчивым. Таким образом для управления процессом обработки возможно использовать значения величин тока в приводе подачи по соответствующей координате. С этой целью были выполнены экспериментальные исследования процесса ультразвукового выглаживания на токарном станке с ЧПУ.

Список литературы

1. А.с. 818838 СССР: МКИ В 24 В 39/04. Устройство для выглаживания поверхностей деталей.
2. А.с. 1242341 СССР: МКИ В 24 В 39/04. Способ выглаживания поверхностей деталей.
3. А.с. 1459903 СССР: МКИ В 24 В 39/00. Способ обработки поверхностей алмазным выглаживанием.
4. А.с. 878534 СССР: МКИ В 24 В 39/00. Способ алмазного выглаживания.
5. А.с. 795908 СССР: МКИ В 24 В 39/00. Способ алмазного выглаживания.
6. А.с. 290817 СССР: МКИ В 24 В 39/00. Способ алмазного выглаживания
7. А.с. 1162575 СССР: МКИ В 24 В 39/00. Способ обработки деталей алмазным выглаживанием.
8. Папшев Д.Д. Отделочно-упрочняющая обработка поверхностно – пластическим деформированием. – М.: Машиностроение, 1978.-152с. ил.
9. Агранат Б.А. [и др.] Основы физики и техники ультразвука. – М.: Высшая школа, 1987. – 352 с.
10. О механизме упрочнения при поверхностном пластическом деформировании / М.А. Балтер, Л.Я. Гольдштейн, А.А. Чернякова [и др.] // Физика металлов и металловедение. – 1969. – Т. 28. - № 5. – С. 926–930.
11. Балтер М.А. Упрочнение деталей машин. - 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1978. – 184 с.
12. Малышев В.И., Левашкин Д.Г., Селиванов А.С. Автоматизация гибридных и комбинированных технологий на основе модернизации станочного оборудования и выбора кинематических связей // Вектор науки ТГУ. – Тольятти: ТГУ, 2010. – № 3 (13). – С. 70-74.
13. Волчкевич Л.И. Автоматизация производственных процессов: Учеб. Пособие. – 2-е изд. стер. – М.: Машиностроение, 2007. – 380 с.: ил.

14. Малышев В.И., Селиванов А.С. Автоматизированная система управления процессом ультразвукового выглаживания на станке с ЧПУ // Вектор науки ТГУ. – Тольятти: ТГУ, 2011. – № 1 (). – С. - .
15. Патент РФ № 2385213 «Способ отделочно-упрочняющей обработки выглаживанием наружных цилиндрических поверхностей», А.С. Селиванов, В.И. Малышев
16. Дорф Р. Современные системы управления /Р. Дорф, Р. Бишоп. пер. с англ. Б.И. Копылова. – М.: Лаборатория базовых знаний, 2002. – 832 с.
17. Рыбалко А.П., Рыбалко С.А. Адаптивные, диагностические и программные возможности системы ЧПУ FlexNC // Автоматизация в промышленности. – 2010. – С. 21–26.
18. Разработка имитационных моделей в среде MATLAB: Методические указания для студентов специальностей 01719, 351400 /Сост. А. М. Наместников. – Ульяновск, УЛГТУ, 2004. – 72с.
19. A. Rodr´ıguez, L. N. L. de Lacalle, A. Celaya, A. Lamikiz, and J. Albizuri, “Surface improvement of shafts by the deep ball- burnishing technique,” Surface and Coatings Technology, vol. 206, no. 11-12, pp. 2817–2824, 2012.
20. J. Huuki and S. V. A. Laakso, “Integrityof surfaces finished with ultrasonicburnishing,”ProceedingsoftheInstitutionofMechanical Engineers, Part B: Journal of Engineering Manufacture, vol. 227, no. 1, pp. 45–53, 2013.
21. M. Hokkanen, “Ultra burnishing,” The Hiqusa Report, Tampere University of Technology, 2006, [http://www.hiqusa .com/hiqusa report.pdf](http://www.hiqusa.com/hiqusa%20report.pdf).
22. M. Hokkanen, “Ultra burnishing,” The Hiqusa Report, Tampere University of Technology, 2006, [http://www.hiqusa .com/hiqusa report.pdf](http://www.hiqusa.com/hiqusa%20report.pdf).
23. L. N. L. de Lacalle, A. Lamikiz, J. Mu ~ noa, and J. A. S ´ anchez, “Quality improvement of ball-end milled sculptured surfaces by ball burnishing,” International Journal of Machine Tools and Manufacture, vol. 45, no. 15, pp. 1659–1668, 2005.

24. A. M. Hassan and A. S. Al-Bsharat, "Influence of burnishing process on surface roughness, hardness, and microstructure of some non-ferrous metals," *Wear*, vol. 199, no. 1, pp. 1–8, 1996.
25. A. T. Bozdana, N. Gindy, and H. Li, "Deep cold rolling with ultrasonic vibrations—a new mechanical surface enhancement technique," *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, vol. 45, no. 6, pp. 713–718, 2004.
26. G. D. Revankar, R. Shetty, S. S. Rao, and V. N. Gaitonde, "Selection of optimal process parameters in ball burnishing of titanium alloy," *Machining Science and Technology*, vol. 18, no. 3, pp. 464–483, 2014.

Приложения