

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Владимирский государственный университет
имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых»

В. П. УМНОВ А. А. КОБЗЕВ

**ПРОМЫШЛЕННЫЕ РОБОТЫ
И МЕХАТРОННЫЕ СИСТЕМЫ: МОНТАЖ,
НАЛАДКА, ИСПЫТАНИЯ И ОБСЛУЖИВАНИЕ**

Учебное пособие



Владимир 2021

УДК 621.865
ББК 32.816+32.966
У54

Рецензенты:

Кандидат технических наук, доцент
доцент кафедры вычислительной техники и систем управления
Владимирского государственного университета
имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых
С. И. Лиходеев

Кандидат технических наук, доцент
руководитель направления «Электронные системы»
ООО «НПК "АВТОПРИБОР"»
Р. В. Родионов

У54 **Умнов, В. П.** Промышленные роботы и мехатронные системы: монтаж, наладка, испытания и обслуживание : учеб. пособие / В. П. Умнов, А. А. Кобзев ; Владим. гос. ун-т им. А. Г. и Н. Г. Столетовых. – Владимир : Изд-во ВлГУ, 2021. – 304 с. – ISBN 978-5-9984-1220-2.

Изложены основные сведения по проведению монтажных работ робототехнических и мехатронных систем, включая механическую часть, устройств пневмо- и гидросистем, устройств управления и электрооборудования, роботизированных технологических комплексов. Представлены основы наладки механических устройств промышленных роботов и мехатронных систем и их компонентов, параметрическая настройка регуляторов тока, скорости и положения в электроприводах роботов и мехатронных систем, в том числе по компьютерным моделям, пример наладки мехатронной системы металлоорежущего станка и мехатронной системы лазерного технологического комплекса. Содержит также методы и средства испытаний и диагностики роботов и мехатронных систем, основы их эксплуатации.

Предназначено для студентов направлений подготовки 15.03.06 – Мехатроника и робототехника (бакалавриат) и 15.04.06 – Мехатроника и робототехника (магистратура).

Рекомендовано для формирования профессиональных компетенций в соответствии с ФГОС ВО.

Табл. 9. Ил. 135. Библиогр: 19 назв.

УДК 621.865
ББК 32.816+32.966

ISBN 978-5-9984-1220-2

© ВлГУ, 2021

© Умнов В. П., Кобзев А. А., 2021

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	5
Глава 1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О МЕХАТРОННЫХ И РОБОТОТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ	6
1.1. Состав и характеристики мехатронных модулей и робототехнических систем	7
1.2. Устройство мехатронных модулей движения	26
1.3. Информационная система и датчики мехатронных и робототехнических систем	41
1.4. Системы управления и приводы мехатронных и робототехнических устройств	58
1.5. Структура и состав роботизированных технологических комплексов	70
<i>Вопросы для самопроверки</i>	79
Глава 2. ОРГАНИЗАЦИЯ И ПРОВЕДЕНИЕ МОНТАЖНЫХ РАБОТ ОБОРУДОВАНИЯ МЕХАТРОННЫХ И РОБОТОТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ	80
2.1. Технологическая подготовка роботизированного производства и проведение монтажных работ	80
2.2. Монтаж механических систем роботов и станков	86
2.3. Монтаж пневмогидрооборудования	95
2.4. Монтаж устройств управления и электрооборудования роботов и мехатронных систем	108
2.5. Монтаж роботизированных технологических комплексов	116
<i>Вопросы для самопроверки</i>	120
Глава 3. НАЛАДКА И НАСТРОЙКА РОБОТОВ И МЕХАТРОННЫХ СИСТЕМ	121
3.1. Наладка механических устройств ПР и мехатронных систем	122
3.2. Наладка пневмогидрооборудования ПР	130
3.3. Наладка электрооборудования и устройств управления ...	135

3.4. Настройка параметров регуляторов в электроприводах роботов и мехатронных систем	144
3.4.1. Настройка по компьютерной и математической моделям	144
3.4.2. Практическая настройка электропривода CSD-DH мехатронной системы металлорежущего станка	150
3.4.3. Настройка регулятора положения при работе от ЧПУ ...	186
3.5. Наладка мехатронной системы металлорежущих станков	194
3.6. Наладка мехатронной системы лазерного технологического комплекса	203
<i>Вопросы для самопроверки</i>	215
Глава 4. МЕТОДЫ И СРЕДСТВА ИСПЫТАНИЙ И ДИАГНОСТИКИ РОБОТОВ И МЕХАТРОННЫХ СИСТЕМ	218
4.1. Виды и общие требования к испытаниям промышленных и мобильных роботов	218
4.2. Определение технических характеристик ПР при испытаниях	226
4.3. Особенности испытаний мехатронных систем	236
4.4. Методы и средства диагностирования роботов и мехатронных систем	240
4.5. Испытания мехатронной системы металлорежущего станка	253
<i>Вопросы для самопроверки</i>	267
Глава 5. ЭКСПЛУАТАЦИЯ РОБОТОТЕХНИЧЕСКИХ И МЕХАТРОННЫХ СИСТЕМ	269
5.1. Эксплуатация роботов в производственных системах ...	269
5.2. Эксплуатация роботов в транспортно-накопительных системах автоматизированных производств	278
5.3. Техническое обслуживание мехатронных и робототехнических систем	286
5.4. Эксплуатация мехатронных и робототехнических систем	290
<i>Вопросы для самопроверки</i>	300
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	301
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ	302

ВВЕДЕНИЕ

Повышение эффективности производственных процессов достигается использованием комплексной автоматизации на базе высокопроизводительного оборудования, станков с числовым программным управлением, микропроцессорной техники, промышленных роботов и гибких автоматизированных производств, построенных на базе мехатронных модулей. Эффективность работы рассматриваемых технических систем определяется их техническими характеристиками, конструкцией и надежностью работы, а также в значительной мере зависит от качества выполненных работ по монтажу, наладке и своевременного технического обслуживания в процессе эксплуатации. Для обслуживания промышленных роботов и мехатронных систем технологического оборудования, оснащаемого ими, необходимы знания их конструкций, методов и правил монтажа, наладки, испытаний и эксплуатации. Значительное место в современных системах настройки приводов и подготовки управляющих программ занимает компьютерная симуляция технических систем с использованием моделей. В современные мехатронные и робототехнические системы встраиваются высокоразвитые информационные системы и системы диагностики.

Учебное пособие написано в соответствии с программой курса «Испытания, наладка и эксплуатация мехатронных и робототехнических систем» для студентов, обучающихся по специальности «Мехатроника и робототехника». Материал базируется на отечественном опыте монтажа и наладки систем автоматизации, роботов и станков с ЧПУ, а также на личном опыте авторов по внедрению в производство промышленных роботов и роботизированных комплексов.

В учебном пособии приведены общие положения по устройству, наладке и испытаниям мехатронных модулей и промышленных роботов с электро-, пневмо- и гидроприводом.

Глава 1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О МЕХАТРОННЫХ И РОБОТОТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ

Мехатроника – область науки и техники, основанная на синергетическом объединении узлов точной механики с электронными, электротехническими и компьютерными компонентами, обеспечивающими проектирование и производство качественно новых модулей, систем, машин и систем с интеллектуальным управлением их функциональными движениями. Основной целью мехатроники, как научно-технической дисциплины, является разработка принципиально новых функциональных узлов, блоков и модулей, реализующих двигательные функции, которые используются как основа для подвижных интеллектуальных машин и систем. В связи с этим, предметом мехатроники становятся технологические процессы проектирования и выпуска систем и машин, способных реализовать требуемый двигательный функционал. Методология, используемая в рамках мехатроники, опирается на взаимную интеграцию технологий, структурных элементов, информационных и энергетических процессов из целого перечня естественно-научных и инженерных направлений (информатики, точной механики, микроэлектроники, автоматического управления и т. п.). Обычно мехатронная система является объединением собственно электромеханических компонентов с силовой электроникой, которые управляются с помощью различных микроконтроллеров, персональных компьютеров или других вычислительных устройств. При этом система в истинно мехатронном подходе, несмотря на использование стандартных компонентов, строится как можно более монолитно, конструкторы стараются объединить все части системы воедино без использования лишних интерфейсов между модулями. В частности, применяя встроенные непосредственно в микроконтроллеры аналого-цифровые преобразователи, интеллектуальные силовые преобразователи и т. п. Это уменьшает массу и размеры системы, повышает её надёжность и даёт некоторые другие преимущества. Любая система, управляющая группой приводов, может считаться мехатронной. Наиболее яркими представителями мехатронных систем являются роботы и станки с ЧПУ.

Обобщенная схема мехатронной системы представлена на рис. 1.1.

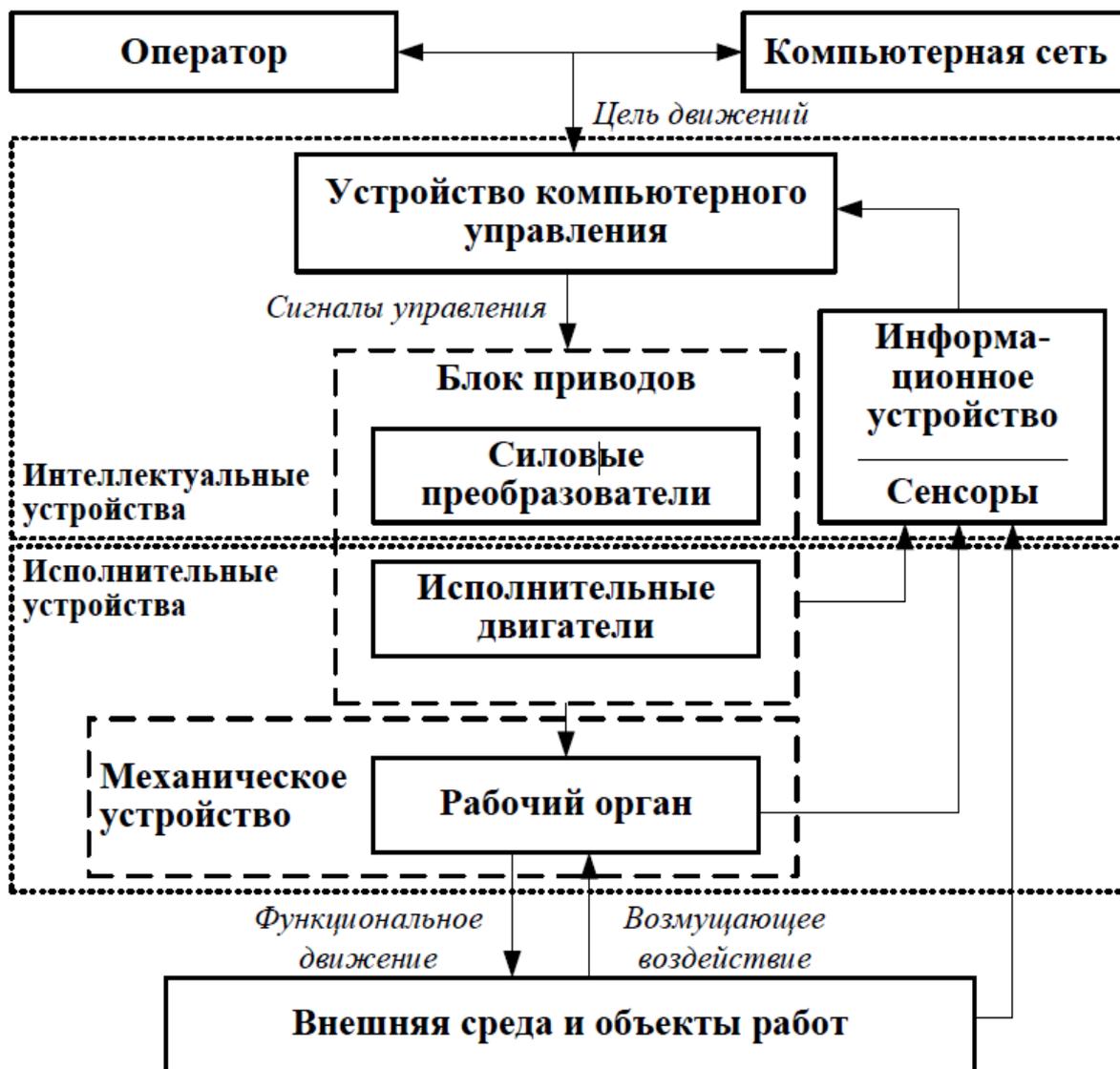


Рис. 1.1. Обобщенная схема мехатронной системы

1.1. Состав и характеристики мехатронных модулей и робототехнических систем

Основой любой мехатронной системы являются мехатронные модули. Мехатронный модуль (ММ) – унифицированный мехатронный объект, имеющий автономную документацию и предназначенный, как правило, для реализации движений по одной координате. Примерами мехатронных модулей служат части станков - шпиндельная бабка, поворотный стол. В качестве модулей могут выступать двигатели, редукторы и т.п. Более сложные модули (автономные приводы) - мотор-редуктор, мотор-колесо, мотор-шпиндель, мотор-барабан и поворотный стол.

По физической природе составляющих элементов ММ подразделяются на электроприводные, гидроприводные, пневмоприводные и прочие. В состав электроприводных ММ входят электродвигатель и (как правило) преобразователь движения. Они распространены наиболее широко и обычно являются базой для сравнения вариантов на стадии проектирования. Гидроприводные ММ содержат гидродвигатели линейного или вращательного движения. По сравнению с электроприводными они обладают значительно меньшими размерами и массой, в частности, потому, что не требуют преобразователя движения; малой инерционностью; простотой регулирования и его широким диапазоном. К недостаткам их следует отнести сравнительно высокую стоимость; необходимость в насосной установке; чувствительность к качеству рабочей жидкости. Пневмоприводные ММ по принципу действия подобны гидроприводным, а различия между ними определяются особенностями рабочей среды – сжатого воздуха. ММ с пневмоприводом конструктивно проще гидроприводных, дешевле, менее требовательны в эксплуатации, способны реализовать более высокие скорости движения. В то же время их нагрузочная способность при равных размерах на два порядка меньше, существенно ниже КПД, они не в состоянии обеспечивать точные перемещения. В число прочих ММ входят модули как с комбинированным приводом, например, электрогидравлическим, так и с устройствами для преобразования энергии, не относящимися к электро-, гидро и пневмоприводу.

Классификация ММ по конструктивным признакам представлена на рис. 1.2. В полной мере фундаментальному определению мехатроники соответствуют только интеллектуальные мехатронные модули, которые содержат приводную часть (двигатель), информационную часть (датчики) и аппаратно-встроенную компьютерную часть.

Анализ развития мирового рынка продукции машиностроения свидетельствует о появлении нового класса технологического и измерительного оборудования, транспортных средств на базе мехатронных модулей движения (ММД). Причем объемы производства ММД в развитых странах мира с каждым годом увеличиваются. Миллионы ММД находят применение в авиации, космосе, приборостроении, электротехнике, станкостроении, робототехнике, автомобилестроении и других важнейших отраслях промышленности.

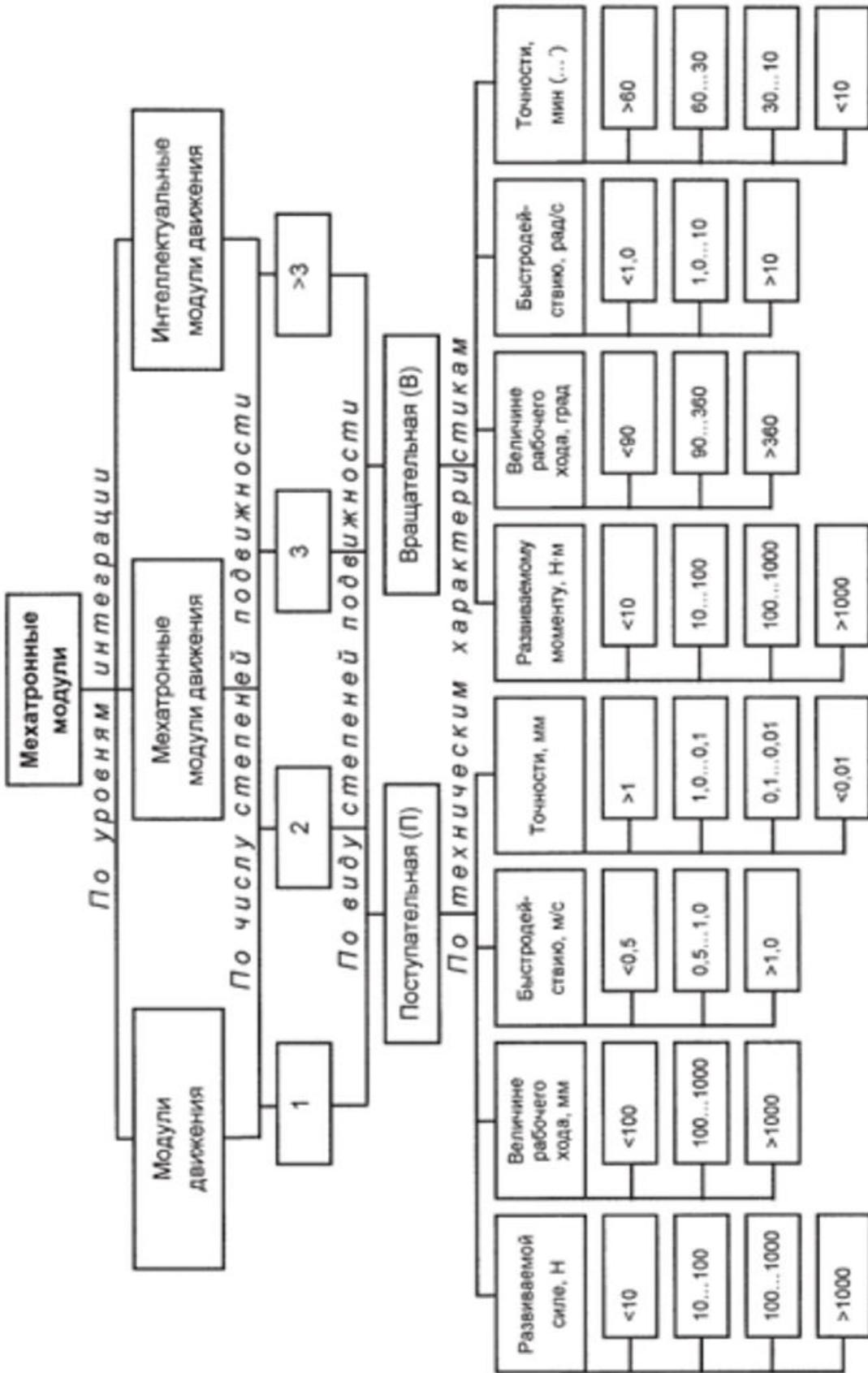


Рис.1.2. Классификация мехатронных модулей

На базе ММД уже сегодня создаются экологически чистые наземные, подземные и водные транспортные средства, а также технологии высокоскоростного резания легких сплавов для авиационных металлоконструкций, высокопроизводительного, "сухого" шлифования прецизионных деталей для автомобильной и подшипниковой промышленности, субмикронных измерений деталей и прецизионной высокопроизводительной обработки штампов и пресс-форм графитовых электродов и пластмассовых изделий. При этом главным признаком, отличающим ММД от общепромышленного электропривода, является введение электродвигателя в узел машины: электрошпиндель, мотор-шпиндель, электромеханизм линейного перемещения инструментов головки, поворотный глобусный или координатный стол, мотор-колесо и т.п. Основную номенклатуру ММД, на основе которых в настоящее время создаются производственные машины и транспортные средства нового поколения, можно подразделить на четыре группы.

1. Высокооборотные модули с максимальной частотой вращения от 9 000 до 250 000 мин⁻¹ и мощностью от 0,1 до 30 кВт для металлорежущих станков, деревообрабатывающих машин, станков для сверления печатных плат, компрессоров и т.д.

В этих модулях используются воздушные и электромагнитные подшипники. Основные преимущества выпускаемых электрошпинделей на магнитных подшипниках:

- отсутствие механических контактов и, как следствие, износа; - возможность использования более высоких (по сравнению с традиционными конструкциями) скоростей; - небольшая вибрация, отсутствие трения и снижение тепловых потерь;

- возможность изменения жесткости и демпфирующих характеристик системы;

- возможность работы в вакууме и вредных средах; - экологическая чистота.

2. Низкооборотные модули с максимальной частотой вращения от 4 до 300 мин⁻¹, моментом от 10 до 2500 Н·м и точностью позиционирования до 3" для поворотных столов станков, измерительных машин, оборудования для электронного машиностроения, узлов роботов и многоцелевых инструментальных головок. Модули подобного типа могут с успехом применяться в электровелосипедах, инвалидных колясках, электромотоциклах, скутерах и других легких транспортных средствах. Технические характеристики некоторых транспортных ММД, например, электровелосипедов и инвалидных колясок существенно превышают характеристики лучших мировых производителей. Так, масса инвалидной коляски меньше на 30 %, а пробег без подзарядки батареи больше на 50 %, чем у импортных аналогов.

3. Модули линейного движения с усилием от 10 до 5000 Н и скоростью до 32 м/с для приводов металлорежущих станков, промышленных роботов и измерительных машин, а также для запирающих устройств газо- и нефтепроводов.

4. Цифровые электроприводы с бесколлекторными синхронным и асинхронным двигателями мощностью до 10 кВт с моментом от 1 до 40 Н·м и высоким отношением момента к массе для приводов подачи высокопроизводительных станков и роботов, текстильных и деревообрабатывающих машин, приводов вентиляторов, насосов и т.д. Блок управления такими приводами создается на базе силовых интеллектуальных схем и встраивается в корпус или клеммную коробку электродвигателя.

В связи с расширением рынка высокопроизводительных машин и оборудования традиционной и нетрадиционной компоновок и освоением производства указанных ММД практически всеми ведущими электротехническими фирмами мира осуществляется постепенный перевод специальных ММД в модули движения общепромышленного применения. Так, встраиваемые электродвигатели для поворотных столов металлорежущих станков и мотор-колес для транспортных средств производятся по одной и той же технологии низкооборотных ММД на

основе современных магнитных систем. Рынок таких ММД стремительно развивается: спрос на эту продукцию в 1997 г. достигнет 100-120 тыс. штук.

Аналогичные примеры можно привести и по другим ММД, в том числе по линейным двигателям для станкостроения и робототехники, измерительных машин и транспортных средств.

Применение ММД в обрабатывающих центрах традиционной компоновки позволило повысить производительность фрезерования почти в 3 раза. Относительно высокая стоимость таких машин не останавливает ведущие авиационные концерны в мире от их закупок уже в настоящее время.

Еще большие возможности применения ММД имеют машины нетрадиционной компоновки: обрабатывающие и измерительные машины на основе так называемой платформы Стюарта и мехатронных поворотных столов. Сравнение экономических показателей такого блочно-модульного станка с аналогичными показателями обрабатывающего центра традиционного типа дает следующие результаты: - сокращение в 2-2,5 раза занимаемой производственной площади; - сокращение в 2-3 раза числа базовых деталей; - уменьшение в 1,5-2 раза металлоемкости (особенно при нетрадиционной компоновке).

Анализ технико-экономических показателей ММД и созданных на их базе машин нового поколения с учетом рынка продукции машиностроения позволяет выделить основные тенденции в области технического совершенствования компонентов общепромышленного применения:

- интенсивное развитие мехатронных модулей вращательного движения и линейного перемещения на базе электродвигателей переменного тока, встроенных в приводные узлы машин и оборудования, создаваемых специализированными фирмами и поставляемых машиностроительным предприятиям – лидерам машиностроительного инновационного рынка;

- развитие международной научно-технической и производственной кооперации в области комплектных систем управления машинами новых поколений на базе ММД для создания новых высококвалифицированных рабочих мест.

На основании прогноза и анализа развития станкостроения можно выделить следующие основные направления:

- качественное изменение конструкций металлорежущих станков (конструкции станков с параллельной кинематикой, гексаподные конструкции, конструкции типа «Box in a box» и др.);

- существенное повышение производительности станков, реализация технологий скоростной обработки; - широкая унификация станков, реализация принципов агрегатно-модульного конструирования. Для решения перечисленных задач наряду с совершенствованием технологии обработки, появлением новых режущих материалов, инструментов создаются принципиально новые мехатронные станочные узлы привода и автоматизации на базе интеграции средств прецизионной механики, электроники, электротехники. Конструктивное объединение исполнительного и приводного элементов механизмов линейных и вращательных перемещений станков, реализующих концепцию привода прямого действия «Direct Drive», позволяет исключить промежуточные механические преобразователи и передачи, повысить точность, быстродействие, снизить потери.

Наличие в этих конструкциях встроенных систем автоматического управления и датчиков контроля технологического процесса делает мехатронные узлы интеллектуальными автономными модулями, на базе которых могут создаваться конструкции перспективных металлообрабатывающих станков. Использование мехатронных модулей движения позволяет обеспечить высокий уровень автоматизации технологических процессов. На рис.1.3 приведен перечень мехатронных модулей движения и агрегатов на их основе, используемых в современных металлорежущих станках.

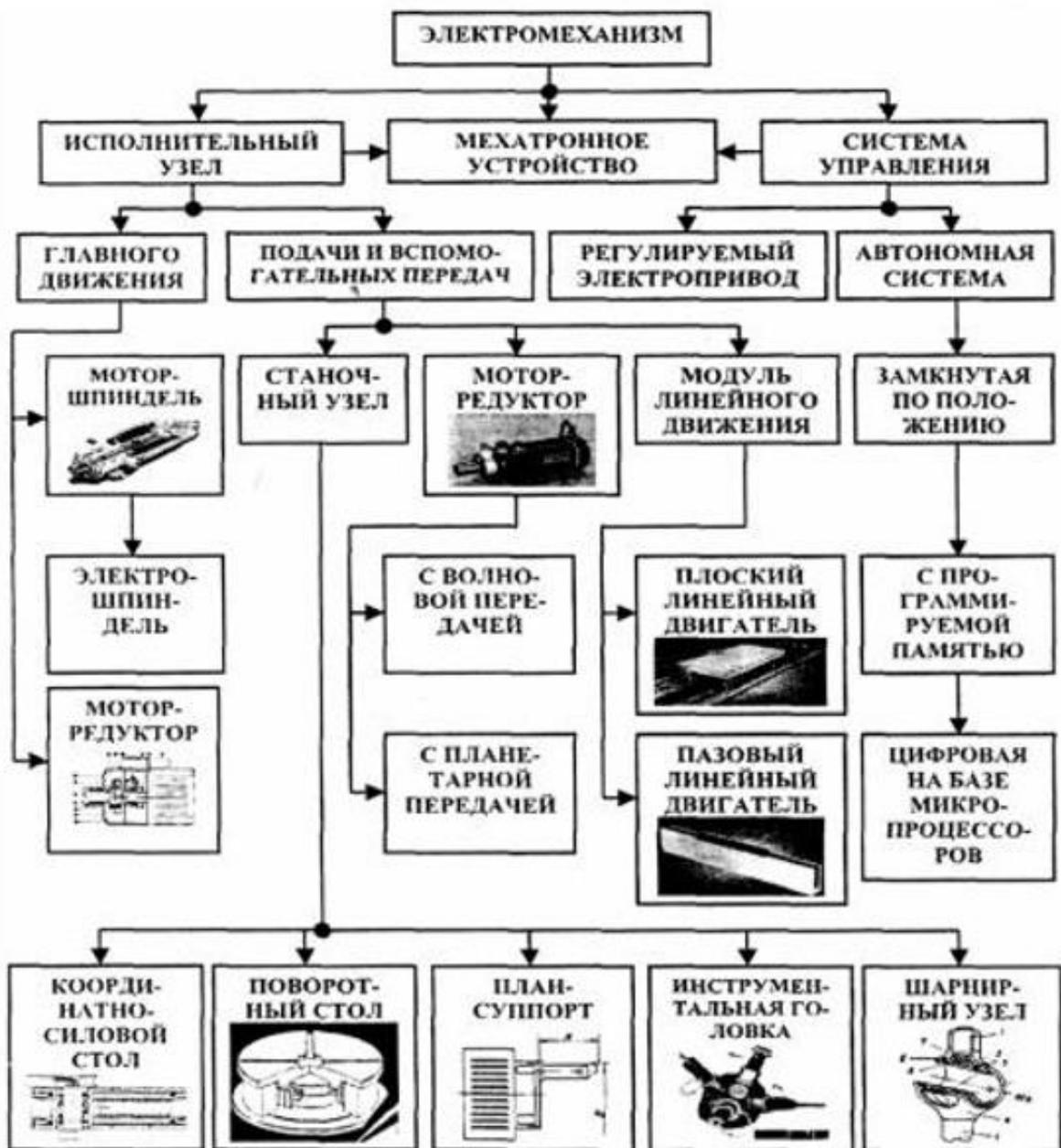


Рис. 1.3. Перечень мехатронных модулей движения и агрегатов на их основе, используемых в современных металлорежущих станках.

Робот как мехатронная система состоит из двух основных частей – исполнительных систем и устройства управления ими с сенсорной системой. В свою очередь исполнительные системы включают одну или несколько манипуляционных систем (обычно в виде механических манипуляторов) и системы передвижения, имеющейся только у подвижных (мобильных) роботов. Сегодня основным таким типом, по-прежнему, являются промышленные роботы (ПР), которые предназначены

для применения в промышленности и составляют до 80 % всего парка роботов в мире. В свою очередь промышленные роботы делятся на ряд типов более узкого назначения (например, робот окрасочный, сварочный, транспортный, для обслуживания станков, прессов, литейных машин и т. д.).

По *типу выполняемых операций* все промышленные роботы делятся на роботы технологические, которые выполняют основные технологические операции, и роботы вспомогательные, выполняющие вспомогательные технологические операции по обслуживанию технологического оборудования. Технологические роботы относятся к основному технологическому оборудованию, а вспомогательные можно отнести к средствам автоматизации. По широте перечня операций, для выполнения которых предназначен робот, различают роботы специальные, специализированные и универсальные. Специальные роботы предназначены для выполнения одной конкретной технологической операции (например, конкретную сборочную операцию, обслуживание определенной марки технологического оборудования).

Специализированные роботы могут выполнять различные однотипные операции (сборочный робот со сменными рабочими инструментами, робот для обслуживания определенного типа технологического оборудования и т.п.). Универсальные роботы предназначены для выполнения любых основных и вспомогательных операций в пределах их технических возможностей. Увеличение степени универсальности робота соответственно расширяет область его возможных применений, но одновременно неизбежно сопровождается недоиспользованием его возможностей на каждой конкретной операции. Наиболее оптимальными в этом отношении являются специальные роботы, но с другой стороны это предельно сужает их рынок, а, следовательно, и объем производства.

К *конструктивным показателям* роботов относят: тип приводов робота, его грузоподъемность, количество манипуляторов, тип и параметры их рабочей зоны, подвижность и способ размещения, исполнение по назначению. *Приводы*, которые используются в манипуляторах и системах передвижения роботов, делятся на электрические, гидравлические и пневматические. Часто их применяют в комбинации; например, в звеньях манипулятора большой грузоподъемности исполь-

зуют гидравлический привод, а в его захватном устройстве – более простой и маломощный пневматический привод. **Грузоподъемность робота** – это грузоподъемность его манипуляторов, а для транспортного робота еще и его шасси. Грузоподъемность манипулятора определяется массой перемещаемых им объектов и в зависимости от назначения робота может составлять от единиц грамм (сверхлегкие роботы, например, применяемые в микроэлектронике) до нескольких тысяч килограмм (сверхтяжелые, например, транспортные и космические роботы). **Количество манипуляторов** у роботов в большинстве случаев ограничено одним (одноманипуляторные или однорукие роботы). Однако в зависимости от назначения существуют конструкции роботов с двумя, тремя и четырьмя манипуляторами (соответственно двух-, трех- и четырехманипуляторные). Обычно манипуляторы робота выполняют одинаковыми, но имеются конструкции роботов и с разными манипуляторами. Например, существуют промышленные роботы для обслуживания прессов холодной штамповки с двумя разными манипуляторами: один основной для взятия заготовки и установки ее в пресс и другой упрощенной конструкции для выполнения более простой операции сталкивания готовой детали в бункер.

Тип и параметры рабочей зоны манипуляторов робота определяют область окружающего его пространства, в пределах которой робот может осуществлять манипуляции не передвигаясь, т.е. при неподвижном основании. Рабочая зона манипулятора – это пространство, в котором может находиться его рабочий орган при всех возможных положениях звеньев манипулятора. Форма рабочей зоны определяется системой координат, в которой осуществляется движение рабочего органа манипулятора, и числом степеней подвижности манипулятора.

Подвижность робота определяется наличием или отсутствием у него системы передвижения. В первом случае роботы называют мобильными, а во втором – стационарными. В соответствии с назначением роботов в них применяют системы передвижения практически всех известных на сегодня типов: от наземных колесных и гусеничных до предназначенных для передвижений в воде, глубинах земли, в воздухе и космосе. Специфическим для робототехники способом передвижения является шагание. **По способу размещения** стационарные и мобильные роботы бывают напольными, подвесными (мобильные роботы этого типа обычно перемещаются по поднятому рельсовому

пути), встраиваемыми в другое оборудование (например, в обслуживаемый станок) и т. д.

Исполнение работа по назначению зависит от внешних условий, в которых он должен функционировать. Различают исполнение нормальное, пылезащитное, теплозащитное, влагозащитное, взрывобезопасное и т.д.

По способу управления различают роботы с программным, адаптивным и интеллектуальным управлением. Управление движением по отдельным степеням подвижности может быть непрерывным (контурным) и дискретным позиционным. В последнем случае управление движением осуществляют, задавая конечную последовательность точек (позиций) и последующее перемещение по ним шагами от точки к точке без контроля траекторий между этими точками. Простейшим вариантом дискретного управления является цикловое, при котором количество точек позиционирования по каждой степени подвижности минимально, т.е. чаще всего ограничено двумя начальной и конечной. Быстродействие и точность роботов складываются из их значений для манипуляторов и систем передвижения.

Быстродействие манипулятора определяется скоростью перемещения его рабочего органа. Быстродействие манипуляторов у роботов общего применения можно разбить на следующие три диапазона:

малое – при линейных скоростях до 0,5 м/с;

среднее – при линейных скоростях от 0,5 до 1-3 м/с;

высокое – при больших скоростях.

Наибольшая скорость манипуляторов современных роботов достигает 10м/с и выше. Для значительной части областей применения роботов этот параметр очень важен, так как предопределяет их производительность. Основная трудность при повышении быстродействия связана с известным противоречием между быстродействием и другим не менее важным параметром – точностью. **Точность манипулятора и системы передвижения робота** характеризуется результирующей погрешностью позиционирования (при дискретном движении) или отработки заданной траектории (при непрерывном движении). Чаще всего точность роботов характеризуют абсолютной погрешностью.

Точность роботов общего применения можно разбить на следующие три диапазона:

малая – при линейной погрешности от 1 мм и более;

средняя – при погрешности от 0,1 до 1 мм;

высокая – при меньшей линейной погрешности.

Наименьшую точность имеют роботы, предназначенные для выполнения наиболее грубых, например, транспортных движений, а наибольшую микронную – роботы, используемые в электронной промышленности. По сравнению с человеческой рукой существенным недостатком современных роботов пока является снижение точности с увеличением хода манипуляторов, в то время как у человека эти параметры в значительной степени развязаны благодаря разделению движений на грубые (быстрые) и точные.

Другими параметрами, характеризующими технический уровень роботов, являются надежность, число одновременно работающих степеней подвижности, время программирования, а также основанные на перечисленных выше параметрах различные относительные и комбинированные показатели. К ним относятся, в частности, удельная грузоподъемность, отнесенная к массе робота, выходная мощность манипулятора (произведение грузоподъемности на скорость перемещения), отнесенная к мощности его приводов, относительные оценки габаритных параметров, манипуляционных кинематических и динамических характеристик, возможностей программирования, экономической эффективности и т.п. Однако эти относительные показатели технического уровня уже не являются паспортными параметрами, используемыми для характеристики конкретных роботов, а служат критериями качества, предназначенными для их оптимизации при проектировании и сравнительной оценке.

Приведем несколько примеров роботов и обрабатывающего оборудования, построенного по мехатронному принципу.

На рис.1.4 представлен вид копирующего манипулятора Маскот фирмы «Телеробот» (Италия), предназначенного для работы с опасными химическими или биологическими препаратами.



Рис. 1.4. Копирующий манипулятор Маскот фирмы «Телеробот» (Италия).

Серия роботов FANUC M-710iC (Япония) предназначена для работы с грузами среднего веса от 20 до 70 кг (Рис. 1.5).

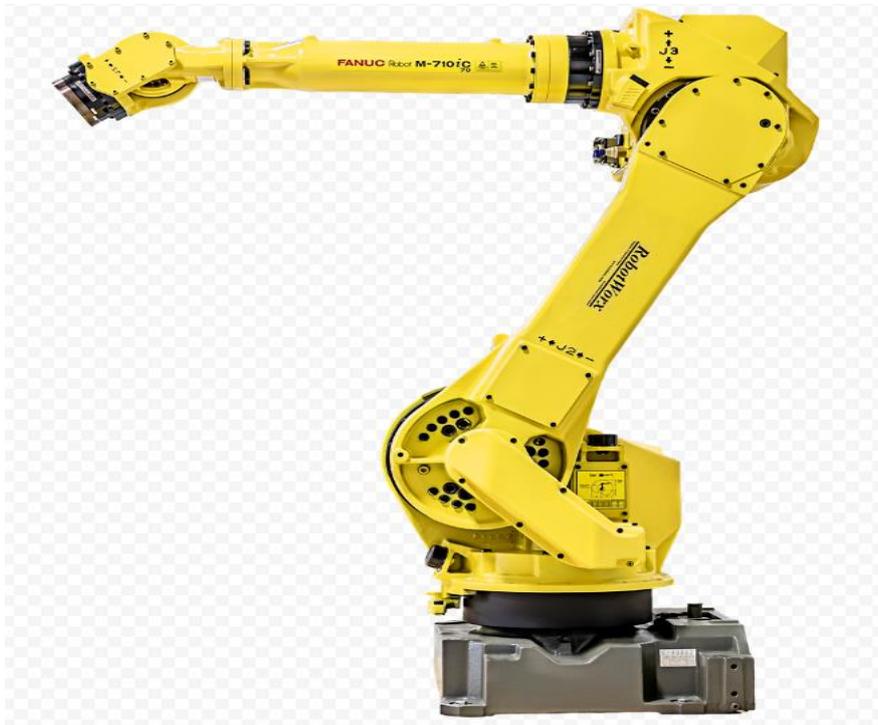


Рис. 1.5. Вид робота FANUC M-710iC

Компактное запястье, жесткая конструкция руки, узкая база и зона досягаемости до 3,1 м делают их незаменимыми при выполнении множества задач, а благодаря высоким угловым скоростям осей этих роботы являются очень быстрыми. Они также отличаются высокой грузоподъемностью и прекрасными инерционными показателями, благодаря чему любая модель может применяться для выполнения широкого спектра операций.

Робот KUKA KR QUANTEC PA – один из лучших роботов-палетоукладчиков на рынке. KUKA KR QUANTEC PA Arctic – его модификация, робот функционирующий при экстремально низких температурах. (Рис.1.6). Он создан для работы преимущественно в морозильных камерах, при температурах до $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$. Электронные и механические части аппарата не нуждаются в защите от мороза, снега, инея, а также не выделяют излишнего тепла. Радиус действия манипулятора модификации Арктик, как и у стандартного KUKA KR QUANTEC PA, составляет 3195 мм, а полезная нагрузка – до 240 кг. Аппарат идеален для применения в пищевой промышленности и в условиях крайнего севера. Кроме составления штабелей из паллетов, робот может выполнять и другие манипуляции, ведь точность его движений, а точнее говоря – стабильность повторяемости позиционирования, составляет 0,06 мм.



Рис. 1.6. Вид робота KUKA KR QUANTEC PA Arctic

Идеальным вариантом для промышленных предприятий, специализирующихся на выпуске небольших электронных устройств, является модель FANUC M-1iA, представленная на рис.1.7.



Рис. 1.7. Вид робота FANUC M-1iA

Она обладает гибким модулем, хорошо имитирующим человеческую руку. Для нее характерна высокая точность и повышенная производительность. При небольшой грузоподъемности она способна обеспечить различные технологические операции. Исполнительный орган имеет форму шарнирного параллелограмма, обеспечивающую высокоскоростную сборку деталей.

Робот BigDog – четырехногий робот с адаптивным управлением, созданный в 2005 году фирмой Boston Dynamics (Рис.1.8).



Рис. 1.8. Робот Big Dog

Робот сможет переносить снаряжение и помогать солдатам на территории, где не способен передвигаться обычный транспорт. Вместо колес и гусениц BigDog использует четыре ноги. В ногах находится большое количество разнообразных сенсоров. Также у BigDog имеется лазерный гироскоп и система бинокулярного зрения.

Длина робота Big Dog – 0,91 м, высота 0,76 м, вес 110 кг. В настоящее время он способен передвигаться по труднопроходимой местности со скоростью 6,4 км в час, перевозить 154 кг груза и подниматься на 35 градусную наклонную плоскость. Его передвижение контролирует компьютерная система, которая получает данные от различных сенсоров.

Универсальный фрезерный станок ФС-300 (Рис.1.9), изготавливаемый ВСЗ «Техника» г. Владимир, предназначен для обработки заготовок из черных и цветных металлов или их сплавов операциями фрезерования, сверления, развертывания, зенкерования под различными углами к плоскости стола.



Рис. 1.9. Вид станка ФС-300

На станке реализованы независимые привода подач по каждой координате. Фрезерный станок ФС-300 имеет возможность перемещения рабочих органов на роликовых направляющих по каждой координате с помощью передач винт-гайка или шариковинтовых пар. Зажим инструмента в шпинделях станка осуществляется пакетом тарельчатых пружин, разжим – гидравлический. Станок оснащается устройством цифровой индикации или УЧПУ.

Обработывающий центр OKUMA PM-600 (Япония), приведенный на рис.1.10, имеет параллельную кинематику исполнительного механизма на основе гексапода. Гексапод выполнен на базе шести механизмов поступательного перемещения, представляющих собой, например, шариковые винтовые передачи ШВП. Для изменения их длины служат регулируемые электроприводы. Контроль за величиной перемещения осуществляется датчиками положения. Одним концом штанга шарнирно соединена с основанием, а другим (также шарнирно) - с подвижной платформой, на которой установлен рабочий орган, например, мотор-шпиндель. Управляя вылетом штанг по программе, можно управлять положением шпинделя по шести координатам: X, Y, Z и тремя углами поворота.



Рис. 1.10. Обрабатывающий центр OKUMA PM-600

На рис. 1.11 представлен вид автоматизированного комплекса лазерного термоупрочнения ЛК-5В разработки ООО «ТермоЛазер», г. Владимир.

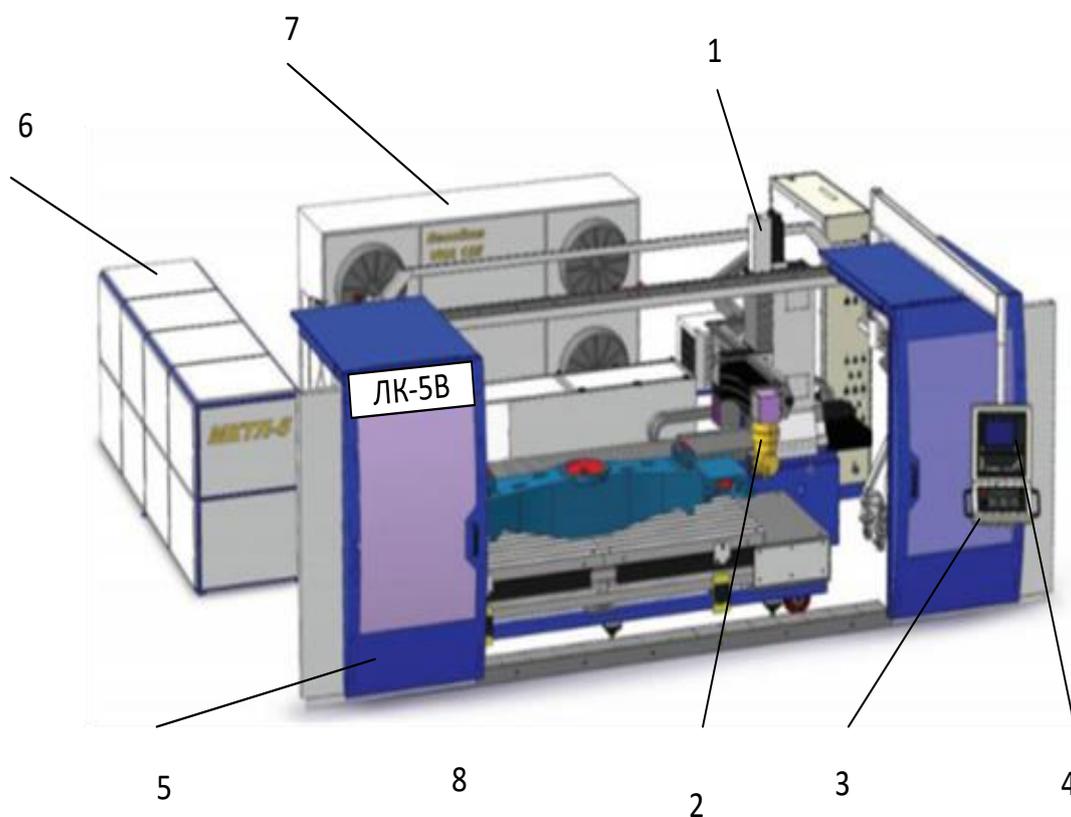


Рис. 1. 11. Вид автоматизированного комплекса лазерного термоупрочнения ЛК-5В

Здесь обозначено: 1- мехатронная исполнительная система с манипулятором оптики; 2- оптическая головка; 3- пульт оператора; 4- монитор; 5 – кабинет; 6 – лазер; 7 – чилер; 8 – стол.

Ниже представлены основные технические характеристики комплекса.

- 1 Тип лазера - многоканальный СО2-лазер
- 2 Мощность излучения, кВт - 5
- 3 Пределы регулирования мощности, кВт - 0,5-5,0
- 4 Режимы работы лазера - непрерывный, импульсно-периодический
- 5 Апертура выходного излучения, мм - 72,5
- 6 Диаметр пятна излучения в зоне обработки, мм - 8-10
- 7 Количество степеней подвижности манипулятора луча - 5
- 8 Манипулятор детали устанавливается по желанию заказчика
- 9 Зона обработки по X, Y, Z, мм - 2500*1000*500
- 10 Линейная скорость обработки, мм/с - 10-20
- 11 Производительность обработки, мм²/с - 70-160
- 12 Потребляемая мощность, кВт - 80
- 13 Расход лазерной смеси (СО2: N2 : He), л/ч - 4
- 14 Количество обслуживающего персонала, чел./в смену - 2
- 15 Занимаемая площадь, м² - 37,5

Комплекс предназначен для локального лазерного упрочнения путем перемещения пятна лазерного излучения относительно обрабатываемой детали.

Значительные величины перемещений лазерного пятна позволяют производить поверхностное упрочнение быстроизнашивающихся поверхностей крупногабаритных дорогостоящих деталей.

Рабочий стол комплекса грузоподъемностью до 2000 кг обеспечивает свободную установку и базирование спутников-паллет, а комплект системы ЧПУ Sinumerik 840Di позволяет производить управление пятью осями на станке. Конструкция рабочего стола обеспечивает свободную установку и четкое базирование спутников-паллет, приспособлений и устройств с обрабатываемыми деталями, исключая случайное смещение деталей по координатам X, Y и Z и от горизонтального положения.

1.2. Устройство мехатронных модулей движения

Главным отличительным признаком мехатронного модуля движения (ММД) от общепромышленного привода является использование вала двигателя в качестве одного из элементов механического преобразователя движения. Примеры ММД: мотор-редуктор, мотор-колесо, мотор-барабан, электрошпиндель.

Мотор-редуктор объединяет в один компактный конструктивный модуль электродвигатель и преобразователь движения. Эта конструкция получила в настоящее время широкое распространение. Выпускается целая гамма различных типов мотор-редукторов для различных условий применения, позволяющая найти оптимальное решение каждой конкретной задачи.

По сравнению с традиционным соединением двигателя и редуктора через муфту моторы-редукторы обладают целым рядом существенных преимуществ:

- сокращение габаритных размеров;
- снижение стоимости за счет сокращения количества присоединительных деталей, уменьшения затрат на установку, наладку и запуск изделия;
- улучшенные эксплуатационные свойства (пыле- и влагозащитность, минимальный уровень вибраций, безопасность и надежность работы в неблагоприятных производственных условиях).

Конструктивное исполнение модуля определяется типами используемых редуктора и электродвигателя. В зависимости от технических требований задачи применяются цилиндрические, насадные, конические, червячные и другие виды редукторов. В качестве электродвигателей наиболее часто используются асинхронные двигатели с короткозамкнутым ротором и регулируемые преобразователями частоты вращения, однофазные двигатели и двигатели постоянного тока. Многие зарубежные и отечественные фирмы производят электродвигатели, цилиндрические и планетарные редукторы и на их основе мотор-редукторы, которые при необходимости снабжают фотоимпульсными датчиками, резольверами и тормозами (переводя таким образом в класс ММД). Блочная-модульная система присоединения к двигателю различных типов планетарных и цилиндрических редукторов, а также магнитных и цифровых фотоимпульсных датчиков показана на рис. 1.12.

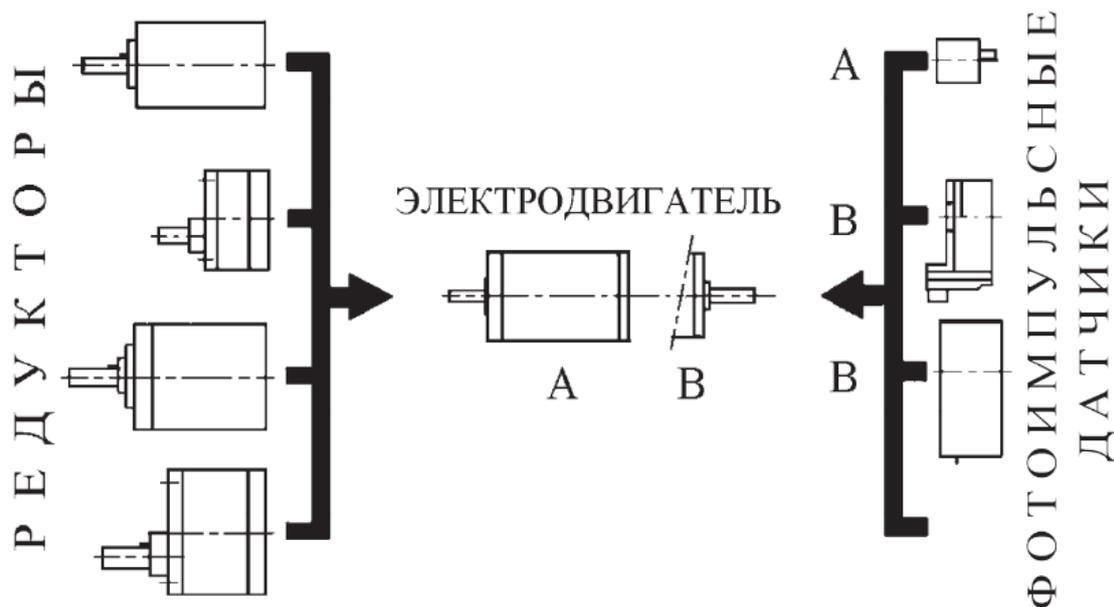


Рис. 1.12. Блочно-модульная система формирования мотор-редукторов: А, В – исполнения двигателя

Конструктивное объединение двигателя и преобразователя движения в мотор-редуктор имеет ряд преимуществ по сравнению с устаревшей системой соединения двигателя и преобразователя движения через муфту. Это и значительное сокращение габаритных размеров, и существенное уменьшение количества соединительных узлов и деталей, и снижение затрат на установку, отладку и запуск.

Благодаря своим достоинствам мотор-редуктор является в настоящее время одним из наиболее распространенных видов электропривода. Во всем мире выпускают ежегодно миллионы штук мотор-редукторов различных типов и исполнений, что позволяет удовлетворить все мыслимые потребности. Мотор-редуктор с преобразователем движения в виде соосного цилиндрического редуктора (рис. 1.13) состоит из двух основных элементов: двигателя 1 и редуктора 2, имеющего стыковочную поверхность 3 с отверстиями для крепления к ней двигателя винтами или болтами 4.

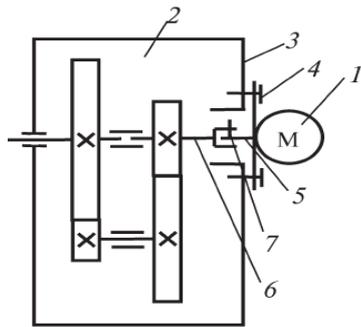


Рис. 1.13. Соосный двухступенчатый

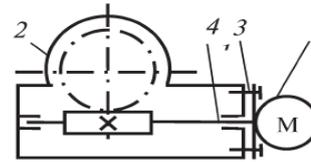


Рис. 1.14. Червячный мотор-редуктор редуктор

При объединении двигателя и редуктора в единый конструктивный модуль вал 5 двигателя вводят во входной полый вал 6 редуктора и закрепляют шпонкой 7. Возможен вариант, когда двигатель и редуктор имеют общий вал. Схема одноступенчатого червячного мотор-редуктора представлена на рис. 1.14. Он состоит из двигателя 1 и червячного преобразователя движения 2, соединенных в общий корпус винтами 3. Вал 4 двигателя и преобразователя движения единый.

Внешний вид двухступенчатого червячного мотор-редуктора фирмы *MOTOVARIO* показан на рис. 1.15.

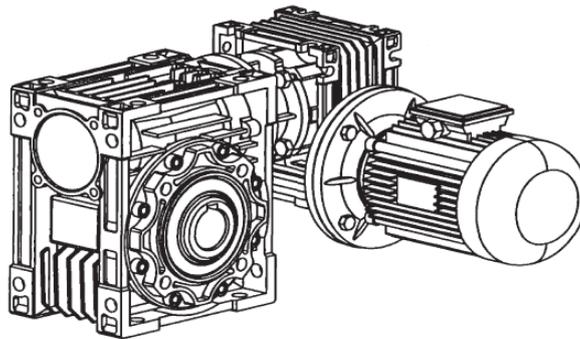


Рис. 1.15. Двухступенчатый червячный мотор-редуктор фирмы *MOTOVARIO*

В мотор-редукторах наиболее часто используют асинхронные двигатели с короткозамкнутым ротором, регулируемые преобразователем частоты вращения вала, однофазные двигатели и двигатели постоянного тока.

Планетарный зубчатый мотор-редуктор изображен на рис. 1.16.

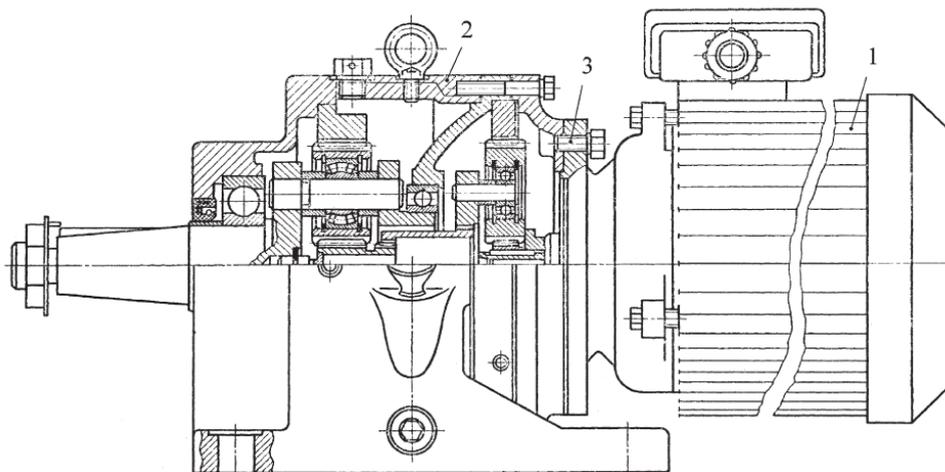


Рис. 1.16. Планетарный двухступенчатый мотор-редуктор

Он состоит из асинхронного двигателя *1* и двухступенчатого планетарного зубчатого преобразователя движения *2*, соединенных при помощи винтов *3* в единый корпус. В преобразователе движения плавающими элементами являются водило первой ступени и солнечная шестерня второй ступени, которые связаны между собой зубчатыми муфтами. Водило второй ступени выполнено заодно с выходным валом преобразователя движения. Сателлиты первой ступени установлены в водилах консольно.

Планетарно-цевочный одноступенчатый мотор-редуктор, состоящий из двигателя *1* и преобразователя движения *2*, соединенных в единый корпус винтами *3*, представлен на рис. 1.17.

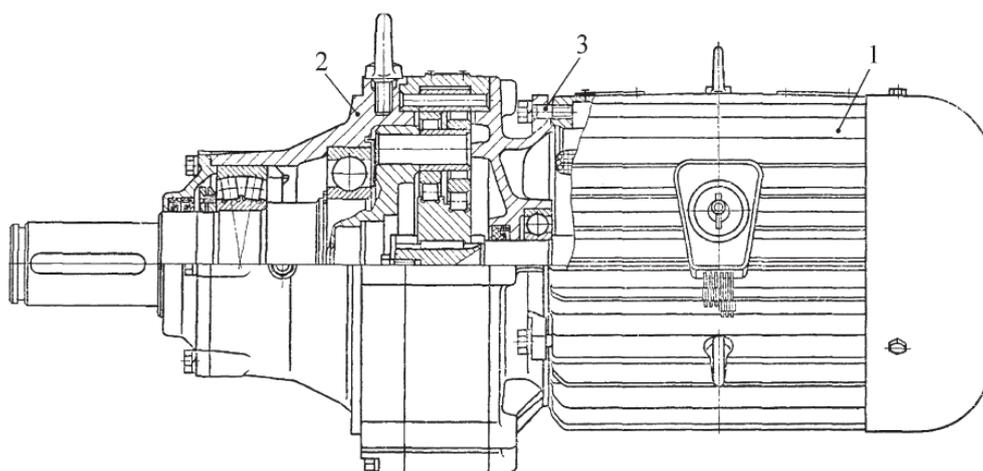


Рис. 1.17. Планетарно-цевочный мотор-редуктор

Мотор-редуктор на основе волнового механизма с электромагнитным генератором волн изображен на рис. 1.18.

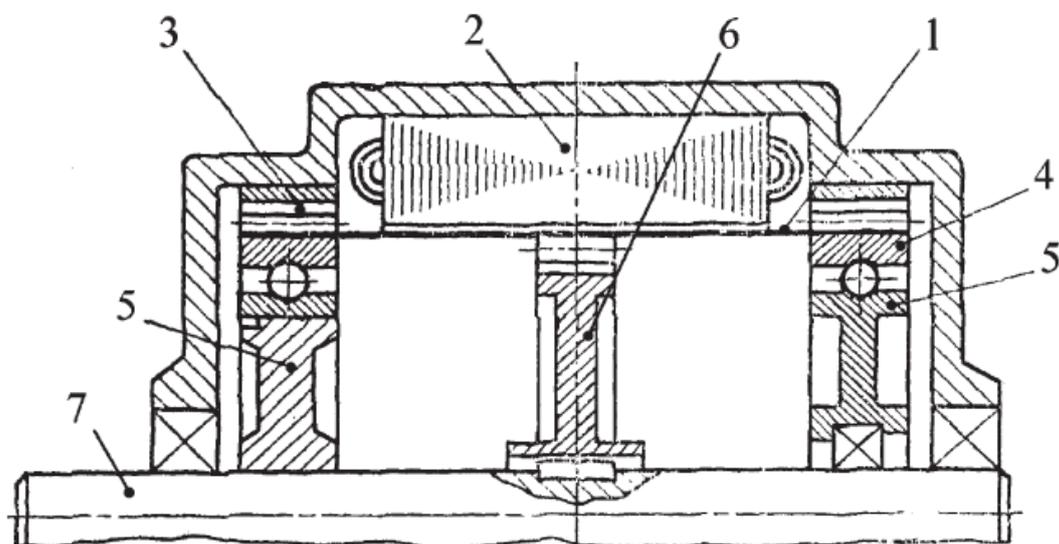


Рис. 1.18. Волновой мотор-редуктор

Он состоит из гибкого колеса 1, электромагнитного генератора волн 2, жестких колес 3, гибких подшипников 4, кулачков 5, зубчатого колеса 6 и выходного вала 7. При работе мотор-редуктора гибкое колесо под воздействием электромагнитного генератора волн входит в зацепление с жесткими колесами. При этом гибкое колесо деформируется синхронно с вращающимся электромагнитным полем и, взаимодействуя с жесткими колесами, вращается относительно корпуса, передавая через зубчатое колесо 6 вращение выходному валу. Кулачки с надетыми на них гибкими подшипниками приходят в движение вместе с гибким колесом.

Кулачки можно устанавливать на выходной вал непосредственно или при помощи подшипников качения. Во втором случае обеспечивается радиальная координация гибкого колеса относительно жесткого, увеличивается надежность, долговечность и повышается коэффициент полезного действия модуля движения.

Во многих случаях скорость вращения выходного вала мотор-редуктора должна быть изменяемой. Реализовать это требование возможно применением механических вариаторов, позволяющих регулировать скорость вращения, либо применением электронных устройств,

изменяющих скорость вращения двигателя. Каждый из указанных способов, имеющих свои преимущества и недостатки, применяют в зависимости от тех конструктивных и технологических задач, которые необходимо решить. Например, если требуется повысить передаваемый момент на выходном валу, то целесообразно применять конструкцию мотор-редуктора с механическим вариатором. Если же необходимо расширить диапазон регулирования скорости либо сохранить минимальные габариты и массу мотор-редуктора, то предпочтительны частотные преобразователи скорости. В мотор-редукторах могут быть использованы различные типы вариаторов. При этом изделие получает название «мотор-вариатор-редуктор». На рис. 1.19 представлена общая компоновочная схема мотор-вариатор-редукторов.

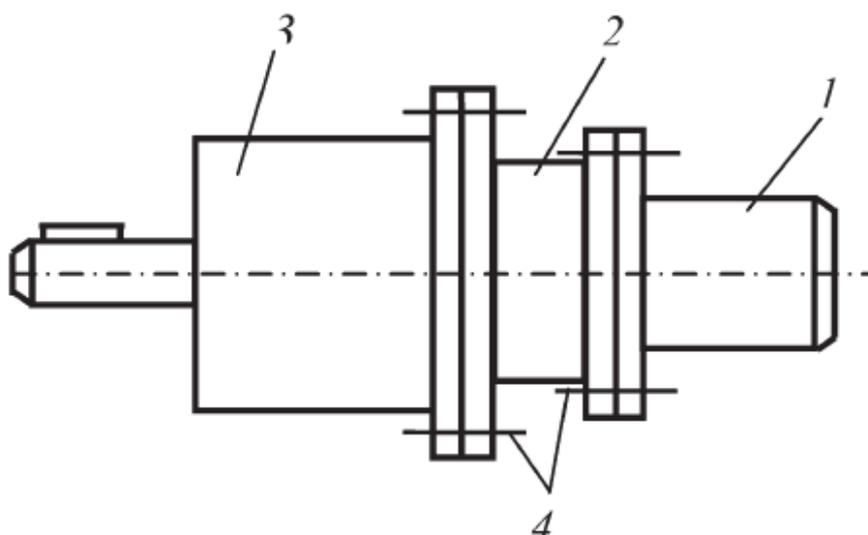


Рис. 1.19. Компоновка мотор-вариатор-редуктора

Двигатель 1, вариатор 2 и редуктор 3 соединяют фланцами с помощью винтов (болтов) 4. Применение мотор-редукторов в комплекте с частотными преобразователями скорости позволяет посредством изменения скорости вращения вала двигателя осуществлять плавное (бесступенчатое) регулирование скорости выходного вала с сохранением момента.

Конструкция мотор-колеса на основе планетарно-цевочного преобразователя движения типа *K-H-V* представлена на рис. 1.20.

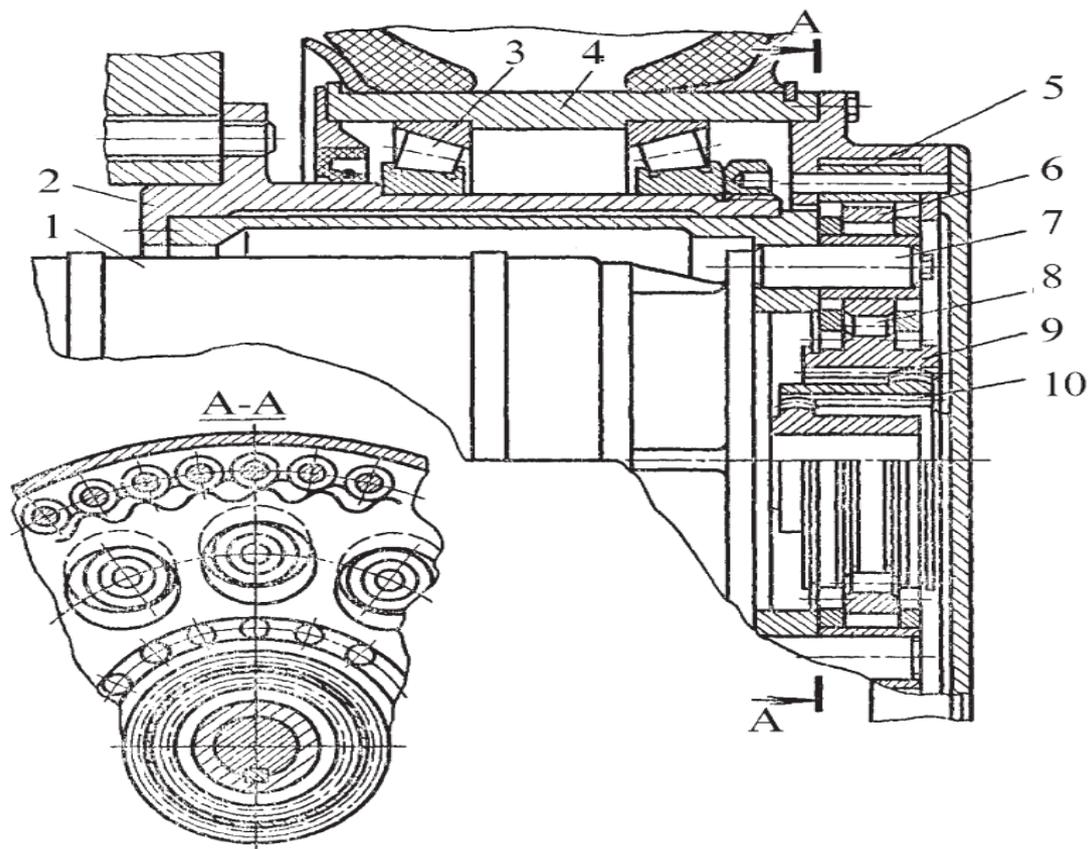


Рис. 1.20. Конструкция мотор-колеса на основе планетарно-цевочного редуктора

Эксцентрик 9 связан с валом электродвигателя 7 через двойную зубчатую муфту 10. Для роликов 8 эксцентрик имеет три беговые дорожки. Через сателлит 6 вращение передается цевочному колесу 5 и дальше на ступицу колеса 4, которая опирается на два конических радиально-упорных подшипника 3. Механизм параллельных кривошипов 7 установлен в неподвижной ступице 2. Передача является двухсателлитной, причем один из сателлитов раздвоен и расположен симметрично относительно другого, что исключает неравномерность распределения нагрузки по длине цевок колеса 5. Эксцентрик 9 выполнен плавающим и не имеет радиальных опор. Конструкция компактна и достаточно проста в сборке и разборке.

Развитие новых электронных технологий привело к созданию миниатюрных датчиков и электронных блоков для обработки их сигналов. Это позволило ввести в ММД электронные и информационные устройства, наличие которых является главным отличительным признаком ММД от МД. Важным шагом в развитии приводной техники

стало появление высокомоментных двигателей вращательного движения, применение которых позволило вообще исключить механический редуктор из состава электроприводов постоянного тока, работающих на низких скоростях. Высокомоментными называются двигатели постоянного тока с возбуждением от постоянных магнитов и электронной коммутацией обмоток, которые допускают многократную перегрузку по моменту. Для определения положения полюсов на роторе вентильного ВМД устанавливают дополнительные технические средства (например, датчики Холла, индуктивные и фотоэлектрические датчики). Обычно высокомоментные двигатели (ВМД) устойчиво работают на частотах вращения 0.1-1 1/мин, которые типичны для металлорежущих станков и промышленных роботов. Основные преимущества ВМД определяются отсутствием в приводе редуктора: - снижение материалоемкости, компактность и модульность конструкции; - повышенные точностные характеристики привода благодаря отсутствию зазоров; - исключение трения в механической трансмиссии позволяет существенно уменьшить погрешности позиционирования и нелинейные динамические эффекты на ползучих скоростях; - повышение резонансной частоты. ВМД выпускаются в настоящее время коллекторного и вентильного (иногда используется термин «бесщеточного», либо «бесконтактного») типов. Основные преимущества вентильных двигателей по сравнению с коллекторными: - высокая надежность, большой срок службы, минимальные затраты на обслуживание (вследствие исключения искрения и износа щеток); - улучшенные тепловые характеристики (так как тепло рассеивается на обмотках статора, а на роторе тепловыделяющие элементы отсутствуют), отсюда возможность использования проводов малого сечения; - высокое быстродействие за счет высокого соотношения развиваемый момент/ момент инерции ротора;

- большая перегрузочная способность по моменту (типично $M_{max}/M_{ном} = 8$) в широком диапазоне регулирования скорости;

- близкие к линейным механические и регулировочные характеристики. По сравнению с синхронными двигателями вентильные ВМД позволяют регулировать скорость вращения с помощью обратной связи, частота вращения не зависит от напряжения питания, нет проблемы выпадения из синхронизма.

Основной недостаток вентильных двигателей - наличие дорогостоящих магнитов и блока управления коммутацией обмоток, отсюда пониженный показатель мощность/цена и повышенные габариты. В современных модификациях эта проблема решается путем построения этих блоков на базе относительно дешевых интегральных микросхем. В состав современных мехатронных модулей движения на основе ВМД обязательно входят также датчики обратной связи и иногда управляемые тормоза, что позволяет отнести такие ММД ко второму поколению. В качестве датчиков наиболее часто применяются фотоимпульсные датчики (энкодеры), тахогенераторы, резольверы и кодовые датчики положения. Принципиально важно, что модуль "двигатель-датчик" имеет единый вал, что позволяет сочетать высокие технические параметры и низкую стоимость.

Современное производство предъявляет к ММД целый ряд требований: высокая точность реализации исполнительных движений; надежность, долговечность; возможность работы при наличии различных видов возмущений и в широком диапазоне температур окружающей среды; значительно меньшие массогабаритные показатели по сравнению с обычным электроприводом. Требования к развиваемым усилиям, точности и скорости исполнительных движений диктуются особенностями автоматизируемых операций, а требование минимизации размеров – необходимостью встраивания модуля в ограниченное пространство. Попытка синтеза ММД из имеющихся в наличии серийно выпускаемых компонентов может привести к технически и экономически неэффективным решениям. Рациональным является проектирование специализированного ММД, наиболее полно отвечающего его служебному назначению. Сложность и противоречивость требований, предъявляемых к ММД, обуславливает целесообразность мехатронного подхода к их проектированию. В частности, следование принципу синергетической интеграции элементов системы приводит к обеспечению желаемого уровня качества модуля за счет конструктивного и функционального взаимопроникновения его компонентов, многие из которых являются специализированными и создаются в ходе параллельного системного проектирования с учетом их последующего объединения. Если преобладающим является требование обеспечения компактности, то оно может быть реализовано путем использования бесконтактных электрических машин и их интеграции с преобразова-

телями движения и информационно-измерительными элементами. При этом преобразователи движения и датчики не являются отдельными устройствами, а становятся неотъемлемыми элементами двигателя. Синергетический эффект достигается также за счет выполнения некоторыми компонентами ММД нескольких функций одновременно. Такие решения позволяют исключить многие механические интерфейсы, упростить и удешевить конструкцию, устранить необходимость механической подгонки и согласования датчика и двигателя. ММД являются функциональными «кубиками», из которых можно компоновать сложные мехатронные системы.

Примеры ММД: модули на основе электродвигателей углового линейного движения и различных преобразователей движения (винтовых, червячных, планетарных, волновых и т. п.), безредукторные ММД, безредукторные поворотные столы. ММ линейного движения выходного звена изображен на рис. 1.21.

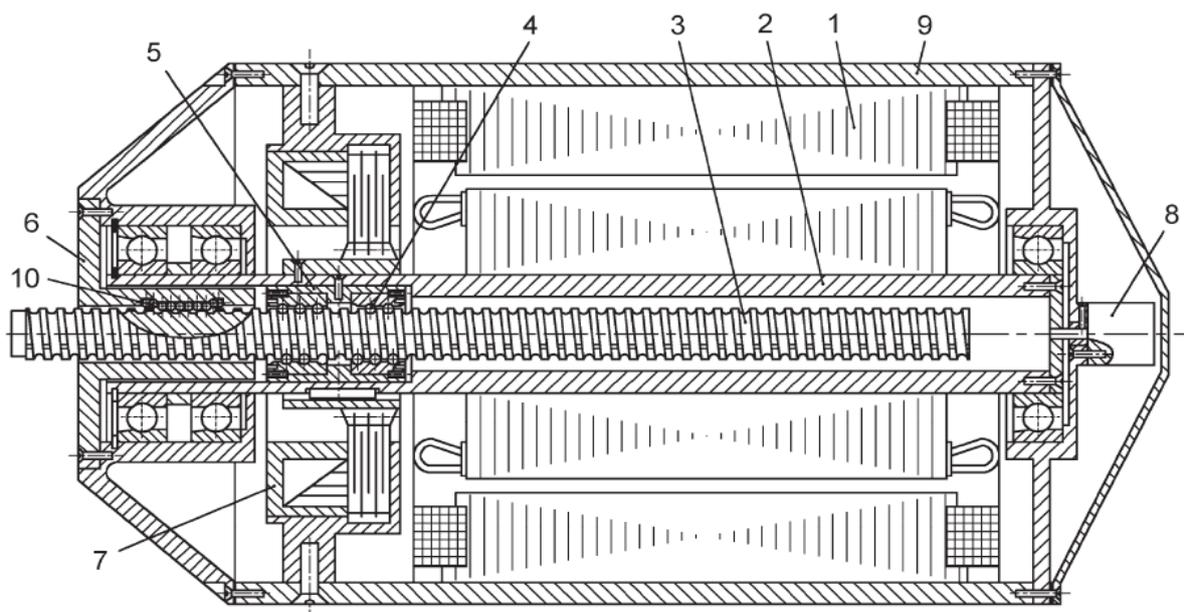


Рис. 1.21. Мехатронный модуль линейного движения

Он состоит из асинхронного двигателя *1* с полым валом *2*, шариковинтовой передачи, включающей в себя винт *3*, шарики *4*, составную гайку *5*, соединенную с валом *2*, направляющей *6*, нормально замкнутого электромагнитного тормоза *7*, фотоимпульсного датчика *8* и корпуса *9*. При вращении ротора двигателя *1* вал *2* вращает гайку *5*, которая через шарики *4* вызывает поступательное перемещение винта

3. Для предотвращения проворачивания и уменьшения трения при перемещении винта 3 в нем сделаны три продольных паза, в которые входят шарики 10 направляющей 6. Величину перемещения винта 3 фиксирует фотоимпульсный датчик 8. Электромагнитный тормоз 7, закрепленный в корпусе 9, в случае отключения электроэнергии срабатывает и останавливает винт.

Двухступенной (двухкоординатный) ММД показан на рис. 1.22.

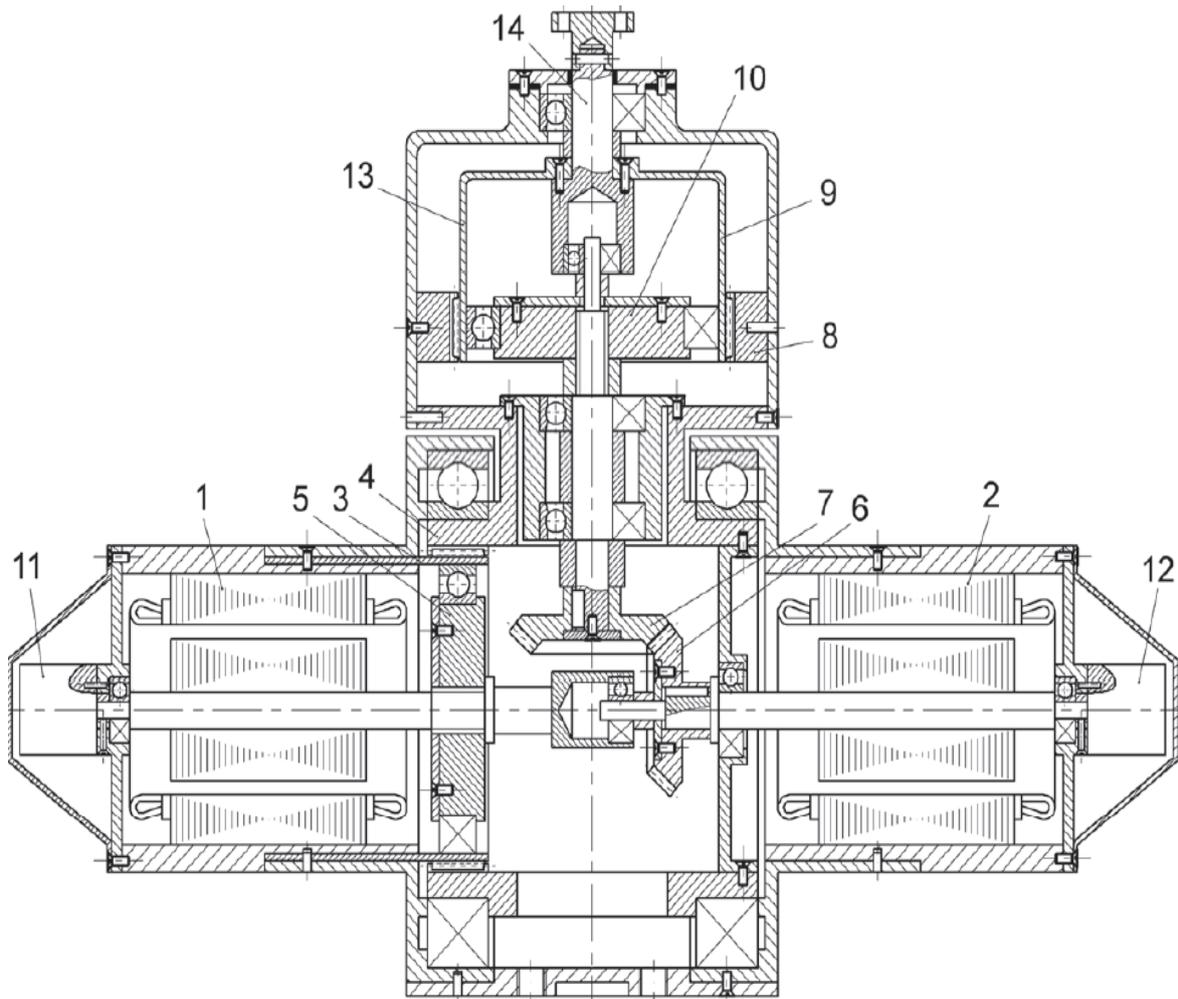


Рис. 1.22. Двухкоординатный мехатронный модуль движения

Модуль состоит из двух двигателей 1 и 2, волнового преобразователя движения с неподвижным гибким колесом 3, подвижным жестким колесом 4 и кулачковым генератором волн 5, двухступенчатого преобразователя движения, состоящего из конической зубчатой передачи 6–7, волнового преобразователя движения с неподвижным жест-

ким колесом 8, подвижным гибким колесом 9 и кулачковым генератором волн 10, двух фотоимпульсных датчиков 11 и 12. При включении двигателя 1 генератор волн 5 начинает вращаться и жесткое колесо 4 вместе со связанным с ним корпусом 13 приходит в движение. При включении двигателя 2 вращение его вала через пару зубчатых колес 6–7 приводит во вращение генератор волн 10, и гибкое колесо 9 вместе со связанным с ним выходным валом 14 приходит в движение. Фотоимпульсные датчики 11 и 12 предназначены для определения положения и перемещения корпуса 13 и выходного вала 14 соответственно.

На рис. 1.23 изображен ММД фирмы МАХОН.

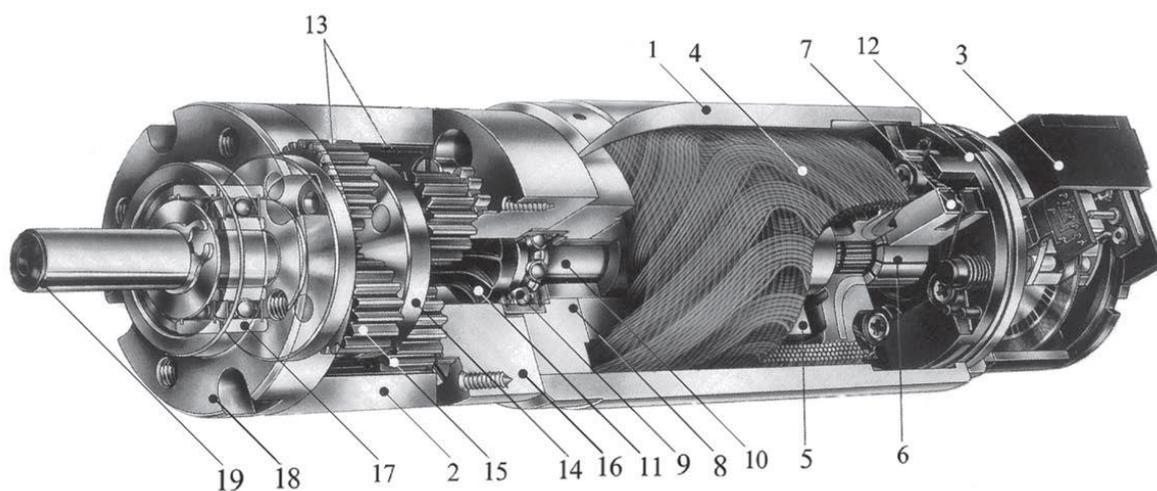


Рис. 1.23. Мехатронный модуль движения фирмы МАХОН

Он состоит из коллекторного двигателя 1, двухступенчатого планетарного редуктора 2 и фотоимпульсного датчика положения 3.

Двигатель включает в себя обмотку 4, магнит 5, коллектор 6, щетки 7, фланец 8, подшипник 9, вал 10, заканчивающийся вал-шестерней 11, крышку 12. Каждая ступень редуктора типа 2К-Н с одним внешним и одним внутренним зацеплениями имеет два центральных колеса 11 и 13 (первая ступень), водило 14 и сателлиты 15. Для установки подшипника 9 имеется специальная монтажная плита 16. Подшипник 17 закреплен во фланце 18 преобразователя движения, через который проходит выходной вал 19. Фотоимпульсный датчик предназначен для определения положения и перемещения выходного вала.

Важнейшим этапом развития ММД стали разработки модулей типа «двигатель – рабочий орган». Такие конструктивные модули

имеют особое значение для технологических мехатронных систем, целью движения которых является реализация целенаправленного воздействия рабочего органа на объект работ. ММД типа «двигатель – рабочий орган» широко применяют в шлифовальных и фрезерных станках под названием мотор-шпиндели.

В настоящее время выпускают широкую номенклатуру высокоскоростных прецизионных электро- и пневмошпинделей с частотой вращения 9000... 250000 об/мин, предназначенных для обработки различных металлов и неметаллических материалов шлифованием, фрезерованием, сверлением, а также специального назначения, в том числе для промышленных лазеров. Высокоскоростной шпиндель, используемый в составе металлорежущего станка, должен обеспечивать ряд технических требований, к которым в первую очередь относятся:

- высокая пиковая мощность и мощность постоянного действия;
- максимальная радиальная и аксиальная жёсткость;
- максимальная скорость вращения;
- соответствующая требованиям высокоскоростной обработки (ВСО) система крепления инструмента, часто с возможностью автоматической смены инструмента.

Для каждого конкретного практического приложения должен быть произведён выбор между шпинделем с ременной передачей и моторшпинделем. На рис.1.24 приведен электрошпиндель со встроенным двигателем датчиками и исполнительными элементами для контроля процесса высокоскоростной обработки.

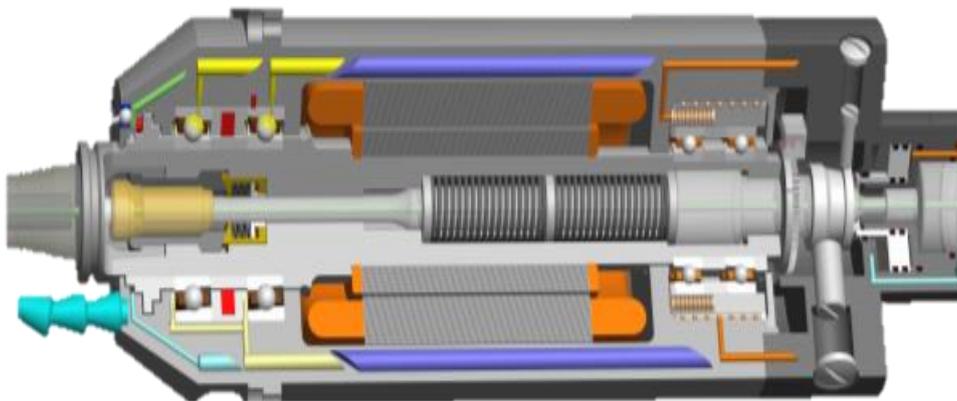


Рис. 1.24. Вид моторшпинделя

Двигатель интегрирован в корпус шпинделя и обеспечивает возможность высоких скоростей вращения без ограничений, обусловленных ременными и зубчатыми передачами. Моторшпиндель состоит из установленного на подшипниках шпиндельного вала, двигателя и системы зажима инструмента. Смазка подшипников перманентная на весь срок службы или воздушно-масляная. Воздушно-масляная смазка позволяет достичь более высокие – на 20% и выше скорости вращения. Мощность электрошпинделя определяется мощностью мотора. Выбор шпинделя для конкретного приложения определяется требованиями станка. В конечном итоге должен быть сделан выбор оптимальной комбинации скорости вращения, мощности, жёсткости и нагрузочной способности.

ММД в виде безредукторного поворотного стола (рис. 1.25) предназначен для обеспечения режимов позиционирования и контурной обработки на фрезерных, сверлильных и расточных станках.

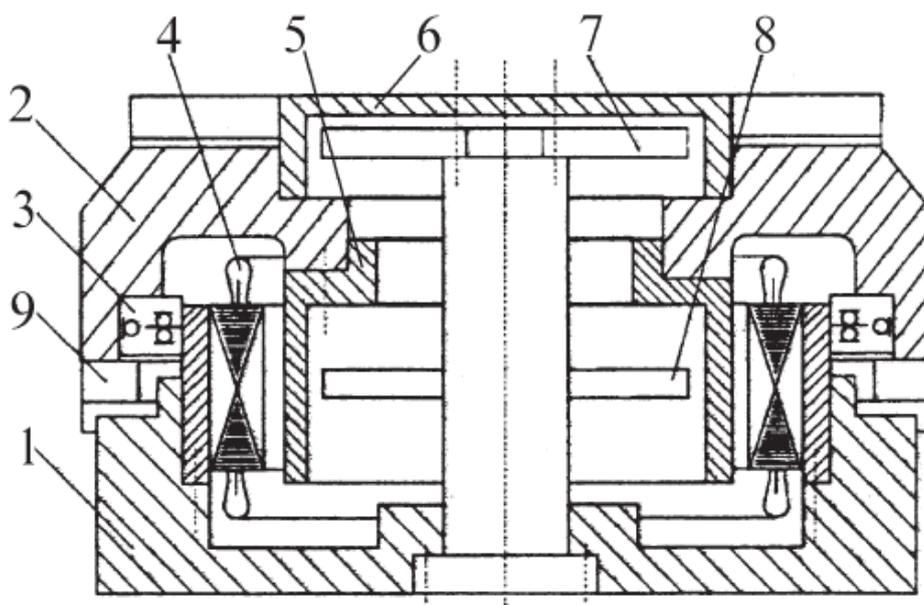


Рис. 1.25. Безредукторный поворотный стол

Стол состоит из основания 1 и собственно поворотного стола 2, опирающегося на упорные подшипники 3, встроенного двигателя 4, ротор 5 которого соединен с планшайбой 6, датчика 7 положения, датчика 8 скорости и гидротормоза 9, обеспечивающего фиксацию планшайбы в нужном положении. Безредукторное соединение ротора двигателя с планшайбой позволяет увеличить точность позиционирования

стола и расширить его технологические возможности. Одновременно упрощается конструкция стола, уменьшается число деталей, повышается жесткость.

Мехатронный подход к построению модулей вращательного движения на базе высокомоментных двигателей получил в последние годы свое развитие и в модулях линейного перемещения. Цель проектирования аналогична - исключить механическую передачу из состава ММД. Мехатронные модули движения на основе линейных высокомоментных двигателей (ЛВМД) находят все большее применение в гексаподах, высокоскоростных станках (многоцелевых, фрезерных, шлифовальных), комплексах для лазерной и водоструйной резки, вспомогательном оборудовании (крестовых столах, транспортерах). Традиционные электроприводы линейных перемещений включают в себя двигатель вращательного движения и механическую передачу для преобразования вращения в поступательное движение (шарики-винтовую передачу (ШВП), зубчатую рейку, ленточную передачу и т.п.). С начала 80-х годов известны разработки собственно линейных двигателей, однако из-за низких удельных силовых показателей они имели ограниченную область применения (графопостроители, координатно-измерительные машины) и в автоматизированном оборудовании не могли быть использованы.

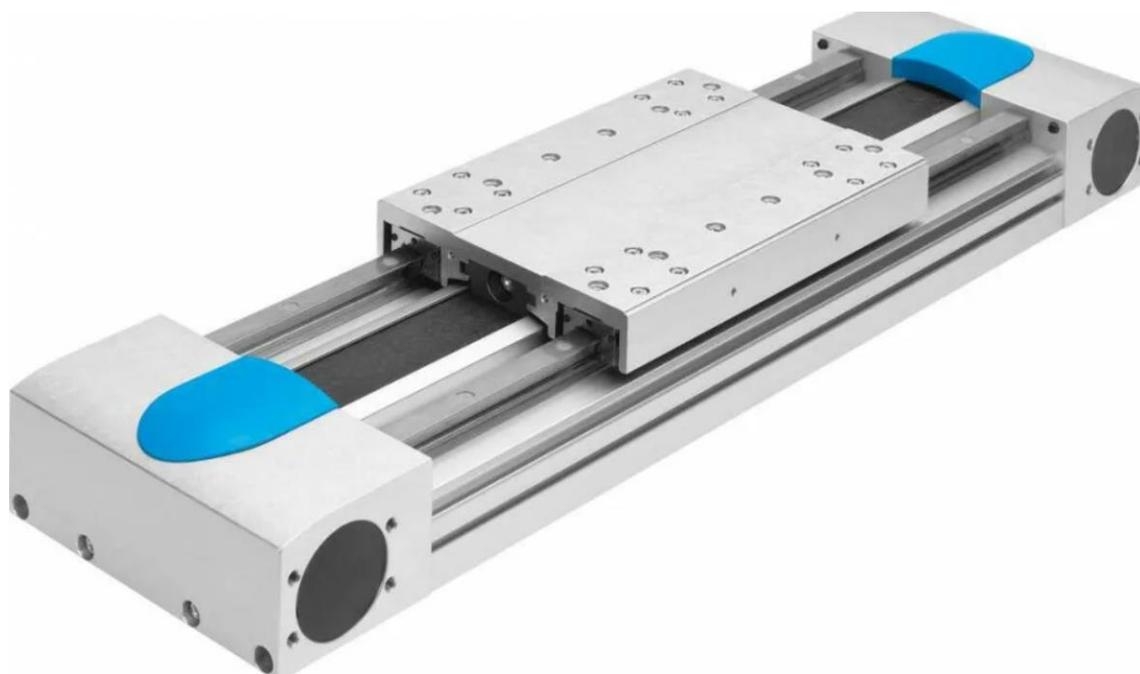


Рис. 1.26. Мехатронный модуль с линейным двигателем

Основные преимущества модулей на базе ЛВМД по сравнению с традиционными линейными приводами:

- повышение в несколько раз максимальной скорости движения (до 150-210 м/мин) и ускорения (в перспективе до 5g);
- высокая точность реализации движения;
- высокая статическая и динамическая жесткость.

Вместе с тем имеется ряд проблем при проектировании и внедрении ЛВМД: более высокая стоимость, необходимость использования систем охлаждения ММД (жидкостной или воздушной), относительно невысокий к.п.д. модуля.

1.3. Информационная система и датчики мехатронных и робототехнических систем

Информационная система (ИС) представляет собой совокупность функционально объединенных измерительных, вычислительных и других вспомогательных технических средств, предназначенных для получения измерительной и другой информации, необходимой для нормального функционирования мехатронного или робототехнического устройства, передачи, хранения и преобразования этой информации (в том числе осуществления логических функций контроля, диагностики, идентификации) в целях представления информации потребителю (системе управления или человеку-оператору) в виде, удобном для принятия решения. ИС являются важнейшей составной частью МС и занимают в них особое место: именно они обеспечивают координацию и синхронизацию работы всех других систем. Благодаря ИС объект приобретает новые системные свойства (целостности, организованности, иерархичности структуры), которые не являются простой суммой свойств составляющих систем.

Любая мехатронная или робототехническая система должна иметь возможность контролировать состояние своих подсистем, а также значимые для ее нормального функционирования параметры внешней среды. Такая информация позволяет, например, мобильному роботу следить за своим состоянием, правильно ориентироваться в

окружающем пространстве, выбирать оптимальный маршрут движения и рабочие объекты, своевременно избегать опасных ситуаций (перегрева, опрокидывания, причинения вреда человеку и т.п.). Робот, лишенный возможности получать информацию о состоянии своих подсистем и окружающем пространстве подобен человеку, лишенному не только пяти органов чувств, но информации от многочисленных биологических сенсоров, расположенных, например, в наших суставах (чтобы убедиться в их наличии, закройте глаза и вы без труда сможете описать положение любого сустава руки или ноги!). Чтобы подсистема управления робота смогла принимать адекватные решения, поступающая к ней из внешней среды (от датчиков очувствления) и от блоков самого робота (в том числе и хранящаяся в запоминающих устройствах) информация должна быть достаточно полной и достоверной. При этом, чем выше «интеллектуальный уровень» мехатронной системы, тем в большей степени работа ее подсистемы управления основана на текущей информации, поступающей от датчиков и обрабатываемой в реальном масштабе времени.

Основными процессами, позволяющими ИС получать необходимую информацию, являются обнаружение событий и объектов, измерение их параметров, обработка результатов измерения, в том числе контроль, диагностика, распознавание образов. В соответствии с этим можно классифицировать ИС по составу, выполняемым функциям и уровню интеллектуальности.

По мере развития ИС качество получаемой с их помощью информации и расширение функциональных возможностей все чаще связывается с их интеллектуализацией. При этом понятие интеллектуальности непосредственно связано с наличием процессора и программной части. Именно переход к созданию процессорных ИС явился главным шагом по формированию предпосылок для появления интеллектуальных ИС.

Однако само наличие процессора и программной части еще не определяет уровня интеллекта ИС. За основу определения этого уровня примем следующее положение: уровень интеллекта обуславливается

возможностями использования априорной (банк знаний и банк данных) и текущей информации для синтеза и выполнения алгоритмов, характеризующихся наилучшим для принятых условий и ограничений метрологическим качеством результатов измерений и синтезированной на их основе управляющей информации. В ИС низших уровней развития процессы измерения и обработка их результатов производится по заранее заданным алгоритмам. В высокоразвитых ИС в той или иной степени используется искусственный интеллект.

Информационные устройства и системы, как и органы чувств человека, предназначены для сбора информации о состоянии внешней среды и внутреннем состоянии робота. В качестве ее элементов используются телевизионные, светолокационные, ультразвуковые, тактильные и другие датчики. Функционально органы очувствления роботов (мехатронных систем) датчики – можно подразделить на два основных класса: датчики внутреннего состояния и датчики внешнего состояния (Рис.1.27). Основное назначение средств очувствления МС состоит в том, чтобы существенно снизить объем необходимой априорной информации. Кроме того, их включение в состав систем управления позволяет существенно упростить процедуру обучения МС, повысить динамическую точность и быстродействие исполнительных органов. Представим, что перед нами робот, перемещающий деталь из кассеты на сборочный стол и работающий по жесткой программе (без датчиков). Если детали не будет в том месте, откуда робот должен ее взять, он все равно сделает хватательное движение и будет перемещать пустой схват в место назначения на рабочем столе. Если на пути движения руки такого робота встретится препятствие, движение руки не будет остановлено (что может привести к поломке робота или повреждению препятствия). Робот, снабженный датчиками очувствления, сможет взять деталь, даже, если она находится не точно в заданном месте или иначе ориентирована, при движении рука робота остановится перед препятствием, т. е. очувствленный робот учитывает изменения внешней среды и корректирует свои действия в соответствии с этими изменениями.



Рис. 1.27. Классификация информационных устройств и систем используемых в мехатронике и промышленных роботах

В зависимости *от принципа действия* датчики с электрическим выходным сигналом можно разделить на две группы: *генераторные* или активные и *параметрические* или пассивные. В генераторных датчиках преобразование измеряемой величины осуществляется непосредственно в электрический сигнал (т.е. такие датчики генерируют электрическую энергию). К ним, например, относятся пьезоэлектрические, индукционные, фотоэлектрические (использующие явление

ЭДС в полупроводниковом рп-переходе при его освещении), термоэлектрические. В **параметрических** датчиках измеряемая величина преобразуется в параметр электрической цепи – сопротивление, индуктивность, емкость и т.п., причем для питания датчика необходим источник электрической энергии. К таким датчикам, например, относятся емкостные, индуктивные, электроконтактные, потенциометрические, тензорезисторные.

По используемым **физическим явлениям и эффектам** можно выделить следующие виды датчиков, получивших наибольшее распространение в ИС мехатронных устройств: тензорезисторные (для измерения усилий, давлений, моментов, малых перемещений, ускорений и пр.), реостатные (для измерения усилий, давлений, перемещений, линейных и угловых скоростей и ускорений), индуктивные и индуктивно-трансформаторные (для измерения усилий, давлений, линейных перемещений), индукционные (для измерения линейных и угловых скоростей), пьезоэлектрические (для измерения вибраций, динамических усилий, давлений), емкостные (для измерения линейных и угловых перемещений, давлений, состава вещества), магнитоупругие (для измерения усилий, давлений, моментов), фотоэлектрические (для измерения линейных и угловых перемещений, линейных и угловых скоростей, положения объектов, линейных размеров и пр.).

Для измерения угловых перемещений чаще всего применяются потенциометрические датчики, преобразующие угол поворота в напряжение. Точность прецизионных потенциометров может достигать 0,01-0,05 %, разрешающая способность – 0,05-0,01 %. С повышением разрешающей способности потенциометра, как правило увеличиваются его габариты, которые для большинства прецизионных потенциометров колеблются в следующих пределах: диаметр 60-150 мм, высота 50-90 мм. Малые габариты и очень высокую разрешающую способность имеют многооборотные спиральные потенциометры.

Основные недостатки потенциометрических датчиков заключаются в износе проволоки и щётки, ограниченной разрешающей способности и низкой чувствительности по напряжению. От этих недостатков свободны трансформаторные преобразователи угловых перемещений. Наибольшее распространение имеют вращающиеся трансформаторы и сельсины, позволяющие получать напряжения переменного тока, про-

порциональные тригонометрическим функциям угла поворота или самому углу. Следует отметить, что однозначная зависимость выходного напряжения у них в функции угла поворота ограничена интервалом $0-\pi$. Недостатком трансформаторных преобразователей является сравнительно низкая точность воспроизведения функции угла поворота, не превышающая в большинстве случаев $0,1-0,2\%$.

Для измерения линейных перемещений можно использовать как потенциометрические, так и индуктивные датчики. Использование индуктивных датчиков для непосредственного измерения перемещения возможно только при движении подвижного звена в пределах $80-100\text{мм}$. Для повышения точности измерения обычно применяют датчики дифференциального типа с двумя катушками. Основным недостатком этих датчиков заключается в нелинейности их характеристик, что и затрудняет их использование для измерения значительных перемещений. Для измерения линейных и угловых перемещений можно использовать счётные датчики, т.е. датчики, у которых выходная величина представляется числом импульсов. В тех случаях, когда требуется различать направление измерения измеряемой величины, применяют двухфазную систему воспринимающих элементов. Наряду с измерением угловых и линейных перемещений часто необходимо иметь информацию, о различного рода деформациях и механических напряжениях. Для измерения относительных деформация в пределах $0,005-1,5\%$ обычно используются проволочные тензометры на бумажной основе, а также фольговые и плёночные тензосопротивления. Тензосопротивления практически безинерционны и могут применяться в диапазоне частот от 0 до 100 кГц . Рядом преимуществ перед подобными тензосопротивлениями обладают полупроводниковые тензодатчики: очень малые размеры (до 1 мм), высокая тензочувствительность (на 2 порядка выше, чем у проволочных тензометров), высокий уровень выходного сигнала. Полупроводниковые тензосопротивления могут иметь как положительный, так и отрицательный коэффициент тензочувствительности, т.е. при деформации из сопротивление может увеличиваться, и уменьшаться. К их недостаткам следует отнести изменение коэффициента тензочувствительности в зависимости от уровня деформации, температуры, удельного сопротивления материала.

Поскольку ИС мехатронного устройства предназначена для получения и обработки информации о состоянии **как самого мехатронного устройства, так и внешней среды**, в состав ИС входят датчики *внутренней и внешней информации*.

Датчики внутренней информации служат для измерения величин, характеризующих внутреннее состояние МС, т.е. для определения положений и скоростей перемещения исполнительных органов, усилий в их звеньях, а также параметров внутренней среды, обеспечивающей нормальное функционирование устройства. Датчики внешней информации предназначены для контроля наличия, формы, положения и ориентации в пространстве объектов манипулирования, свойств внешней среды и параметров возмущений, влияющих на функционирование МС в этой среде.

По способности воспринимать информацию на различных расстояниях от ее источника средства очувствления могут быть условно разделены на **бесконтактные и контактные**

Бесконтактные средства очувствления, оперирующие с геометрическими характеристиками объектов внешней среды, включают два класса устройств: системы технического зрения и локационные системы очувствления.

Средства очувствления контактного действия, которые измеряют действующие на манипулятор силы и моменты, а также фиксируют координаты точек их приложения, представлены системами силомоментного и тактильного очувствления [6]. Создание силомоментных систем вызвано необходимостью измерения сил и моментов в процессе взаимодействия схвата или инструмента с объектом манипулирования при выполнении, например, механической обработки, абразивной зачистки и шлифовки изделий. Применение силомоментных систем очувствления позволяет автоматизировать указанные технологические операции при минимуме затрат на разработку и создание дополнительного оборудования, например, конвейеров и позиционеров, обеспечивающих высокую точность начальной установки собираемых деталей. Эти же системы очувствления могут быть с успехом использованы также и для решения многих манипуляционных задач, особенно при работе с жесткими деталями, когда незначительные погрешности позиционирования могут вызвать большие усилия, которые трудно проконтролировать другими средствами.

Силомоментные системы оцувствления состоят из датчика и устройства предварительной обработки информации. В общем случае они обеспечивают измерение трех проекций силы и трех проекций векторов моментов, возникающих при взаимодействии схвата или инструмента с обрабатываемой деталью. Датчики силомоментного оцувствления размещают либо непосредственно на губках схвата, либо между последним звеном манипулятора и схватом.

Бесконтактные средства оцувствления. Системы технического зрения (СТЗ) представляющие собой бесконтактный тип систем оцувствления, находят широкое применение в промышленном производстве на операциях распознавания и сортировки деталей, разборки деталей из навала, для измерения координат движущихся деталей, подлежащих захватыванию, определения положения характерных точек в ориентации деталей на сборочных участках, контроля качества обработки или покрытия поверхностей деталей и т. п. Локационные системы оцувствления используют для измерения координат изделия в тех случаях, когда применение СТЗ нецелесообразно или невозможно. Посредством локационных датчиков обеспечивается измерение таких параметров, как расстояние до объектов, скорость движения, размеры объектов, обнаружение препятствий, а также исследование механических, электрофизических, акустических и других параметров объектов. В качестве дополнительных параметров измерения могут выступать зазоры, перекосы, проскальзывания наличие внутренних дефектов, толщина материала или покрытия, площадь, ориентация и другие. Локационные системы также применяют для простейшего распознавания деталей, имеющих различную отражательную способность, в качестве датчиков безопасности для предотвращения столкновения подвижных частей манипулятора с предметами и людьми, случайно оказавшимися в зоне обслуживания. Установка локационных датчиков на схвате манипулятора может обеспечить, например, возможность точного слежения сварочной головки за траекторией шва, а также позволяет захватывать и устанавливать изделия на подвесном или ленточном конвейерах.

Ультразвуковые локационные системы в основном они используются для определения местоположения мобильных роботов и обеспечения безопасности движения тележек внутрицехового транспорта. Работа таких систем основана на способности упругих волн высокой частоты (выше 20 кГц) распространяться в жидких, газообразных и твердых

средах и отражаться от неоднородностей или границ раздела этих сред. Наиболее часто используются эхометод и метод, использующий эффект Доплера.

Эхометод основан на излучении в среду коротких акустических импульсов и приеме эхосигналов от неоднородностей среды или находящихся в ней предметов. Этот метод используется для обнаружения предметов, измерения расстояний и перемещений, его также используют в ультразвуковых системах технического зрения (например, медицинская аппаратура для ультразвукового исследования, которая позволяет видеть на экране монитора состояние внутренних органов человека) [6]. Создаваемые излучателем короткие импульсы (длительностью около 1 мс), промодулированные ультразвуковой частотой (40 кГц), посылаются в направлении исследуемого объекта. Отраженные импульсы улавливаются приемником ультразвуковых сигналов, и после преобразования в электрический сигнал и усиления обрабатываются процессором. Процессор выделяет полезный сигнал среди помех и вычисляет расстояние L до исследуемого объекта в соответствии с формулой $L=(V \cdot t)/2$, где V – скорость распространения звуковой волны в данной среде; t – промежуток времени, прошедший между моментом появления переднего фронта излучаемого импульса и моментом прихода переднего фронта отраженного импульса на приемник.

В качестве излучателя и приемника обычно используется керамический пьезоэлектрический или магнитострикционный преобразователь. Чаще всего это один и тот же элемент (т. к. пьезоэлектрический и магнитострикционный эффекты являются обратимыми), поочередно подключаемый быстродействующим коммутатором в промежутках между импульсами то к каналу излучения, то к измерительному каналу. В качестве пьезоэлектрических ультразвуковых преобразователей часто используются пластины пьезокерамики ЦТС-19.

Локационные системы, использующие эффект Доплера, помимо расстояния позволяют определять также составляющую скорости V_0 перемещения объекта, направленную вдоль оси излучатель-объект. Напомним, что эффект Доплера заключается в изменении частоты звуковых (или электромагнитных) волн, регистрируемых приемником, в зависимости и от направления и величины взаимного перемещения объекта и приемника. При их сближении наблюдается увеличение частоты, при удалении друг от друга – уменьшение.

Акустические локационные системы обеспечивают измерение расстояний и скоростей перемещения объектов в воздухе и в воде. Такие системы используются, например, автоинспекторами для фиксации превышения скорости автомобилей, рыбопромысловыми судами для нахождения косяков рыб, подводными лодками для определения удаления, скорости и направления движения подводных объектов.

Наряду с ультразвуковыми используются и оптические локационные системы, однако из-за высокой скорости распространения оптического излучения, описанные выше методы используются главным образом для определения расстояний, превышающих несколько метров.

Контактные средства очувствления. Для установления факта касания детали губками схвата или другими частями манипулятора служат контактные датчики тактильного типа. Они расположены на внутренних и внешних поверхностях схвата и в тех местах звеньев манипулятора, которые могут войти в соприкосновение с объектами окружающей среды. Кроме регистрации самого факта соприкосновения они могут измерять величину контактного давления и определять наличие проскальзывания между соприкасающимися частями схвата и объекта. Информация о проскальзывании необходима для управления силой сжатия схвата и поддержания ее на таком минимальном уровне, при котором объект еще надежно зажат и в то же время сила сжатия недостаточна для его разрушения. На рис. 1.28 представлен вихретоковый датчик проскальзывания. Здесь обозначено: 1 – палец схвата, 2 – металлический пустотелый обрезиненный валик, 3 – постоянный магнит, 4 – катушка с проводом. При проскальзывании зажатой пальцами схвата детали металлический цилиндр проворачивается. Наводимые в нем вихревые токи ослабляют магнитный поток, воздействующий на катушку с проводом, в результате чего в ней наводится ЭДС. Вихретоковый датчик может давать сигнал не только о проскальзывании, но также о приближении стальной детали к пальцам схвата и о касании детали пальцами. Такой датчик отличается простотой конструкции, безынерционностью, способностью работать в условиях цеховой загрязненности и агрессивных сред, высокой механической прочностью чувствительного элемента и возможностью использования длинных кабельных линий связи с вторичной аппаратурой.

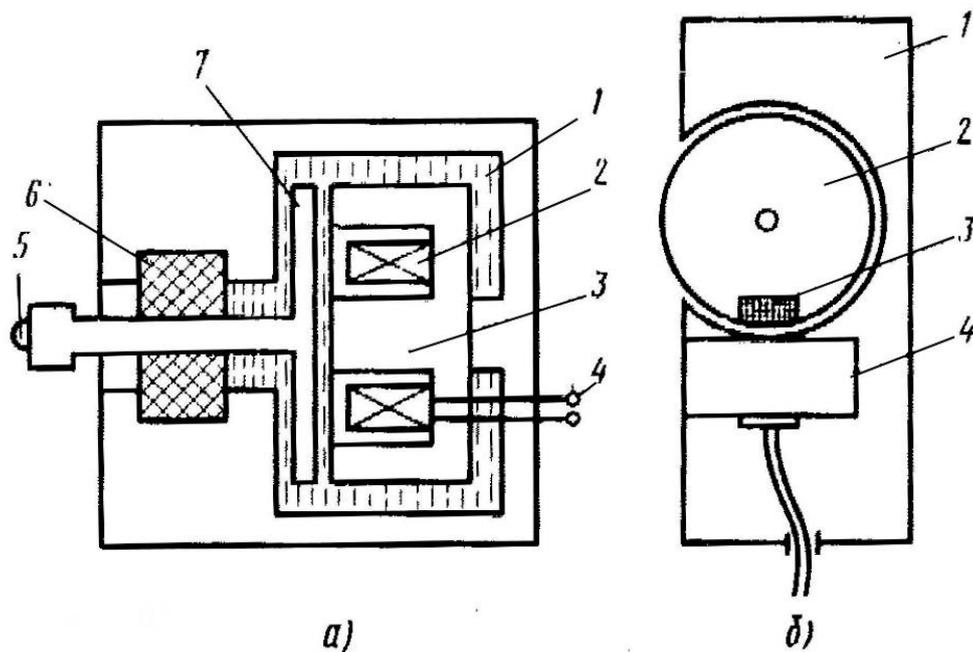


Рис. 1.28. Вихретоковый датчик проскальзывания

Преобразование сил, возникающих при физическом контакте схвата с объектом, в электрический сигнал может осуществляться силомоментными датчиками двумя путями. Первый из них заключается в **непосредственном измерении** упругих деформаций чувствительных элементов датчиков. Наиболее часто для этого применяют тензорезисторные, пьезоэлектрические и магнитоупругие датчики. Второй способ заключается в **измерении перемещений калиброванных пружин** датчика, деформируемых под действием измеряемой величины в процессе контакта схвата с объектом. При этом используют емкостные и электромагнитные (главным образом индуктивные) датчики. Измерение упругих деформаций с помощью **тензорезисторных** датчиков – наиболее распространенный метод. Полупроводниковые и металлические тензорезисторы имеют широкую номенклатуру, что позволяет использовать их в тактильных и силомоментных датчиках. В основе работы тензорезисторов лежит явление тензоэффекта, заключающееся в изменении активного сопротивления проводников при их механической деформации. В известной формуле для величины сопротивления проводника $R=(\rho \cdot l)/S$, где ρ – удельное электрическое сопротивление материала, S – площадь поперечного сечения при возникновении механических деформаций могут изменяться все три параметра (ρ , l и S).

Тензорезисторы представляют собой решетку из проволоки или фольги (рис. 1.29), наклеенную на специальную подложку, которая, в свою очередь наклеивается на упругий элемент, деформации в котором исследуются. Тензорезисторы имеют простую конструкцию, легко монтируются на упругих элементах тактильных или силомоментных датчиков.

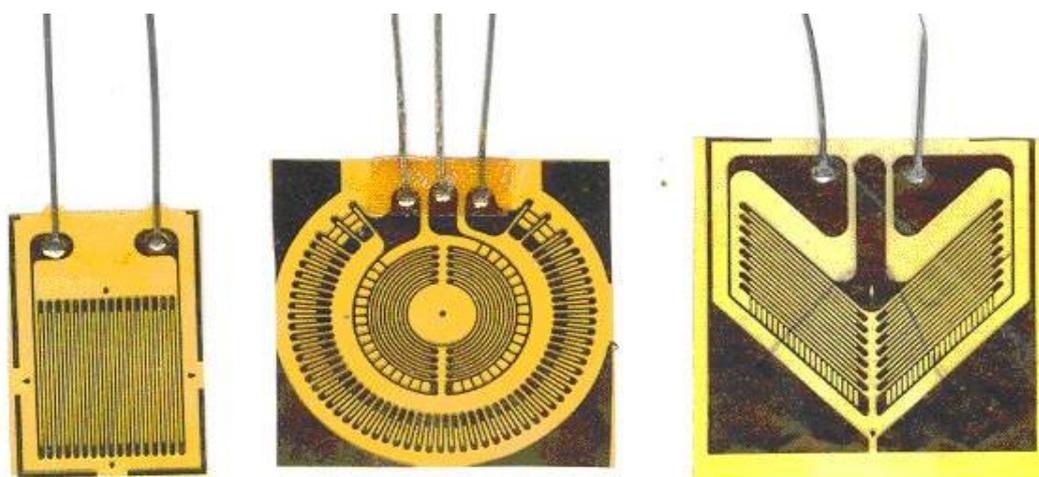


Рис. 1.29. Виды тензорезисторов

Одна из наиболее распространенных и давно применяемых конструкций упругого элемента трехкомпонентного тензорезистивного датчика – крестообразный упругий элемент (рис. 1.30).

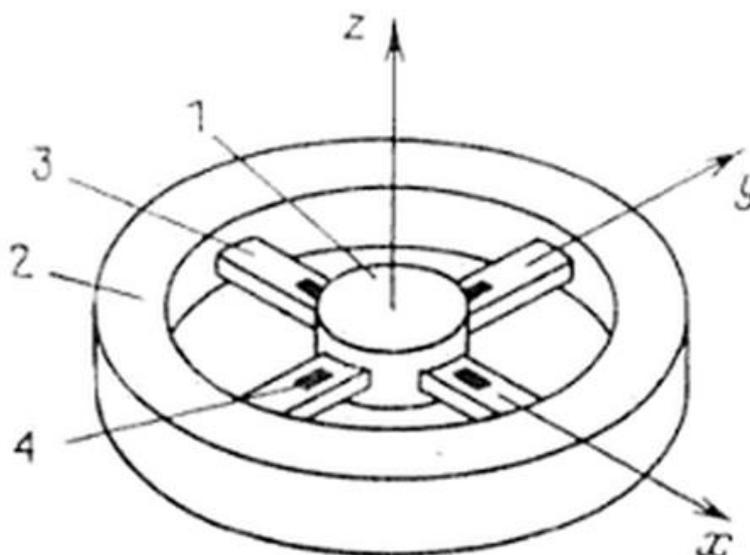


Рис. 1.30. Крестообразный упругий элемент

Два жестких фланца, внутренний 1 и внешний 2, соединены посредством четырех упругих балок 3. Четыре пары тензорезисторов 4, наклеенных на противоположные грани каждой балки, включены в четыре полумоста. Такой датчик чувствителен к осевому усилию F_z и двум боковым моментам M_x и M_y , действующим в плоскости датчика. Внешний вид тензодатчика представлен на рис. 1.31.



Рис. 1.31. Внешний вид тензодатчика

Датчик оснащен 4 тензорезисторами, включенными по мостовой схеме. Максимальное измеряемое усилия 20 кН, класс точности 0,5, рабочая температура: $-10... +70$ °С, перегрузочная способность 1000%. Основным недостатком тензорезистивных датчиков является низкая чувствительность. Тензочувствительные элементы выполняются также на основе легированного кремния. Чувствительность полупроводниковых тензодатчиков гораздо выше, чем проволочных или фольговых, однако они обладают меньшей температурной стабильностью. Для непосредственного измерения упругих деформаций могут быть использованы также **пьезоэлектрические** датчики, действие которых основано на измерении заряда, пропорционального внутренним механическим напряжениям растяжения-сжатия или сдвига, вызванными измеряемым усилием. Типичные датчики усилия представляют собой кварцевые или пьезокерамические шайбы, установленные в цилиндрическом корпусе. Силораспределительный элемент обеспечивает равно-

мерное распределение измеряемой нагрузки по площади хрупких кварцевых или керамических шайб, что предохраняет их от возможного растрескивания и позволяет увеличить диапазон измеряемых усилий. При приложении (или снятии) механического усилия на плоских поверхностях шайб образуются электростатические заряды. Кварцевые датчики, хотя и менее чувствительны, чем пьезокерамические, обладают высокой стабильностью свойств.

Пьезоэлектрический акселерометр ВТК1 фирмы «Пьезо» (рис. 1.32) обладает следующими параметрами.

Таблица 1.1 - Основные параметры датчика ВТК 1

Диапазон измерения виброускорений, мс^{-2}	0.5 ... 1400
Диапазон частот, Гц	5 ... 30000
Максимальное значение неразрушающего удара, g	
Диапазон рабочих температур, °С	- 60+ 250
Дополнительная погрешность, вызванная изменением температуры окружающей среды $\%/^{\circ}\text{C}$, не более	0,1
Емкость датчика, пФ	
Сопротивление изоляции при 20°С, Ом	10^{13}
Габаритные размеры, мм	Ø22 x 27
Масса датчика (без кабеля), г	
Пьезоэлектрический материал	тип 850, APC



Рис. 1.32. Пьезоэлектрический акселерометр ВТК1

Достоинствами пьезодатчиков являются простота конструкции, малые размеры, надежность в работе, прекрасные динамические свойства, способность работать при высоких температурах (до 250°C). Погрешность пьезоэлектрических датчиков – до 1 %. К тому же пьезоэлектрические датчики являются генераторными, т. е. к ним не нужно подавать питающее напряжение. Однако заряды на чувствительных элементах пьезоэлектрического датчика образуются только при изменении измеряемого усилия. Если это усилие некоторое время остается постоянным, заряды достаточно быстро стекают даже через большое сопротивление изоляции. Это является основным недостатком пьезоэлектрических датчиков. Поэтому их целесообразно использовать в тактильных системах, которые регистрируют факт наличия касания и мгновенное значение контактной силы, а также для измерения динамических усилий и вибраций. Работа магнитоупругих датчиков основана на эффекте магнитоупругости, заключающемся в изменении магнитной проницаемости ферромагнитного материала под действием механических напряжений. На рис. 1.33 схематически показан наиболее распространенный вариант конструкции магнитоупругого датчика - магнитоанизотропный датчик.

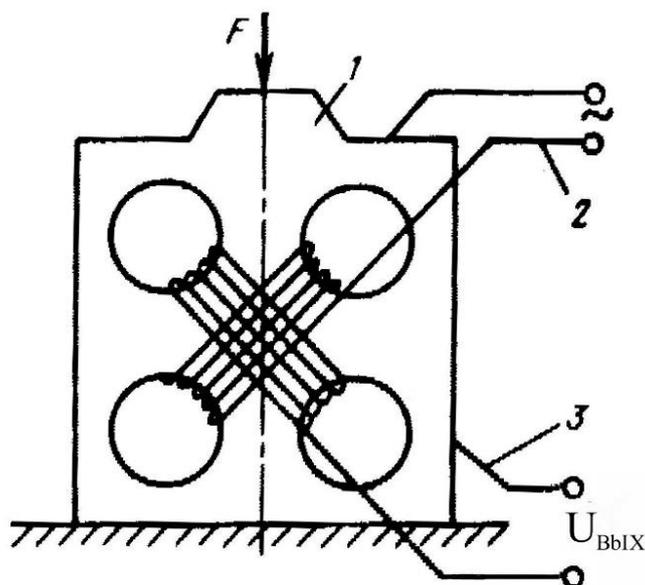


Рис. 1.33. Магнитоанизотропный датчик

В магнитопроводе из ферромагнитного материала, обладающего достаточной магнитоупругой чувствительностью, имеются 4 сквозных отверстия, через которые намотаны первичная обмотка 2, питаемая переменным током повышенной частоты, и вторичная (измерительная) обмотка 3. Плоскости обмоток образуют между собой угол 90° , а с направлением измеряемого усилия F – угол 45° . При отсутствии измеряемого усилия вектор магнитного потока, создаваемого первичной обмоткой, перпендикулярен плоскости витков вторичной обмотки, силовые линии этого потока не пересекают витков обмотки 3, поэтому наводимая в ней ЭДС равна нулю. При приложении измеряемого усилия F (показано стрелкой) в материале магнитопровода возникают механические напряжения, направленные вдоль вертикальной оси. Это вызывает появление магнитной анизотропии (т. е. различных магнитных свойств материала вдоль направления действия измеряемого усилия и поперек него: например, в вертикальном направлении магнитное сопротивление магнитопровода немного возрастает). Магнитный поток Φ стремится замкнуться по пути с меньшим магнитным сопротивлением, благодаря чему вектор Φ слегка поворачивается по часовой стрелке, и часть силовых линий начинает пересекать витки вторичной обмотки. Это приводит к появлению в ней ЭДС e_2 , пропорциональной измеряемому усилию.

В емкостных, электромагнитных (гл. образом индуктивных) и оптических датчиках часто используется предварительное преобразование измеряемой величины в перемещение калиброванной пружины. Емкостные датчики используют зависимость емкости конденсатора от изменения его параметров под действием измеряемой величины. В качестве емкостного преобразователя широко используют плоский конденсатор, емкость которого описывается известной формулой $C = \epsilon_0 \epsilon S / \delta$, где ϵ_0 – диэлектрическая постоянная вакуума ($8,85 \cdot 10^{-12}$ Ф/м), ϵ – относительная диэлектрическая проницаемость среды между обкладками конденсатора, S – площадь обкладки, δ – расстояние между обкладками. Измеряемая неэлектрическая величина может быть функционально связана с любым из этих параметров. Внешний вид емкостного датчика перемещения показан на рис. 1.34.



Рис. 1.34. Вид емкостного датчика перемещения

Потребность во все более легких и простых конструктивных решениях вызвала появление интегрированных узлов, например, подшипников со встроенными датчиками для регистрации количества оборотов, частоты вращения, направления вращения, относительного положения, величины ускорения. Такие подшипники (рис. 1.35) являются мехатронными компонентами машин, созданными на грани инженерных исследований в области датчиков и подшипников. Корпус датчика, сенсорное кольцо и подшипник механически соединены друг с другом и формируют единый, готовый к установке узел. Подшипники со встроенным датчиком SKF специально предназначены для работы в качестве шаговых шифраторов, дающих информацию для управления работой двигателей различных механизмов.



Рис. 1.35. Пример конструкции подшипника со встроенными датчиками

1.4. Системы управления и приводы мехатронных и робототехнических устройств

Задача управления мехатронным и робототехническим устройством состоит в исполнении желаемого движения рабочего органа, который целенаправленно действует на объект работ, испытывая при этом со стороны внешней среды возмущающее воздействие. Следовательно, в общем случае объектом управления в мехатронике является сложная многосвязная система, в состав которой входят:

- комплекс исполнительных приводов;
- механическое устройство с рабочим органом;
- блок сенсоров;
- объект работ, с которым взаимодействует рабочий орган.

При этом отдельные блоки и устройства могут быть интегрированы в мехатронные модули. Включение в рассмотрение процесса взаимодействия рабочего органа и внешних объектов (например, для операций сборки, механообработки, водоструйной резки) позволяет организовать технологически ориентированный процесс управления, учитывающий характер и специфику данного взаимодействия в конкретно поставленной задаче. Указанная структура объекта управления определяет требования и постановку задачи управления мехатронными системами рассматриваемого класса. Очевидно, что воспроизведение заданных движений мехатронными модулями и роботами основывается на выполнении классических требований теории управления: устойчивости, точности и качества процесса управления. Однако дополнительно необходимо учитывать следующие специфические особенности мехатронных систем:

1. Движение рабочего органа как конечного управляемого звена обеспечивается взаимосвязанными (кинематически и динамически) перемещениями нескольких исполнительных приводов и звеньев механического устройства.

2. Задача управления мехатронной системой должна быть решена в пространстве (т. е. найдены оптимизированные траектории движения всех звеньев, включая рабочий орган) и во времени (т. е. определены и

реализованы желаемые скорости, ускорения и развиваемые усилия для всех приводов системы).

3. Для многих технологических задач параметры внешних и возмущающих воздействий, приложенных к рабочему органу и отдельным мехатронным модулям, заранее не определены.

4. Сложность построения адекватных математических моделей мехатронных систем традиционными аналитическими методами (особенно прецизионных многосвязных систем, включающих динамическую модель технологического процесса).

Структурно мехатронные и робототехнические системы являются многомерными и многосвязными системами. Размерность задачи управления в мехатронике определяется числом независимо управляемых приводов системы. В случае общего механизма исходно задается желаемое движение рабочего органа, а реализуется оно совокупными перемещениями всех звеньев.

Отсюда возникают специальные математические, алгоритмические и технические задачи управления. Для планирования заданного движения мехатронной системы необходимо решить обратную задачу о положении механизма. Суть данной задачи состоит в определении требуемых перемещений звеньев системы по заданному закону движения рабочего органа. Проблемным является вопрос организации обратных связей при управлении многосвязными мехатронными системами. Технически наиболее просто устанавливать датчики положения и скорости в приводных модулях. Однако затем необходимо вычислить в реальном времени фактическое перемещение рабочего органа. Причем этот компьютерный расчет требует построения адекватной динамической модели системы с учетом весьма сложных для аналитической оценки факторов:

- всех действующих сил (управляющих моментов приводов, сил трения и диссипации, внешних сил и моментов, центробежных и кориолисовых сил);
- первичных погрешностей системы (упругих деформаций звеньев, люфтов в механических передачах, погрешностей изготовления

и сборки, узлов), которые определяют ее интегральные точностные характеристики в текущей конфигурации;

- переменных параметров объекта управления (приведенных моментов инерции и масс механизма и нагрузки).

Поэтому наилучшим вариантом с точки зрения достоверности получаемой информации о фактическом движении является установка датчиков непосредственно на рабочий орган. Примерами такого подхода могут служить:

- применение систем технического зрения для определения положения рабочего органа и объектов в рабочей зоне (например, на сборочных операциях);

- установка силомоментных датчиков в запястье манипулятора для измерения действующих сил на операциях механообработки;

- использование блоков акселерометров для определения линейных ускорений непосредственно рабочего органа при быстрых транспортных перемещениях.

- повышенные показатели гибкости, робастности и точности управления.

В современных мехатронных системах выделяются четыре уровня управления: интеллектуальный, стратегический, тактический и исполнительный (рис. 1.36). **Интеллектуальный уровень** – высший уровень управления в системе. Назначение этого уровня – принятие решений о движении механической системы в условиях неполной информации о внешней среде и объектах работ. Например, рассмотрим ситуацию, когда мобильный робот при движении в трубопроводе получает информацию от системы технического зрения о наличии препятствия. Возможные следующие постановки задачи движения:

- остановить движение и вернуться в исходную позицию;
- определить тип и характеристики препятствия и убрать обнаруженный объект;
- продолжить исполняемое движение, игнорируя наличие внешнего объекта.

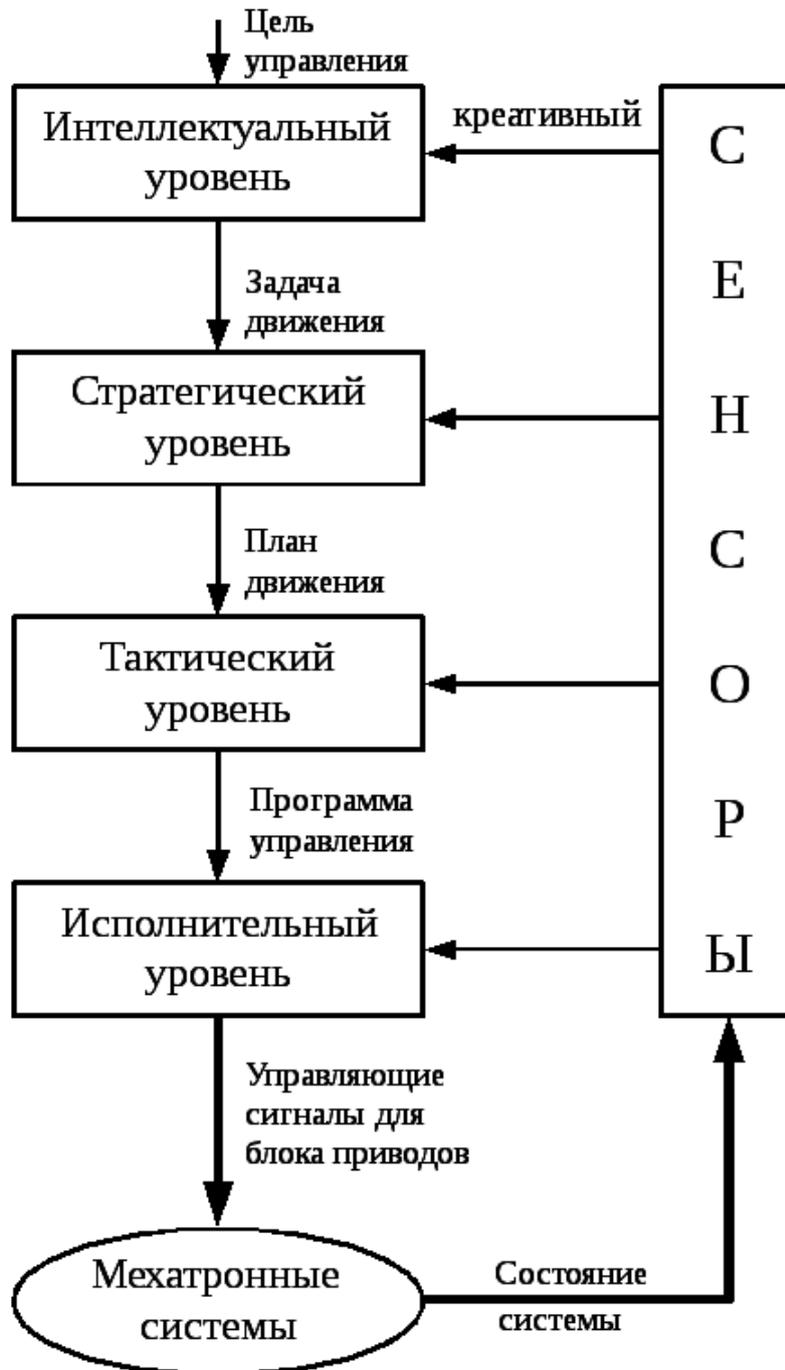


Рис. 1.36. Уровни управления в мехатронных системах

Функции интеллектуального уровня в современных мехатронных системах обычно выполняет человек – оператор либо мощный компьютер верхнего уровня управления. *Стратегический уровень* управления предназначен для планирования движений мехатронной системы. Планирование движений предполагает разбиение задачи движения, поставленной интеллектуальным уровнем, на последовательность согла-

сованных во времени элементарных действий и формализацию целей управления для каждого из этих действий. Примерами элементарных действий мобильного робота может служить:

- вывод рабочего органа в заданную позицию;
- захват предмета;
- тестовое движение для определения сил реакции со стороны объекта;
- транспортировка объекта и возвращение робота в исходную позицию.

Формализация целей управления означает, что для каждого из элементарных действий должны быть записаны математические соотношения, выполнение которых обеспечивает успешное выполнение действия. Для технологических роботов на стратегическом уровне решается задача геометрического планирования движения рабочего органа. Стратегический уровень выдает информацию о плане движения и целях управления в форме команд управления движением. Важно подчеркнуть, что структура и форматы языков управления движением существенно отличаются от универсальных языков программирования (типа C++, Паскаль и т. п.), хотя отдельные операторы могут совпадать (например, операторы задания цикла и логические функции). **Тактический уровень** выполняет преобразование команд управления движением, поступающих со стратегического уровня управления, в программу управления, которая определяет законы согласованного движения во времени всех звеньев механического устройства с учетом технических характеристик блока приводов (в первую очередь ограниченный на обобщенные скорости, ускорения и силы).

На тактическом уровне необходимо определить обобщенные координаты манипулятора, которые соответствуют желаемым декартовым координатам характеристической точки схвата. Для этого должна быть решена обратная задача о положении манипулятора. Для управления скоростью движения программа управления строится как результат решения обратной задачи о скорости рабочего органа. Для реализации данных алгоритмов устройство компьютерного управления должно выполнять в реальном времени следующие основные функции:

- прием информации от стратегического уровня в форме команд управления движением;
- прием и обработку информации от датчиков положения манипулятора о текущей конфигурации для расчета элементов матрицы Якоби;

- обращение матрицы Якоби;
- умножение обратной матрицы Якоби на вектор-столбец программной скорости рабочего органа;
- выдачу программы управления на исполнительный уровень.

Исполнительный уровень управления предназначен для расчета и выдачи управляющих сигналов на блок приводов мехатронной системы в соответствии с программой управления с учетом технических характеристик силовых преобразователей. Для иерархических систем управления в мехатронике действует принцип, согласно которому по мере продвижения от высших к низшим уровням управления понижается интеллектуальность системы, но повышается ее точность. При этом под «интеллектуальностью» понимается способность системы приобретать специальные знания, позволяющие уточнить поставленную задачу и определить пути ее решения, а под «неточностью» – неопределенность в операциях по решению данной задачи.

Контроллеры движения являются устройствами управления исполнительного уровня согласно принятой иерархии управления движением мехатронных систем. Назначение устройства управления состоит в обеспечении заданных требований по устойчивости, точности и качеству переходных процессов в системе при достижении цели управления движением, которая поступает с тактического уровня управления. При этом необходимо учитывать специфику мехатронных объектов управления. Структурная схема системы управления движением, реализуемая типовым контроллером, представлена на рис. 1.37.

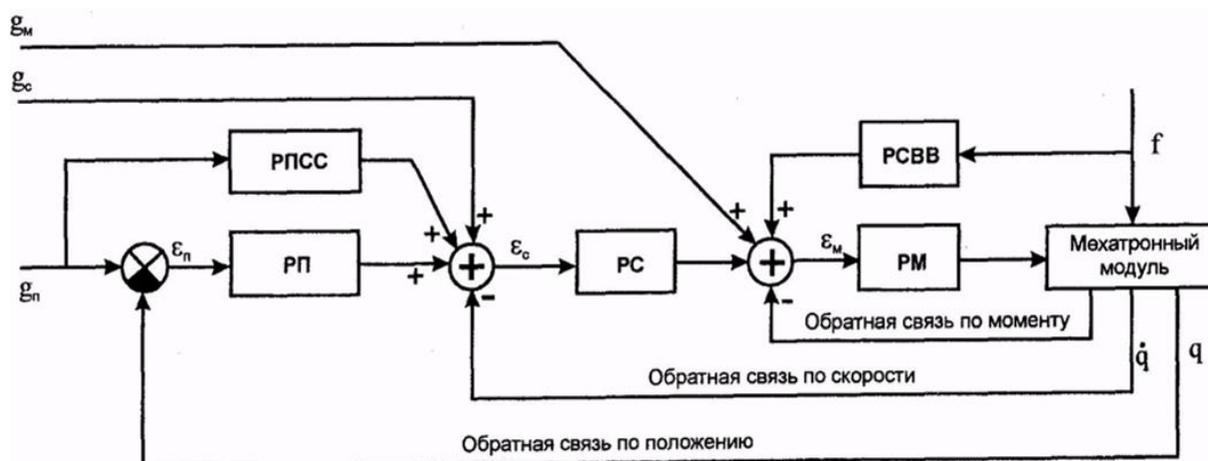


Рис. 1.37. Структурная схема системы управления движением

В состав системы входят пять основных регуляторов: регулятор положения (РП), регулятор скорости (РС), регулятор момента сил или силы (РМ), регулятор прямой связи по скорости изменения управляющего воздействия (РПСС) и регулятор корректирующей связи по возмущающему воздействию (РСВВ). Входными воздействиями для системы могут быть в зависимости от поставленной цели управления управляющие сигналы по положению q_p , скорости q_c , либо по развиваемому усилию q_m . В системе реализуется принцип замкнутого управления, что предусматривает наличие соответствующих обратных связей по фазовым координатам системы. Наиболее общим является алгоритм ПИД-регулирования. Традиционный подход предусматривает, что структура и коэффициенты всех корректирующих устройств определяются при проектировании системы и далее остаются фиксированными в процессе ее эксплуатации. В современных системах управления вид и параметры регуляторов автоматически модифицируются в зависимости от цели конкретного движения и условий, в которых оно фактически осуществляется. Это позволяет адаптировать (приспособить) движение мехатронной системы к начальной неопределенности и изменяющимся условиям работы. Адаптивная настройка регуляторов необходима, если введенные отрицательные обратные связи в исполнительных приводах не способны парировать влияние возмущающих воздействий и изменения параметров (и, возможно, структуры) объекта управления, которые вызывают недопустимое снижение показателей качества управляемого движения. Адаптивные регуляторы по сравнению с традиционными имеют существенно более сложную структуру и техническую реализацию, их проектирование требует решения целого ряда теоретических проблем управления. На рис. 1.38 показан один из часто используемых в исполнительных приводах вариантов адаптивного управления, где параметры регулятора настраиваются управляющим компьютером по эталонной модели. Эталонная модель показывает идеальную желаемую реакцию системы на задающий сигнал $g(t)$. В качестве эталонной модели применяют типовые звенья систем автоматического управления (например, апериодическое звено). Параметры ПИД-регулятора настраиваются так, чтобы минимизировать рассогласование между выходом модели и реальной си-

стемы. Задача контура настройки состоит в том, чтобы свести это рас-
согласование к нулю за определенное время с гарантией устойчивости
переходного процесса.

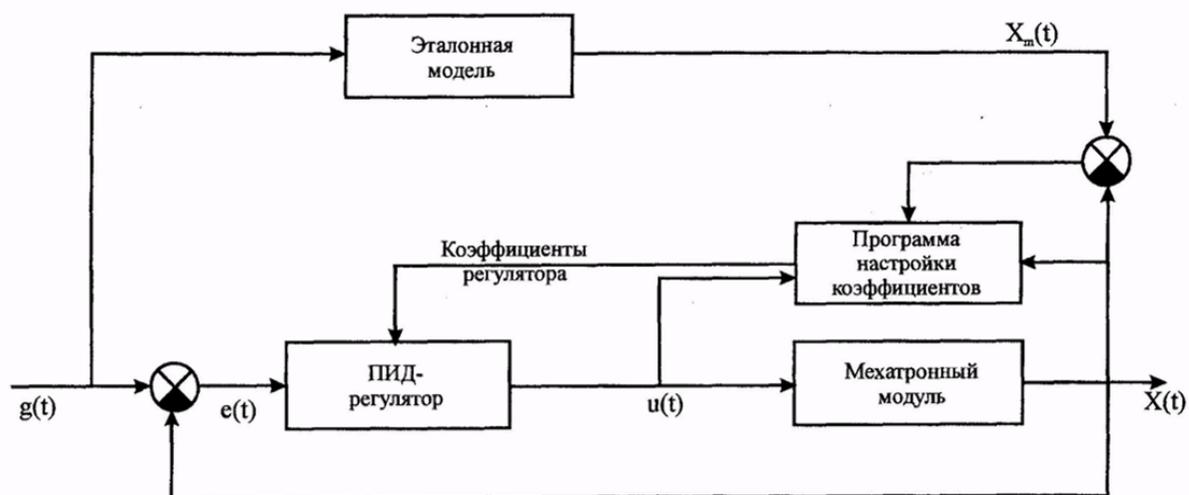


Рис. 1.38. Блок-схема адаптивной системы с эталонной моделью

Управляющий компьютер для реализации адаптивного управления по данной схеме должен в реальном времени решать следующие задачи:

- формировать задающий сигнал для управляемой системы;
- рассчитывать идеальную реакцию по эталонной модели;
- вычислять коэффициенты регулятора в соответствии с программой настройки, определять текущую ошибку и выдавать сигнал управления на вход мехатронного модуля.

Помимо рассмотренной блок-схемы с эталонной моделью известны и другие методы автоматической настройки параметров и структуры регуляторов, например, нечеткий регулятор. Методологической основой для проектирования нечетких регуляторов является концепция нечеткой логики. В основе стандартных современных компьютеров лежит логика «четкого мира». Они работают только с двумя базовыми логическими переменными «Да» и «Нет» и детерминированными числовыми данными, поэтому свойства этого мира описываются

совокупностями нулей и единиц. Однако на практике очень часто приходится иметь дело с неопределенными, нестрогими свойствами объектов и процессов, которые не могут быть формализованы в понятиях «четкого мира». Общий смысл этих понятий нам очевиден, но сделать однозначный вывод о принадлежности конкретного объекта к данному множеству только с помощью слов «Да» и «Нет» зачастую затруднительно, необходимо узнать мнение нескольких экспертов. Английское слово «fuzzy», буквально означающее «ворсистый», «пушистый» – специальный термин, определяющий свойство тканей. Рисунок ворсистой ткани кажется нам размытым, нечетким, неясно очерченным, что соответствует образам «нечеткого мира». Целесообразность применения методов нечеткой логики при управлении мехатронными системами обусловлена особенностями постановки задач управления, которые заключаются в априорной неопределенности возмущающих воздействий, переменности параметров мехатронных объектов управления и в сложности построения аналитических моделей систем. Характерно, что теория нечетких множеств была предложена проф. Л. Заде именно для решения проблем управления сложными техническими системами.

Структурная схема нечеткого регулятора с параметрической адаптацией приведена на рис.1.39. Нечеткий контроллер функционирует на основе экспертной базы знаний и выполняет следующие основные операции:

- преобразование данных о переменных состояния системы в нечеткую форму (операция фазификации), хранение и обработка нечеткой информации;
- выполнение нечетких выводов по лингвистическим правилам управления, заложенным в базу знаний;
- перевод нечетких переменных в четкое представление для управления системой (операция дефазификации).

Для математического представления нечеткой информации используются нечеткие множества, состав объектов которых зависит от мнения экспертов, цели и времени формирования множества. Состав

множества задается с помощью функций принадлежности, имеющих вероятностный характер. Так, выражение $m_A(X) = C$ означает, что элемент A принадлежит множеству X с вероятностью C .

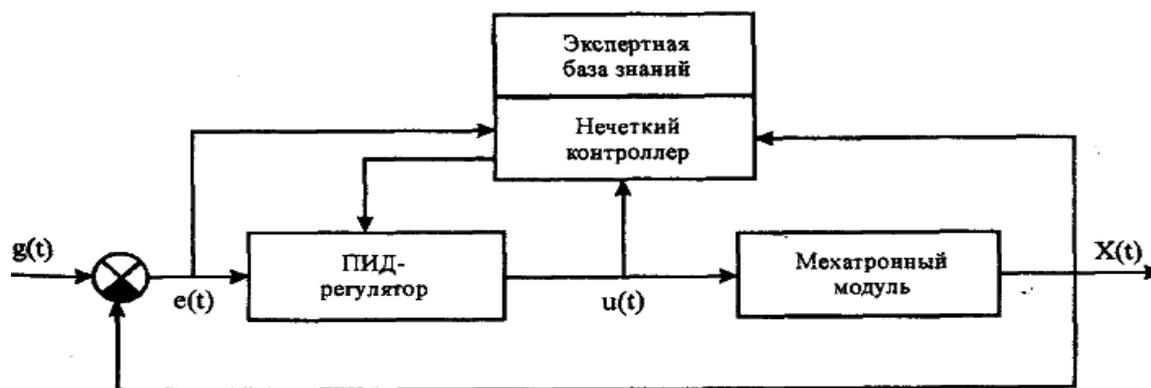


Рис. 1.39. Блок-схема нечеткого регулятора

Функции принадлежности допускают графическую интерпретацию, при этом по оси ординат может откладываться как числовая, так и лингвистическая переменная, причем возможно как непрерывное, так и дискретное представление функции.

В работах, посвященных синтезу систем управления, рассматривается влияние на процесс управления таких фундаментальных ограничений как насыщение, ограничение скорости нарастания входного сигнала, ограниченность полосы пропускания и других. Техника синтеза систем с подобными ограничениями хорошо известна и не является предметом рассмотрения в настоящей работе. В тоже время требование обеспечения высокой плавности и точности, то есть качества движения при выполнении лазерных операций резки или сварки накладывает технологические ограничения на величину скорости и ускорения движения рабочего инструмента в особенности при перемещении по криволинейным траекториям. Несмотря на то, что контурная скорость движения задается программно, целесообразно ввести в структуру привода жесткое ограничение её величины, настраиваемое для каждой операции, ввиду требования гарантированного качества вы-

полнения операции, а также величины ускорения при желательном монотонном характере переходных процессов в манипуляционной системе. Учитывая, что ограничение ускорения является (при постоянных инерционных параметрах) по существу ограничением динамической силы или момента, примем в качестве фундаментальных ограничений на механическую характеристику движения звеньев манипулятора, приведенные на рис. 1.40.

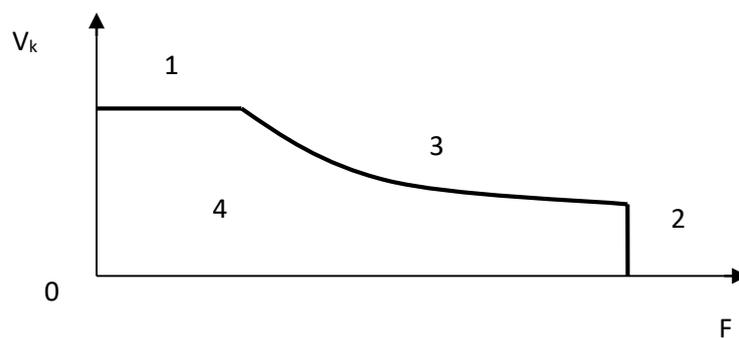


Рис 1.40. Фундаментальные технологические ограничения

На рис. 1.40 обозначено: 1 — ограничение максимальной контурной скорости; 2 — ограничение максимального усилия; 3 — кривая максимальной мощности; 4 — рабочая область; V_k и F — контурная скорость и усилие, развиваемое в приводе перемещения звена манипулятора.

Для обеспечения траекторного движения манипулятора требуется регулируемый электропривод, построенный на базе двигателя постоянного или переменного тока. Учитывая, что в современных технических системах отдается предпочтение переменному току, остановимся на приводе переменного тока, хотя в данном случае этот вопрос не носит принципиальный характер. Современные электроприводы переменного тока, построенные на базе асинхронных или синхронных двигателей и снабженные быстродействующими контроллерами, обладают высоким быстродействием, хорошими регулировочными свойствами и широкими возможностями настройки большого числа параметров. Для асинхронных и синхронных двигателей используют фазовое частотное или векторное (датчиковое или бездатчиковое) токовое

перегрева и перегрузок, а исполнительные двигатели (по желанию заказчика) – встроенными вентиляторами и электромагнитными фрикционными тормозами, служащими для фиксации вала в положениях статического равновесия и аварийном исчезновении питания.

1.5. Структура и состав роботизированных технологических комплексов

Роботы, применяемые в промышленности, получившие наименование промышленные роботы (ПР), подразделяются на технологические, которые выполняют основные технологические операции, и вспомогательные, занятые на вспомогательных операциях по обслуживанию основного технологического оборудования. Комплексы с такими роботами называются роботизированными – роботизированные технические комплексы (РТК). Классификации соответствующих РТК, сложившейся в машиностроении и приборостроении и основанной на следующих основных признаках:

- тип производственного подразделения;
- степень изменения производства, связанная с применением ПР;
- вид технологического процесса;
- количество выполняемых технологических операций;
- тип и количество используемого основного технологического оборудования;
- тип и количество используемых ПР;
- серийность и номенклатура продукции;
- компоновка комплекса;
- принцип управления комплексом;
- степень участия (функции) человека в комплексе.

В табл. 1.2 представлена общая классификация технологических комплексов применительно к машиностроению, основанная на перечисленных выше признаках.

Таблица 1.2 - Классификационные признаки и соответствующие им основные типы технологических комплексов с роботами

№ п/п	Признак	Наименование
1.	Тип подразделения	технологическая ячейка участок линия цех
2.	Степень изменения производства, связанная с применением ПР	Для вновь создаваемого производства: с принципиально новой технологией с новым технологическим оборудованием Для модернизируемого производства: с изменением технологии с модернизацией оборудования с созданием новых ПР
3.	Вид технологического процесса	Комплекс: механообработки холодной штамповки ковки литья прессования пластмасс термической обработки сварки транспортный контроля и испытаний и т.д.
4.	Тип и количество технологического оборудования	С выполнением основных технологических операций: технологическим оборудованием ПР их комбинацией
5.	Серийность и номенклатура продукции	С определенным размером выпускаемых партий продукции без переналадки комплекса С определенным перечнем видов (типов) выпускаемой продукции
6.	Компоновка комплекса	С компоновкой: линейной круговой линейно-круговой по площади объемной
7.	Тип управления	С управлением: централизованным децентрализованным комбинированным
8.	Участие человека	С участием человека: в выполнении технологических операций основных вспомогательных основных и вспомогательных

Тип производственного подразделения. Здесь классификационным признаком служит количество выполняемых технологических операций. Простейшим типом, который лежит в основе более крупных комплексов, является *технологическая ячейка* (ТЯ). В ней выполняется всего одна основная технологическая операция (помимо вспомогательных). При этом количество единиц технологического оборудования и ПР в составе ТЯ не регламентируется. В частности, в ТЯ может совсем отсутствовать технологическое оборудование помимо ПР, когда основную операцию выполняет ПР, или, наоборот, могут отсутствовать самостоятельные ПР, когда последние объединены с основным технологическим оборудованием. Следующим более крупным комплексом является *технологический участок* (ТУ). Он характеризуется тем, что здесь выполняется несколько технологических операций, которые объединены технологически, конструктивно (оборудованием) или организационно (управлением). Эти операции могут быть одинаковыми или различными. Если различные операции технологически последовательно связаны, то такой участок представляет собой *технологическую линию* (ТЛ).

Классификация технологических комплексов по степени изменения производства, связанного с применением ПР. Такое изменение, очевидно, будет максимально для создаваемых новых производств, основанных на новых технологиях и минимально для действующего производства, автоматизируемого на базе серийных ПР. Классификация по виду технологического процесса не исчерпывает перечень последних, а включает только типовые для современного состояния областей применения ПР в машиностроении. Классификация по типу и количеству используемого основного технологического оборудования. Здесь выделены два уже названных выше основных варианта: когда ПР выполняют основные технологические операции (сборку, сварку, окраску и т.д.) или – вспомогательные по обслуживанию основного технологического оборудования. Серийность и номенклатура продукции определяется в данном случае объемом партий продукции, которые можно изготавливать без переналадки комплекса, а номенклатура – широтой перечня выпускаемых видов (типов) продукции. Оба эти показателя

имеют существенное влияние на эффективность применения ПР. В частности, каждый технологический комплекс характеризуется предельными значениями этих параметров, вне рамок которых данный комплекс оказывается экономически невыгодным вплоть до целесообразности перехода от гибких комплексов к специальным автоматам (при большой серийной и узкой номенклатуре) или даже к использованию рабочих вместо ПР (в противоположном случае предельно единичного производства).

В классификации по типу размещения технологического оборудования и ПР приведены основные (базовые) типы компоновок. При простой линейной компоновке оборудование располагается в один ряд (по линии), а при наиболее сложной объемной компоновке – на нескольких этажах (уровнях). Классификация по типу управления включает рассмотренные выше централизованное, децентрализованное и комбинированное управления. Централизованное управление осуществляется устройством группового управления. Децентрализованное управление реализуется с помощью совокупности местных устройств управления, связанных друг с другом с целью взаимной координации. Классификация по степени участия человека включает два случая участия человека в работе: когда человек непосредственно выполняет некоторые технологические операции (основные или вспомогательные) и когда он участвует в управлении комплексом.

Исходя из большого многообразия применения роботов в промышленном производстве, в качестве конкретных примеров приведем примеры применения РТК в производстве автомобилей на предприятиях ОАО «АВТОВАЗ».

На рис. 1.42. представлен вид РТК дуговой сварки панели приборов. РТК оснащен поворотными столами и кантователями с электромеханическим приводом поперечины панели приборов, для ручной сборки и автоматической дуговой сварки поперечины панели приборов с кронштейнами в сборе. Сварка осуществляется в среде углекислого газа с периодической зачисткой и смазкой горелки через заданное число циклов. Проект был выполнен по всем мировым стандартам с

учетом промышленной безопасности и эргономики. РТК состоит из четырех постов, на которых задействованы семь роботов TUR-15 с современным навесным сварочным оборудованием. Единственная ручная операция – закладка свариваемых деталей. Пост 1 состоит из промышленного робота TUR-15 с комплектом автоматической сварки и поворотного стола с электромеханическим приводом, который имеет пневматический фиксатор для контроля положения. Положение фиксатора (нижнее и верхнее) определяется двумя конечными выключателями. На поворотном столе смонтированы две плиты с фиксирующей оснасткой для сборки свариваемых деталей. Для распознавания плит установлены два конечных выключателя. Робот в исходном положении контролируется стойкой с конечным выключателем.



Рис. 1.42. Вид РТК дуговой сварки панели приборов

Посты 2–4 имеют одинаковый состав, включающий два робота TUR-15, оснащенных комплектами автоматической сварки, и два кантователя с электромеханическими приводами и блочными выключателями, на которых установлены рамы с фиксирующей оснасткой. Посты имеют ограждения, которые являются комплексной системой безопасности от травмирующих факторов исполнительных узлов РТК, а также защищают от воздействия электрической дуги. Ограждения состоят из типовых секций-рамок с проволочной сеткой, стоек, калитки с датчиком контроля, брызгозащитных экранов и светового барьера в зоне загрузки-выгрузки. Поперечина панели приборов – довольно сложное изделие, и ВМЗ является сегодня единственным поставщиком этой детали для семейства автомобилей Lada Kalina, Chevrolet Niva и Lada Granta. Автоматическая линия контактной точечной сварки кузова, предназначенная для сборки и сварки кузова автомобиля представлена на рис.1.43.



Рис. 1.43. Автоматическая линия контактной точечной сварки кузова

Автоматическая линия оснащена 24 роботами, в том числе 20 роботами TUR-150 конструкции ВМЗ, четырьмя роботами KR180L150-2K фирмы KUKA и клещами для контактной точечной сварки, также конструкции ВМЗ.

Посты автоматической линии включают в свой состав следующие типовые конструкции:

- ГЕО-тележка – сварная рама, на которой смонтированы пневмоприжимы, ложементы и фиксаторы для автомобильных деталей с целью создания геометрии основания. Снизу рамы закреплены цепь, служащая для зацепления со звездочками мотор-редукторов, и ролики для движения по направляющим.

- Гидравлический подъемник грузоподъемностью 3 т предназначен для перемещения ГЕО-тележки. В состав подъемника входит сварная рама, на которую установлен конический мотор-редуктор со звездочкой на выходном валу.

- Стационарный стол – сварная двухуровневая металлоконструкция, на которой установлены направляющие. Для перемещения ГЕО-тележки по направляющим на верхнем уровне смонтированы два мотор-редуктора: один стационарно, другой – на откидном кронштейне. Для фиксации ГЕО-тележки в положении сварки предусмотрены откидные упоры и пневмоцилиндр дожима. На нижнем уровне для возврата ГЕО-тележки на пост также смонтирован мотор-редуктор со звездочкой на выходном валу.

В состав постов также входят роликовые столы с электромеханическим приводом, устройства для укладки и подъема скидов, переключики основания, которые имеют электромеханические приводы на перемещение между постами и подъем-опускание, а также пневмопривод зажима основания. Для безопасности работы операторов предусмотрены фотобарьеры. При этом собственно сварку выполняют напольные роботы и роботы, установленные на портале.

РТК лазерной резки объемных кузовных деталей и раскроя листового материала (металла, пластмасс и т. д.) приведен на рис 1.44.



Рис. 1.44. РТК лазерной резки объемных кузовных деталей и раскроя листового материала

Комплекс состоит из промышленного робота ПР-125, двухпозиционного поворотного стола, комплекса ограждений и электрооборудования. РТК работает следующим образом. Операторы вручную загружают заготовку детали на обе планшайбы поворотного стола, закрывают ворота ограждения и нажимают кнопку «Пуск». Робот начинает резку детали по программе. По окончании резки он возвращается в исходное положение, операторы открывают ворота, разгружают готовую деталь и загружают следующую заготовку. Далее циклы повторяются.

РТК для нанесения жидкой прокладки на корпус картера сцепления для механосборочного производства представлен на рис. 1.45.



Рис. 1.45. РТК для нанесения жидкой прокладки на корпус картера сцепления

Основным исполнительным органом РТК является программируемая рука робота TUR15 с шестью степенями свободы, установленная на подставке манипулятора. Нанесение жидкой прокладки на картер сцепления производится через клапан подачи мастики, куда мастика подается от насосной станции. Точное позиционирование паллеты вместе с заготовкой в зоне обработки, а также отсечение транспортного потока обеспечивают два гидроцилиндра устройства фиксации и подъема, установленные на сварном основании. Для дублирования работы робота TUR-15 при его отключении введен пост ручного до нанесения мастики. В пост входит ручной стопор, ложемент под картриджи и ручной пистолет с пневмоуправлением. Подача паллет с заготовками и отвод их из зоны работы робота TUR-15 производится цеховым транспортом.

Вопросы для самопроверки

1. Дайте определение термина «мехатроника».
2. Что такое мехатронный объект?
3. Каким мехатронным уровням может соответствовать технический объект? Приведите примеры.
4. Что такое «устройство»?
5. Мехатронность технических объектов, что это такое?
5. Какие основные принципы положены в основу построения мехатронных систем?
6. Какие устройства могут являться составной частью машин с компьютерным управлением движением?
7. Какие функции выполняет устройство компьютерного управления в мехатронной системе или модуле?
8. Объясните суть мехатронного подхода к проектированию.
9. Какие основные преимущества мехатронного подхода при создании машин с компьютерным управлением по сравнению с традиционными средствами автоматизации?
10. Что такое мехатронный модуль движения?
11. Приведите пример мехатронного модуля вращательного движения.
12. Приведите пример мехатронного модуля поступательного движения.
13. Какова структура мехатронного модуля движения?
14. В чем заключаются преимущества применения линейных двигателей?
15. Объясните структуру мехатронного моторшпинделя.
16. Приведите классификацию информационных устройств и систем используемых в мехатронике и промышленных роботах.
17. Приведите примеры датчиков внутренней информации устройств мехатроники и робототехники.
18. Приведите примеры датчиков внешней информации устройств мехатроники и робототехники.
19. Объясните принцип работы пьезодатчиков.
20. Назовите уровни управления в мехатронных системах.
21. Объясните типовую структуру системы управления движением.

22. Объясните структуру адаптивной системы с эталонной моделью.

23. В чем заключается особенность применения нечеткого регулятора в системах управления?

24. Приведите структуру современного электропривода переменного тока, используемого в мехатронных модулях движения.

25. Приведите классификацию роботизированных технологических комплексов.

Глава 2. ОРГАНИЗАЦИЯ И ПРОВЕДЕНИЕ МОНТАЖНЫХ РАБОТ ОБОРУДОВАНИЯ МЕХАТРОННЫХ И РОБОТОТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ

2.1. Технологическая подготовка роботизированного производства и проведение монтажных работ

Правила выбора оборудования и средств технологического оснащения, комплектующих роботизированную технологическую систему изложены в рекомендациях Р 50-54-85-88. Основное технологическое оборудование выбирают по параметру, в наибольшей степени выявляющему функциональное назначение и технические возможности данного типа оборудования. При разработке усовершенствованного технологического процесса выбор нового или сохранение действующего оборудования обусловлены увеличением объема выпуска продукции, повышением качества изделий, снижением уровня издержек, обеспечением гибкости производственного процесса, улучшением условий труда, техники безопасности и промышленной санитарии. Оборудование, входящее в состав РТС, по возможности, должно быть однотипным, так как содержание такого оборудования обходится дешевле. При проектировании новых моделей следует придерживаться принципов агрегатного построения и широкой унификации с оборудованием, действующим на предприятии. Прежде чем приступить к выбору моделей оборудования для проектируемого технологического процесса, необходимо оценить, можно ли использовать действующее оборудование в новых условиях. Должна быть проведена оценка физического состоя-

ния оборудования и его технических показателей. При списании устаревшего оборудования следует определить технико-экономическую целесообразность использования в структуре РТС его отдельных деталей и механизмов. Основное технологическое оборудование, предназначенное для выполнения конкретных операций (станки, прессы и т. д.), должно отвечать требованиям, сформулированным в ГОСТ 26.228 – 85. Выбор моделей ПР должен сопровождаться расчетом экономической эффективности его применения в конкретных условиях работы РТС. В зависимости от условий производства РТС могут комплектоваться ПР различных типов, выбранными из числа существующих моделей, или конструкциями, специально разработанными для конкретных целей. При отсутствии ПР с необходимой технической характеристикой, одновременно с заданием на РТС необходимо разработать техническое задание на проектирование и создание новой конструкции ПР. Выбор или разработка захватных устройств и инструмента, комплектующих ПР, осуществляется после разработки технологического процесса. Конструкции оснастки и вспомогательных устройств, входящих в состав РТС, разрабатывают с учетом материала, массы, формы и типоразмеров деталей; параметров и конструктивных особенностей поверхностей изделия, влияющих на конструкцию оснастки, в том числе базовых поверхностей для установки в рабочей зоне оборудования и поверхностей для захвата рукой робота; технологических схем оборудования и фиксации деталей; характеристик основного технологического оборудования; характеристик ПР или другого грузочного устройства; характера ориентации детали перед установкой ее в рабочую зону оборудования, т. е. перед захватом ее рукой ПР (желательно, чтобы на позицию загрузки заготовка приходила ориентированной соответственно ее положению в рабочей зоне оборудования); серийности производства. Технологическую оснастку выбирают в соответствии с ГОСТ 14.301-83. Порядок составления, согласования и утверждения технического задания на разработку новых конструкций технологической оснастки обусловлен ГОСТ 15.001--73. Правила выбора средств технологического оснащения процессов технического контроля обусловлены ГОСТ 14.306-73.

Анализ действующего производственного процесса. До анализа должна быть установлена характеристика данного производства, а именно:

- тип производства (массовое, крупносерийное, среднесерийное, мелкосерийное);
- организационные методы производства (поточные однопредметные и многопредметные, непоточные);
- характер перемещения деталей по технологическому процессу (непрерывный, прерывистый);
- специфические особенности данного производства (вредные условия труда, обработка специальных материалов и др.).

В результате анализа действующего производства должны быть определены:

- номенклатура деталей, обработка которых может быть осуществлена с применением ПР;
- характеристики деталей и вид заготовок;
- неиспользованные резервы и узкие места производственного процесса; выявлены потери, возникающие вследствие технических и организационных недостатков;
- состав основного технологического оборудования и технические требования по его модернизации либо замена новыми моделями оборудования;
- специфические особенности действующего производственного процесса, от которых зависит повышение его эффективности;
- пути изменения организационной структуры производства;
- пути усовершенствования технологического процесса обработки, механизации или автоматизации отдельных операций;
- средства механизации и автоматизации труда, повышающие производительность, в том числе путем применения ПР;
- число основных и вспомогательных рабочих, участвующих в производственном процессе обработки отобранной номенклатуры деталей до и после автоматизации;
- планировка и размеры производственных площадей, занимаемых оборудованием до и после автоматизации;
- методы организации и средства межстаночного транспортирования и складирования заготовок, полуфабрикатов и готовых деталей до и после автоматизации;
- методы контроля размеров и точности отобранной номенклатуры деталей до и после автоматизации;

- характеристика отходов обработки и методы их удаления до и после автоматизации.

Предложения по применению ПР должны быть обоснованы результатами анализа существующего производственного процесса и предварительной оценкой ожидаемого экономического эффекта. При подготовке заявки и разработки технического задания на создание РТС следует сформулировать конкретные цели проведения работы, указать состав роботизированной технологической системы (комплекс, участок, поточная линия, цех и т. п.), ее назначение, характер связи с основным производством (в том числе с организацией его управления и транспортными потоками) и определить источники ожидаемого экономического и социального эффекта. Анализ и отбор деталей, подлежащих обработке на РТС, производят в соответствии с рекомендациями, приведенными в ГОСТ 14.306-73. При отборе деталей следует руководствоваться также положениями, учитывающими правила обеспечения технологичности конструкции изделий, а также ГОСТ 14.324-84 ЕСТПП, определяющим правила выбора объектов роботизации. В результате отбора и группирования деталей по конструктивно-технологическим признакам, обеспечивающим типизацию технических и организационных решений в процессе производства, устанавливают детали-представители с общими для каждой из указанных групп признаками, для обработки которых требуется наибольшее количество основных и вспомогательных операций, характерных для изделий этой группы. Применительно к деталям-представителям в дальнейшем проводят анализ действующего и разработку нового технологического процесса. Анализ производственного процесса, разработка предложений по его рационализации и автоматизации операций (в том числе с помощью ПР) должны предшествовать работам по составлению заявки и технического задания на создание РТС. Анализ можно подвергнуть как весь производственный процесс в целом (от получения заготовок и способа подачи их на обработку до выпуска готового изделия), так и его составные части и даже отдельные операции. Анализ выполняют с целью выявления особенностей производства данного изделия на конкретном предприятии, выявления неиспользованных резервов и узких мест, разработки рекомендаций по повышению рентабельности производства и сокращению трудовых затрат путем рационализации, механизации и автоматизации труда (в том числе и с помощью ПР). Для

этого необходимо весь процесс расчленить на простейшие составляющие элементы и подвергнуть их всестороннему критическому анализу, в результате которого должны быть разработаны экономически обоснованные предложения по совершенствованию процесса. Анализ технологических процессов производят применительно к изготовлению деталей-представителей на основе обследования процесса на предприятии заказчика. Для облегчения техники работы и обеспечения единообразия сбора и обработки информации можно рекомендовать применение графических схем, отображающих технологические процессы обработки деталей. Каждая операция может производиться с участием или без участия рабочего (автоматически). С помощью условных обозначений, приведенных в таблице, строят графическую схему любого производственного процесса.

Монтажу систем автоматизации и роботизации должна предшествовать подготовка в соответствии со СНиП 3.01.01-85. Подготовкой производства монтажа называется разработка и осуществление взаимовязанных организационных, технических и технологических, планово-экономических и финансовых документов и мероприятий, обеспечивающих эффективное выполнение работ в установленные сроки при заданных технико-экономических показателях. На стадии подготовки производства монтажа должны быть выполнены следующие мероприятия: рассмотрена и укомплектована документация для монтажных работ; составлены накопительные ведомости на трубопроводы и металлоконструкции, материалы; оформлены заказы на изготовление конструкций и заготовок, а также задания на разработку ППР и чертежей металлоконструкций; проверена правильность сметной документации и уточнены объемы работ; разработаны, согласованы, утверждены и выданы исполнителям проекты и схемы производства работ, технологические карты и другая документация по производству, механизации и сдаче монтажных работ; составлены графики производства работ и обеспечения их материально-техническими ресурсами; обеспечение монтажных зон, участков монтажными кранами и механизмами, инструментом и приспособлениями, такелажным оборудованием и оснасткой; определен порядок поставки оборудования и его подачи в монтажную зону, установки и закрепления его на фундаментах; проведен анализ монтажной технологичности оборудования; подготовлена монтажная площадка и др. К подготовительным монтажным работам

относят: приемку и подготовку оборудования к монтажу; приемку строительной готовности монтажной зоны; предмонтажное укрупнение оборудования; установку фундаментных болтов. При приемке оборудования в монтаж проверяют: комплектность его по упаковочным листам и комплектовочно-отгрузочным ведомостям; его соответствие заводским чертежам и техническим условиям, исправность; наличие пломб. Результаты приемки оборудования в монтаж закрепляются приемосдаточным актом. Акты подписывают представители заказчика, монтажной организации и генерального подрядчика на строительство объекта, а при необходимости и завода-изготовителя. В подготовку оборудования к монтажу входят: расконсервация и очистка оборудования; ревизия его; подготовка материалов и комплектующих изделий (прокладок, сальниковых набивок, уплотняющих манжет, колец, герметизирующих составов и др.). Расконсервация - это удаление консервационных смазок, лакокрасочных и других защитных покрытий с поверхностей оборудования. При расконсервации, в зависимости от примененного метода консервации, используют соответствующие способы и материалы

Предмонтажная ревизия - это комплексная проверка состояния оборудования и устранение повреждений, вызванных хранением машин и агрегатов на складах сверх нормативных гарантийных сроков, предусмотренных техническими условиями на их изготовление и поставку. При отсутствии гарантийного срока ревизия производится через год. Предмонтажная ревизия предусматривает расконсервацию оборудования; разборку его для расконсервации и осмотр вращающихся и движущихся деталей; удаление коррозии; посторонних частиц с последующей промывкой, протиркой и консервацией обработанных поверхностей; проверку состояния (сохранности) изделий; замену антикоррозионных смазок рабочими, прокладок, сальниковых набивок и мелких деталей (подшипников, питательных трубок, масленок, пробок и т.п.); исправление мелких (неконструктивных) дефектов, шабрение посадочных мест подшипников, трущихся поверхностей, шлифование шеек и цапф валов; перемещение и кантовку оборудования, связанных с ревизией; последующую сборку оборудования.

2.2. Монтаж механических систем роботов и станков

Промышленные роботы поставляются заводу-потребителю в виде отдельных сборочных единиц, упакованных в тару. При транспортировании этих сборочных единиц необходимо учитывать руководство по эксплуатации ПР, в котором приводятся схемы разделения на сборочные единицы, методы их транспортирования и места зачаливания грузов. При распаковке ящиков, в которых размещаются отдельные части ПР, сначала снимают верхний, а затем боковые щиты. При этом следует соблюдать необходимые меры предосторожности, чтобы не повредить изделие. До распаковки узлов необходимо проверить наличие сопроводительной документации и ознакомиться с ее содержанием.

Монтаж механических систем ПР является одним из первых этапов проведения монтажных работ, который обеспечивает установку ПР в проектное положение и закрепление его на месте эксплуатации. Поскольку ПР работает в комплексе с другим оборудованием, особое внимание следует уделять точности установки ПР и сохранения его пространственного положения в процессе работы.

В зависимости от способа установки ПР подразделяются на: настольные или встраиваемые в оборудование; напольные; подвесные с расположением на портале или консольном монорельсе; с подвижным основанием; мостовые.

Наиболее просто осуществляется монтаж механических систем (манипуляторов) настольных или встраиваемых в технологическое оборудование ПР. Масса их манипуляторов не превышает 40 кг. Манипуляторы устанавливаются на кронштейне, конструкция которого определяется видом технологического оборудования и посадочными размерами манипулятора. Монтаж напольных и подвесных манипуляторов осуществляется на фундаменте. Фундаменты относятся к строительным конструкциям, поэтому допуски на их размеры значительно выше требуемой точности установки ПР. В связи с этим монтаж ПР непосредственно на фундаментах почти не производится и для достижения требуемой точности установки используются промежуточные элементы (клинья, регулировочные башмаки), устанавливаемые между

фундаментом и опорной поверхностью ПР. На конструкцию фундамента влияют масса и габариты ПР, режим их работы, характер воздействия нагрузок на фундамент (вибрация, ударные нагрузки т. п.), характер связи ПР с другим оборудованием комплекса. Фундаменты чаще всего выполняются в виде бетонных, железобетонных или кирпичных блоков. Размеры основания (площадь) определяются исходя из величины допустимого удельного давления па грунт из следующего соотношения: $S=Q/\sigma_z$ при $\sigma_z < p_d$, где S - площадь основания фундамента, m^2 ; Q -нагрузка на основание фундамента, слагаемая из массы фундамента, массы ПР с учетом максимальной грузоподъемности, H ; σ_z -давление подошвы основания фундамента на грунт, $Па$; p_d -допустимое давление на грунт (берется из справочника по механике грунтов), $Па$.

Для обеспечения требуемой точности проведения монтажных работ на фундаментах и опорных частях здания закрепляются оси и отдельные точки, определяющие положение оборудования в пространстве. Совокупность продольных и поперечных осей, высотных точек, служащих для установки и проверки положения ПР, околороботного и технологического оборудования, называется геодезическим обоснованием монтажа. Монтажные оси и высотные отметки подразделяются на рабочие и контрольные. По рабочим осям и отметкам устанавливаются и выверяются оборудование, а по контрольным контролируется положение рабочих осей и отметок относительно геодезического обоснования монтажа. Контрольные монтажные оси и отметки закрепляются на монтажной площадке с помощью плашек (положение осей) и реперов (высотные отметки). Плашки (рис. 2.1, а) должны иметь рабочую поверхность не менее $30*150$ мм. Положение оси на верхней поверхности плашки отмечается точкой, выбиваемой керном. Кернение производят с точностью $\pm 0,5$ мм. Вокруг осевой точки кернением наносится треугольник, направленный одной из вершин по оси, Репером (рис. 2.1, б) обычно служит стальной стержень с полукруглой головкой. Верхняя часть репера устанавливается на заданной высоте с точностью ± 2 мм. Дальнейшие геодезические измерения производят установкой нивелирной рейки на репер.

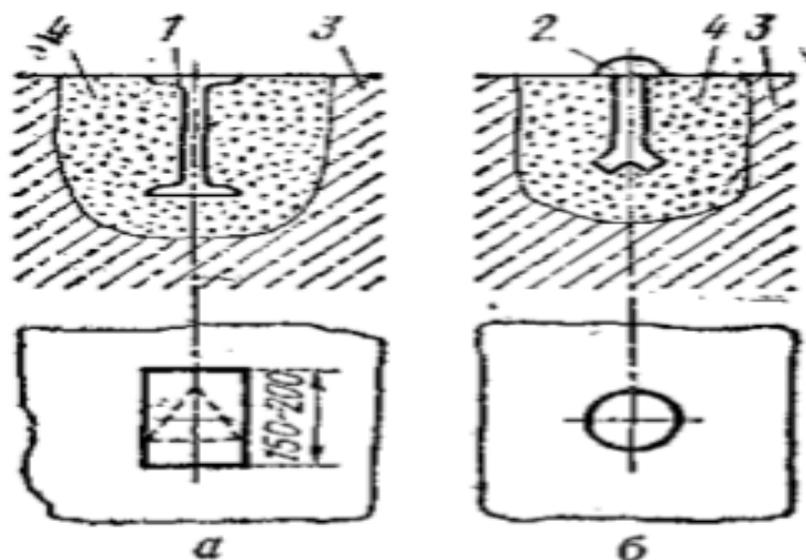


Рис. 2.1. Закрепление монтажных осей и отметок:
а - с помощью плашки, *б* – с помощью репера (1- плашка, 2 – репер,
 3 – фундамент, 4 – заливка фундамента)

Рабочие оси и отметки, по которым производится установка оборудования, служат сравнительно недолго и закрепляются, главным образом, при помощи струн и отвесов относительно контрольных отметок. До недавнего времени установка закладных частей фундамента (болтов, анкерных плит, рам, опор и т. п.) выполнялась строительными организациями. Однако опыт монтажа технологического оборудования показал, что наилучшие результаты достигаются при установке закладных частей монтажной организацией с использованием монтажных приспособлений, которые обеспечивают точную установку болтов в плане и по высоте, неизменное их положение во время бетонирования. Основными частями монтажных приспособлений являются каркас и кондукторы. Каркас собирают из типичных стоек и прогонов. Стойки опираются на пластины, залитые в специальные бетонные тумбочки, которые возводятся одновременно с бетонной подготовкой фундамента. На балках каркаса устанавливают кондукторы, выполненные из листового материала, уголков или швеллеров и имеющие отверстия по разметке оснований ПР. Диаметры отверстий в кондукторе должны на 1-1,5 мм превышать диаметры фундаментных болтов. Кондукторы выверяют относительно осей фундамента и приваривают к каркасу. В от-

верстия кондуктора устанавливают анкерные болты и производят заливку пространства под кондуктором бетоном. Для образования закладные болты в отверстия кондукторов устанавливают металлические пробки. В зависимости от способа установки и крепления в фундаменте болты могут быть: глухими или заливными, заделанными в бетонном основании; съёмными, устанавливаемыми в фундаменте без сцепления с бетоном и анкерровкой при помощи, например, закладных плит; устанавливаемыми в готовый фундамент ввертыванием в предварительно заделанные фундаментные гайки и т. п. Диаметр фундаментных болтов с учётом предварительной затяжки рассчитывают по формуле $d_1 = \sqrt{1,35P / (4/\pi [\sigma_p])}$, где d_1 – внутренний диаметр резьбы болта, м; 1,35 – коэффициент, учитывающий предварительную затяжку болта; P – вертикальная составляющая внешних сил, действующих по оси болта, Н; $[\sigma_p]$ – допустимое напряжение на растяжение (для углеродистой стали 70-80 Н/мм²).

Наименьшие значения длин фундаментных болтов (мм) в зависимости от материала фундамента приведены ниже:

Болт M12 M14 M16 M18 M20 M24 M30

Материал фундамента

Бетон ... 120 140 170 190 220 260 320

Кирпич .. 130 160 200 200 240 300 360

В зависимости от типа и грузоподъёмности ПР поступают в монтажную зону в собранном и разобранном видах в заводской упаковке. При распаковке первоначально снимается верхний щит упаковочных ящиков, а затем боковые. Необходимо следить за тем, чтобы не повредить ПР распаковочным инструментом. Перед установкой ПР открытые, а также закрытые кожухами и щитками обработанные неокрашенные поверхности необходимо очистить от антикоррозионных покрытий. Для этого используются деревянные лопаточки, которыми первоначально снимается толстый слой покрытий или смазки. Оставшаяся смазка удаляется с поверхностей чистыми салфетками, смоченными в бензине или уай-спирте. Во избежание коррозии очищенные поверхности рекомендуется покрыть тонким слоем индустриального масла.

Порядок установки ПР в проектное положение указывается в техническом описании и инструкции по эксплуатации, входящих в комплект поставки. Перед строповкой ПР и установкой его непосредственно на фундамент необходимо заблокировать звенья подвижности,

исключив тем самым возможность их самопроизвольного перемещения при транспортировке ПР мостовым краном или другим грузоподъемным механизмом. Схемы строповки указаны в руководствах по монтажу. Под стропы необходимо подкладывать деревянные прокладки, не допуская касания строп чисто обработанных, шлифованных и приштабренных поверхностей, а также тонких и хрупких деталей. Перед установкой на фундамент нижнюю поверхность основания необходимо тщательно очистить от грязи, предохранительной краски или смазки. На фундамент устанавливаются временные или постоянные опорные элементы, служащие для выверки и закрепления основания ПР. Плавным опусканием ПР отверстия основания фундаментные болты и проверяют их взаимное расположение. При дальнейшем опускании необходимо следить за прохождением через отверстия резьбовой части болтов, не допуская смятия витков резьбы. При соприкосновении опорной поверхности основания ПР с опорными элементами следует обратить внимание на ее равномерное прилегание во всех опорных точках. После выверки ПР на месте установки производится предварительная затяжка фундаментных болтов, подливка и окончательная (через 2-3 суток) затяжка. Методы выверки ПР описаны ниже.

Монтаж ПР, поставляемых в разобранном виде

В разобранном виде поставляются потребителю ПР, имеющие большие габариты и массу, порталные, а также специальные различного назначения. В разобранном виде поставляются также, как правило, ПР модульного исполнения. Например, электромеханический робот модульного типа РПМ-25 состоит из группы модулей, включающих стационарное и подвижное основание в напольном или подвесном исполнении, модули сдвига, подъёма, одинарного и двойного качания, радиального хода, руки трех модификаций (с одной, двумя и тремя степенями подвижности). Путем комбинации модулей можно получить 95 модификаций ПР. В стационарном исполнении все модули ПР монтируются на неподвижном основании, а в подвижном на тележке, перемещающейся по напольным или подвесным направляющим.

Монтаж ПР, поставляемых в разобранном виде, необходимо начинать установки основания, которая осуществляется аналогично, как при монтаже ПР, монтируемых в собранном виде. После выверки

основания и проверки правильности его установки производят затяжку фундаментных болтов и монтаж остальных модулей ПР (Рис.2.2).

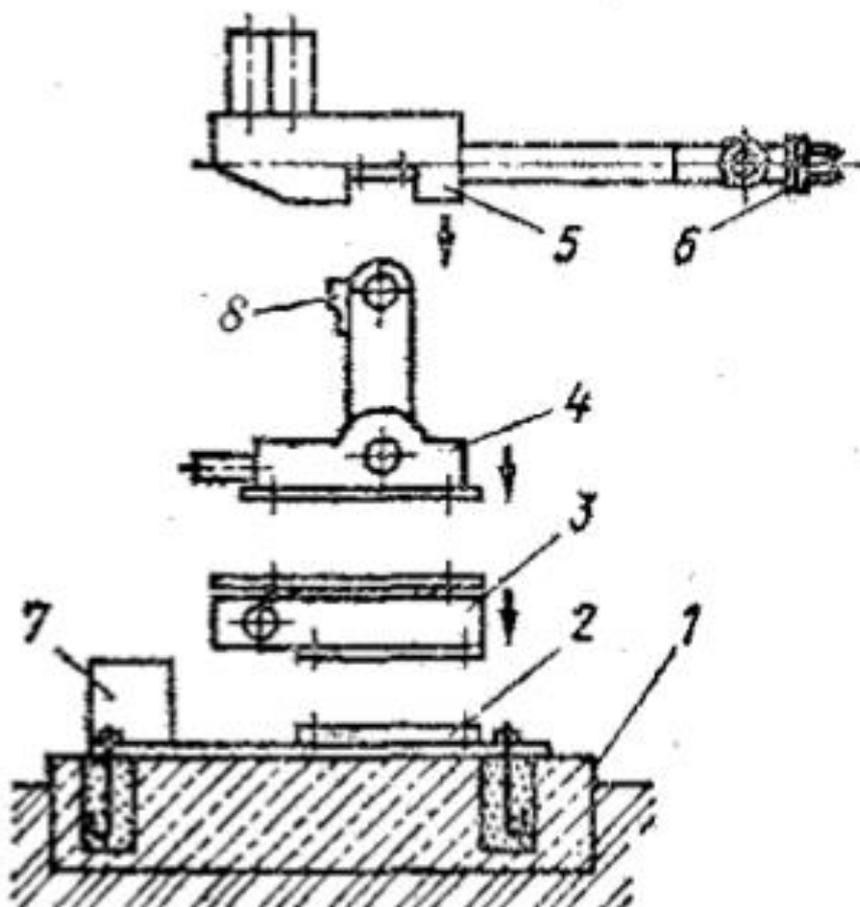


Рис. 2.2. Порядок монтажа модулей манипулятора РПМ-25

Модуль «основание неподвижное» 2 представляет собой плиту с приваренными к ней платиками для установки последующих модулей. На плите установлена система подготовки воздуха 7, обеспечивающая питание сжатым воздухом всех модулей ПР. Необходимо отметить, что в работе РПМ-25 предусмотрена транзитная передача сжатого воздуха и сигналов между модулями.

Вначале на фундаменте 1 монтируют основание 2, которое через отверстие в плите закрепляют анкерными болтами. Правильность установки основания контролируют уровнем. Затем с помощью мостового крана или тали на основание 2 устанавливают модуль поворота 3. Модуль содержит неподвижную и подвижную части, кинематически свя-

занные через червячный редуктор. Неподвижной частью модуль устанавливается на пластики основания, при этом необходимо обеспечить совпадение осей крепежных отверстий. Особое внимание следует уделять наличию резиновых уплотнений в канале воздухопровода между основанием и неподвижной частью (корпусом) модуля поворота. После затяжки крепежных болтов внутреннюю часть модуля поворота закрывают ограждением. Контроль параллельности подвижной части (стола) модуля поворота 3 осуществляется с помощью уровня во взаимно-перпендикулярных направлениях.

На подвижной части модуля поворота 3 устанавливается модуль двойного качания 4, который имеет два исполнительных звена, вращающихся относительно параллельных горизонтальных осей. Модуль качания 4 также обеспечивает транзитную передачу сжатого воздуха к последующим модулям. Для этого на стыковочной поверхности модуля имеется подводное отверстие. При установке модуля необходимо убедиться в наличии резинового уплотнения между отводным отверстием стола 3 и подводным отверстием модуля 4, совместить оси крепежных отверстий и закрепить модуль 4 на столе модуля 3 болтами. Рука 5 манипулятора РПМ-25 устанавливается в расположенной в верхней части стойки модуля двойного качания 4 люльке 8. Для этого базовый корпус руки имеет стыковочные поверхности и крепежные отверстия. При установке руки также необходимо следить за наличием и правильностью установки резинового уплотнения воздухопровода между отводным отверстием люльки и подводным отверстием руки. Крепление руки 5 к люльке 8 осуществляется четырьмя болтами.

Последним устанавливается захватное устройство 6. Торцевая стыковочная поверхность ориентирующей головки руки 5 и стыковочная поверхность захвата 6 выполнены таким образом, что при подаче сжатого воздуха обеспечивается автоматическое крепление захвата к руке с помощью замка с шариками. Сигнал о наличии захвата снимается с конечного выключателя и подаётся в систему управления ПР.

После монтажа манипулятора производятся установка системы управления, подключение сжатого воздуха, электропитания и осуществляется наладка и опробование работы ПР на холостом ходу.

Специфические требования, связанные с порядком установки опорной системы, предъявляются к монтажу порталных и мостовых

ПР. Как правило, опорная система должна устанавливаться с повышенной точностью. Так, опорные колонны устанавливаются в вертикальной плоскости по отвесу или уровню (цена деления шкалы уровня 0,05 мм; погрешность установки не более трех делений), а в горизонтальной плоскости по струне (отклонения от струны не более 0,5 мм на длине 1 м). Монорельсы монтируют таким образом, чтобы погрешность их установки в вертикальной плоскости не превышала 0,1 мм. Погрешность установки в горизонтальной плоскости измеряют посередине пролета монорельса; она не должна превышать 1 мм на длине 1 м. Если монорельс составной, то после завершения его монтажа не допускаются перекосы направляющих в месте стыков. Системы программного управления ПР проверяют в соответствии с инструкцией по эксплуатации применяемого устройства.

Последовательность монтажа станков в станочных системах следующая:

- разметка и изготовление фундамента под станок в соответствии с чертежом проекта;
- завоз оборудования и предварительная расстановка его на фундаментах; завозят и монтируют основное технологическое оборудование, контрольные и транспортные устройства, магазины, стеллажи и др. его распаковка, технический осмотр и составление акта техосмотра;
- удаление с оборудования средств противокоррозионной защиты (керосином или бензином) и покрытие его тонким слоем чистого масла;
- установка оборудования в горизонтальной и вертикальной плоскостях с «привязкой» к колоннам (установить на фундамент станину станка и выверить уровнем ее положение);
- закладка в отверстия фундамента фундаментных болтов, их заливка цементным раствором и (после его затвердевания) затяжка болтов;
- установка на фундамент станины станка и выверка уровнем ее положения;
- монтаж станка и окончательная выверка его положения;
- заливка бетоном фундаментных болтов, выдержка бетона и затяжка гаек фундаментных болтов;

- установка гидростанций, воздухоочистительных станций, шкафов электрооборудования, стендов и аналогичного оборудования согласно указаниям в фундаментном чертеже;
- укладка в полу коммуникаций, присоединение их к оборудованию;
- разводка коробов, трубопроводов, гидросистем, электропитания, сжатого воздуха и прочих коммуникаций, размещаемых над полом;
- закладка в короба трубопроводов, электропроводки и соединение их с оборудованием, шкафами электрооборудования и пультами; прозванивание (проверка правильности соединения); выполнение работ по заземлению оборудования.
- обкатка станка вхолостую, испытания под нагрузкой и проверка на точность;
- смазка станка и его пробный пуск при соблюдении правил техники безопасности;
- составление акта испытания и акта на приемку из монтажа и сдачу в эксплуатацию оборудования.

Перед установкой станка смывают антикоррозийное покрытие, пыль и грязь керосином. Механизмы станка промывают бензином, насухо вытирают и покрывают тонким слоем машинного масла. Точность и долговечность станков зависят от правильности установки их на фундаменты. Для руководства при установке станка служит установочный чертеж, на котором указаны размеры наибольшей площади для установки и обслуживания. Эти размеры обеспечивают свободное пространство для выступающих частей; станка и для того, чтобы движущиеся части (суппорты, ползуны, столы) в своих крайних положениях не упирались в станину соседнего станка. Следует сохранять межстаночные проходы, установленные правилами техники безопасности. В бетонном полу, опирающемся на грунт, должны быть предварительно пробиты колодцы для фундаментных болтов. При установке станка на бетонном полу междуэтажного перекрытия для фундаментных болтов пробивают сквозные отверстия. Положение станка выверяют уровнем. Для изменения положения станка применяют стальные клинья, укладываемые под подошву станины станка. После предварительной выверки станка поверхности колодцев фундаментных болтов увлажняют и заливают цементным раствором. После затвердевания раствора гайки

фундаментных болтов плавно и равномерно затягивают, производят повторную выверку положения станка и подливают цементный раствор под подошву станины станка.

Тяжелые крупные станки, имеющие недостаточно жесткую станину или составленную из отдельных частей, соединенных болтами, как, например, горизонтальный станок для расточки длинных цилиндров, устанавливаются на отдельных прочных фундаментах. Фундамент как бы дополняет станину станка и придает ей дополнительную жесткость и массу. Подливку цементного раствора под подошву длинной недостаточно жесткой станины тяжелого станка, имеющего точные направляющие, производят только в средней части, а концы станины опирают на регулируемые клинья или башмаки. Это позволяет при эксплуатации станка периодически выверять и регулировать положение его станины. До начала монтажа следует ознакомиться с конструкцией станка по сборочным чертежам и описаниям, прилагаемым к станку. Перед монтажом станка нужно освободить части его от упаковки и очистить от пыли и грязи. Покрытия, предохраняющие обработанные и неокрашенные наружные поверхности деталей станка при транспортировке, следует смыть скипидаром. •Механизмы станка, находящиеся в закрытых коробках (шпиндельная бабка и др.), не следует разбирать и промывать. Смазку, покрывающую их детали, оставлять для использования при работе механизмов.

2.3. Монтаж пневмогидрооборудования

Движение звеньев манипулятора ПР осуществляется исполнительными устройствами. В ПР с пневматическим приводом в качестве исполнительных устройств используются пневмоцилиндры, а в ПР с гидравлическим приводом – гидроцилиндры или гидромоторы. Для обеспечения работы приводов ПР применяются различные блоки и устройства: вентили, влагоотделители, пневмоклапаны, маслораспылители, пневмораспределители, пневмодроссели, гидростанции, масляные фильтры, гидрораспределители, гидроклапаны, гидроаккумуляторы, дроссели с регуляторами потока, пневмогидролинии и т. п. Гидро и пневмо приводы используются в металлорежущих станках для вспомогательных движений.

Порядок монтажа пневмогидрооборудования ПР регламентируется технической документацией заводов-изготовителей. Широкая номенклатура ПР с пневматическим и гидравлическим приводами определяет конкретные виды и объем выполняемых монтажных работ. Так, например, для введения ПР типа МП-9С в режим эксплуатации достаточно только подсоединить узел подготовки воздуха к цеховой магистрали и подключить устройство управления ЭЦПУ-6030, ПР типа СМ40.Ф2.80.01 требует предварительного монтажа гидростанции, соединения ее с аппаратурой гидроуправления и гидроприводами. Несмотря на различие объемов монтажных работ ПР конкретных типов существует ряд общих правил и требований, которые заключаются в предварительной подготовке пневмогидроаппаратуры к монтажу, проведении непосредственно монтажных работ, наладке и сдаче в эксплуатацию. Элементы пневмогидрооборудования поступают к потребителю в законсервированном и упакованном виде. В качестве консервирующих веществ применяют гидравлические масла, минеральные масла с антикоррозионными присадками. Упаковку производят в парафинированную или водонепроницаемую бумагу, полиэтиленовую или полихлорвиниловую пленку. При расконсервации изделий необходимо снять внутреннюю упаковку (чехол, бумагу и т. д.). Мелкие изделия следует промыть в уайт-спирите или моечном растворе с добавкой соды кальцинированной или каустиковой, эмульгатора ОП-7, жидкого стекла. Наружные законсервированные поверхности крупногабаритных изделий протирают чистыми салфетками, смоченными в Уайт спирите или бензине. Из внутренних полостей изделий необходимо полностью удалить консервационную жидкость. Не разрешается пользоваться хлопчатобумажными концами, ворс которых может попасть в капиллярные отверстия устройств. После проведения работ по расконсервации элементы пневмогидрооборудования необходимо подвергнуть проверке на работоспособность. Проверку производят на испытательных стендах при рабочем давлении сжатого воздуха или масла. Все обнаруженные неисправности устраняют до монтажа. Трубные проводки, используемые при монтаже, также требуется подвергнуть предварительной обработке. При наружном осмотре отбраковывают трубы, имеющие свищи, рванины, вмятины глубиной более 0,5 мм и овальность свыше 10 % диаметра, Пригодные для монтажа трубы очищают снаружи и внутри и продувают сжатым воздухом.

На металлические трубы должно быть нанесено покрытие, предохраняющее от коррозии. Перед покрытием наружные и внутренние поверхности труб очищают от ржавчины, краски, жира и пыли. Жировые загрязнения удаляют ветошью или кистью, смоченными органическими растворителями. Можно применять и химический способ, который заключается в обработке поверхности труб водными растворами минеральных кислот: серной, соляной, фосфорной и в отдельных случаях азотной. После обработки растворами кислот трубы необходимо промыть водой, обработать 5 %-ным раствором кальцинированной соды, а затем вновь 2-3 раза промыть водой. После сушки поверхности труб грунтуют, а затем покрывают 3 -5 слоями эмали и 2-3 слоями покровного лака. Допускается обработка внутренних поверхностей труб минеральным маслом, используемым в гидросистеме ПРИ. Трубы из красной меди, используемые при монтаже, необходимо отжечь путем нагревания до вишневого цвета с последующим резким охлаждением в воде. После отжига трубы необходимо выпрямить, для чего рекомендуется использовать лебедку и выпрямление производить натягиванием трубы.

Правильный монтаж пневмоцилиндров и гидроцилиндров в значительной степени определяет срок их службы. Цилиндры могут устанавливаться на лапах, фланце (на передней или задней крышке), проушине, цапфе и удлиненных стяжках. Способ монтажа определяется условиями использования цилиндра. Необходимо отметить, что цилиндры, установочная плоскость которых расположена у основания параллельно оси штока, под действием рабочих усилий могут деформироваться. Это приводит к увеличению трения и повышенному износу деталей. Цилиндры должны быть доступны для обслуживания и демонтажа, за исключением тех случаев, когда они выполнены вместе с опорной конструкцией ПР или оборудования. Крепление цилиндров должно быть достаточно прочным и жестким. Соединение штока с приводом желательнее осуществлять через шарнир. Затяжка регулируемых уплотнений штока должна обеспечивать герметизацию при допустимых потерях на трение. При монтаже цилиндров на цапфах должно обеспечиваться беспрепятственное качение в пределах заданного угла поворота. Во избежание появления значительных изгибающих нагрузок на штоке и резкого ухудшения условий работы цилиндра

необходимо обеспечить соосность или параллельность штока цилиндра и соединяющегося с ним вала или направляющих ведомого механизма. Погрешность установки в этих случаях не должна превышать 0,05 мм на длине 1 м. При монтаже пневмоцилиндров их рекомендуется располагать вниз отверстиями для подвода воздуха, чтобы исключить возможность сбора конденсата в полостях цилиндра, Гидроцилиндры можно монтировать в любом положении, необходимо лишь обеспечить удобство доступа к устройствам стравливания воздуха. Гидромоторы также могут быть установлены в любом положении: вертикально, горизонтально, наклонно, Вал гидромотора должен соединяться с ведомым механизмом с помощью эластичной муфты, компенсирующей смещение осей. Допустимое радиальное смещение соединяемых осей валов не должно превышать (например, для гидромоторов типа Г16) 0,1 мм и максимальный угол перекоса осей 1°. Дренажный трубопровод должен быть выведен выше вертикального габарита мотора и обеспечивать свободный, без давления, слив масла в бак. Гидромоторы крепят, как правило, к фланцам с помощью винтов. Монтаж направляющей и регулирующей пневмогидроаппаратуры. К этой аппаратуре относятся пневмо- и гидрораспределители, клапаны, дроссели и регуляторы потока. Для управления всеми звеньями ПР, а также перемещения узлов окolorботного и технологического оборудования, входящих в состав РТК, используется от одного до нескольких десятков распределителей и дросселей. В последнем случае распределители целесообразно монтировать на панелях. Монтаж должен обеспечивать легкий доступ к пневмогидроаппаратуре для регулирования и технического обслуживания в процессе эксплуатации. Аппаратура, как правило, может монтироваться в любом пространственном положении, Специальные требования на установку оговариваются в руководствах по монтажу и эксплуатации. При монтаже двухпозиционных распределителей с двусторонним электрическим управлением без пружинного возврата необходимо обеспечить горизонтальное положение их продольной оси. Это предотвращает самопроизвольное перемещение золотников при обесточенных катушках электромагнитов и нарушение последовательности цикла работы ПР и РТК в момент пуска. Крановые распределители на вертикальной или наклонной плоскости необходимо монтировать в таком положении, при котором исключается самопроизвольное их переключение под действием веса рукоятки. Пневмо-

и гидрораспределители с резьбовым присоединением монтируют при помощи трубопроводной арматуры с конической резьбой, Распределители со стыковым присоединением монтируют с помощью винтов непосредственно на панельной плоскости или на промежуточных плитах. Монтажная поверхность панелей должна иметь шероховатость менее 1,25 мкм и неплоскостность не более 0,01-0,05 мм на длине 100 мм. Винты для крепления распределителей должны быть изготовлены из сталей с пределом прочности на растяжение не менее 1000 МПа (в комплект поставки распределителей не входят). Во избежание деформации корпусов распределителей затяжка крепежных винтов должна производиться без особых усилий. Герметичность стыкового соединения обеспечивается за счет уплотнений, выполненных в виде резиновых колец и прокладок. Дроссели, пневмо- и гидроклапаны можно монтировать в различных местах системы (непосредственно у исполнительных механизмов, распределителей, на трубопроводной магистрали). При их монтаже необходимо обеспечить удобство доступа для регулировки и возможность визуального наблюдения при ее выполнении за действиями исполнительных механизмов. При монтаже регулирующей пневмогидроаппаратуры необходимо следить за совпадением направлений движения рабочего тела в системе и установочной стрелки на корпусе прибора.

При монтаже пневмогидропанелей, поступающих с заводов-изготовителей с готовой внутренней разводкой, производится лишь подключение их к исполнительным механизмам с помощью внешних трубопроводных магистралей.

Располагать пневмогидропанели с пускорегулирующей аппаратурой следует группами, вблизи исполнительных механизмов, но вне рабочего пространства ПР. Если панели содержат большое число пускорегулирующей аппаратуры и требуют подключения множества исполнительных механизмов, то разъемные стыки подводящих и отводящих трубопроводов следует располагать в нескольких плоскостях. Трубные проводки при этом рекомендуется подсоединять на резьбах или зажимных кольцах, а шланги на ниппелях с обжатием хомутом.

Высокую производительность и качество проведения монтажных работ можно обеспечить при использовании пускорегулирующей аппаратуры модульного исполнения. В отличие от аппаратуры стыкового

монтажа с одной стыковой плоскостью, эта аппаратура имеет две стыковые плоскости с одинаковыми координатами присоединительных отверстий, расположенных на корпусе сверху и снизу. Это позволяет устанавливать различные аппараты один на другой в вертикальный столбик (пакет), замыкаемый сверху распределителем, плитой связи или плитой-заглушкой. Пакеты могут наращиваться как в вертикальном, так и в горизонтальном направлениях (рис. 2.3). Уплотнение соединений плит и аппаратуры обеспечивается резиновыми кольцами, а крепление пакетов к монтажной плите и плит между собой осуществляется с помощью сквозных стяжек или винтов. Монтаж устройств подготовки рабочего тела. В ПР с пневматическим приводом обязательным блоком является блок подготовки воздуха. В одних конструкциях такой блок предусматривается для каждого ПР, в других – для группы ПР. Блок подготовки воздуха монтируется, как правило, на элементах конструкций (корпусе, станине) ПР. При монтаже необходимо убедиться в правильности установки влагоотделителя, редукционного клапана и маслораспылителя (указательные стрелки по направлению движения сжатого воздуха).

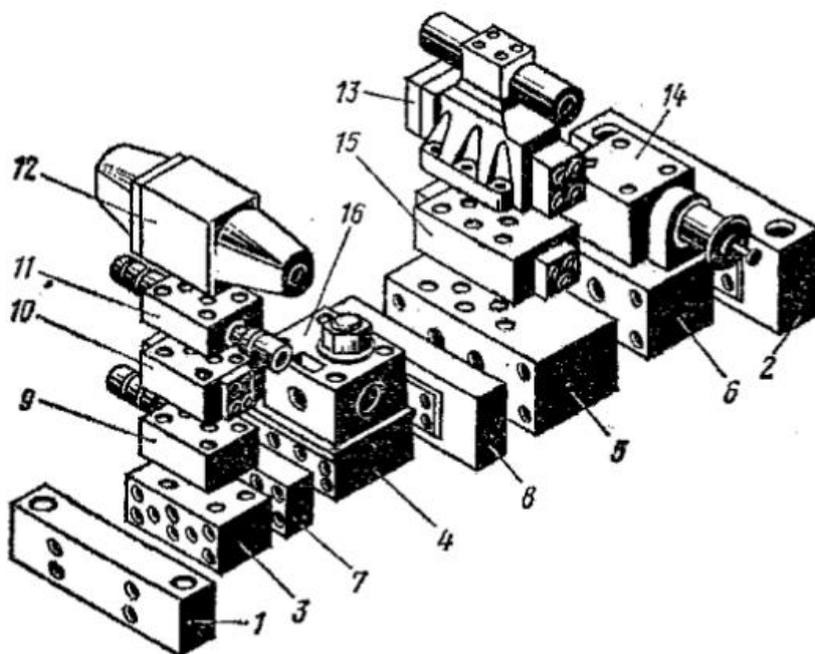


Рис. 2.3. Модульный монтаж пневмогидроаппаратуры:

1, 2 – крепежные плиты; 3-6 – монтажные плиты;
7,8 – переходные плиты; 9-16 – элементы пневмогидроаппаратуры
(распределители, дроссели, клапаны; регуляторы потока и т.н.)]

Стеклянные колпаки влагоотделителя и маслораспределителя должны быть направлены вертикально вниз; место их установки должно обеспечивать удобство слива влаги, залива свежего масла и наблюдения за уровнем масла в процессе работы ПР. В ПР с гидравлическим приводом питание гидросистемы осуществляется от насосной установки (гидростанции), обеспечивающей очистку рабочей жидкости от твердых частиц и влаги, создание и поддержание заданного давления жидкости в напорной магистрали, охлаждение или нагрев жидкости до рабочей температуры.

ПР комплектуются гидростанциями в собранном виде. Монтаж таких гидростанций заключается в выставке на подкладках и закреплении анкерными или крепежными болтами бака-отстойника со смонтированным на нём оборудованием. При монтаже необходимо предусмотреть удобство доступа к фильтрам и горловине для заливки масла, сливному отверстию, смотровым люкам, а также удобство наблюдения за приборами-указателями давления и уровня масла. Защитные кожухи не должны препятствовать циркуляции воздуха для охлаждения.

В системах пневматического и гидравлического приводов ПР исполнительные механизмы, аппаратура управления и регулирования, вспомогательная аппаратура соединяются между собой с помощью металлических трубопроводов, резиновых рукавов, гибких металлических рукавов, шлангов и полиэтиленовых труб. Выбор типа проводок зависит от рабочего давления и температуры, агрессивности рабочего тела и внешней среды, вида соединения стыков, условий гибки и монтажа. Так, например, трубы из углеродистых сталей применяются в неагрессивных средах при температуре до 250 °С. Трубы из нержавеющей сталей применяются при температурах до 500 °С и обладают повышенными по сравнению с трубами из углеродистых сталей прочностью и коррозионной стойкостью в агрессивных средах. Трубы из меди используются при температурах до 150 °С и давлениях до 25 МПа. Они устойчивы к воздействиям атмосферы и морской воды. Трубы из меди отличаются высокой гибкостью, удобны для применения на коротких участках со сложными изгибами и при необходимости подгонки в процессе монтажа.

Жесткие трубные проводки применяются для монтажа неподвижной аппаратуры. Наиболее рационально применение цельных трубопроводов с минимальным числом соединений.

Гибкие проводки применяются в тех случаях, когда необходимо подвести сжатый воздух или рабочую жидкость к устройствам, закрепленным на узлах и механизмах, имеющих относительное перемещение, или поочередно к различным потребителям от одного источника. Гибкие проводки обеспечивают удобство монтажа, особенно в труднодоступных местах.

Внутренний диаметр канала, трубы или рукава пневмогидропроводок определяется по формуле $d = \sqrt{4Q/\pi v} = 1,13\sqrt{Q/v}$, где Q – расход рабочего тела (воздуха, жидкости), м³/с; v – скорость потока рабочего тела, м/с.

Оптимальные скорости движения воздуха или потока жидкости зависят от многих факторов. На основании практических данных рекомендуются следующие величины скоростей, м/с:

Воздуха

В магистральных трубопроводах ... 6 – 12

В подводящих трубопроводах ... 16 – 40

Рабочей жидкости

В напорных гидрелиниях ... 5 – 10

В сливных гидрелиниях ... 2 – 2,5

Во всасывающих гидрелиниях ... 0,5 – 1,5

Толщина стенки труб определяется по формуле $\delta = p_{\max}D/2\sigma_{\text{доп}} = p_{\max}D_n/2\sigma_b$, где p_{\max} – максимальное давление рабочего тела, Па; D – наружный диаметр трубы, м; $\sigma_{\text{доп}}$ – допустимое напряжение материала трубы, Па; σ_b – предел прочности материала трубы, Па (для труб из стали $20 \sigma_b = 140$ МПа); n – коэффициент запаса прочности ($n = 3 \div 6$).

Разметку и разрезку труб на нужные длины обычно производят в монтажно-заготовительных мастерских. Для этого используется разметочно-отрезной агрегат, позволяющий получать детали трубопроводов с точностью ± 1 мм. Затем производится гибка труб. Трубы изгибают по шаблонам, изготовленным из стальной проволоки по месту установки трубопровода, либо по монтажным чертежам. Гибку можно производить как в холодном, так и в горячем состоянии. Нагрев труб на монтажно-заготовительном участке осуществляют на стыковых электросварочных машинах, а в монтажной зоне – с помощью газосварочных горелок. Трубы диаметром до 1 1/2'' гнутся, как правило, с помощью ручных трубогибов, а 2'' и более – на трубогибных станках.

Радиусы изгиба труб, работающих под давлением, ограничиваются значениями, при которых не происходит существенного сниже-

ния их статической и усталостной прочности. Минимальный допустимый радиус внутренней кривой изгиба труб должен быть для:

- медных труб – не менее $2D$ (D – наружный диаметр);
- стальных и полиэтиленовых труб, изгибаемых в горячем состоянии, отожженных труб из алюминия и алюминиевых сплавов, для полихлорвиниловых труб – не менее $3D$;
- остальных труб, изгибаемых в холодном состоянии, – не менее $4D$;
- полиэтиленовых труб, изгибаемых в холодном состоянии, – не менее $6D$.

При монтаже труб необходимо соблюдать следующие требования: трубы, прокладываемые вдоль корпусных деталей, должны следовать их контуру; трубы не должны закрывать съемные детали, крышки, окна для транспортирования, карманы для болтов в станине и т.п.; трубы необходимо устанавливать с небольшим уклоном в сторону устройств подготовки рабочей среды для обеспечения возможности удаления конденсата; при использовании ресиверов подсоединение трубопровода необходимо производить в верхней точке ресивера; при скрытой прокладке труб в бетонных каналах заглубление должно быть не менее 20 мм от поверхности пола.

Крепление труб к опорным конструкциям производят с помощью скоб или колодок (рис. 2.4).

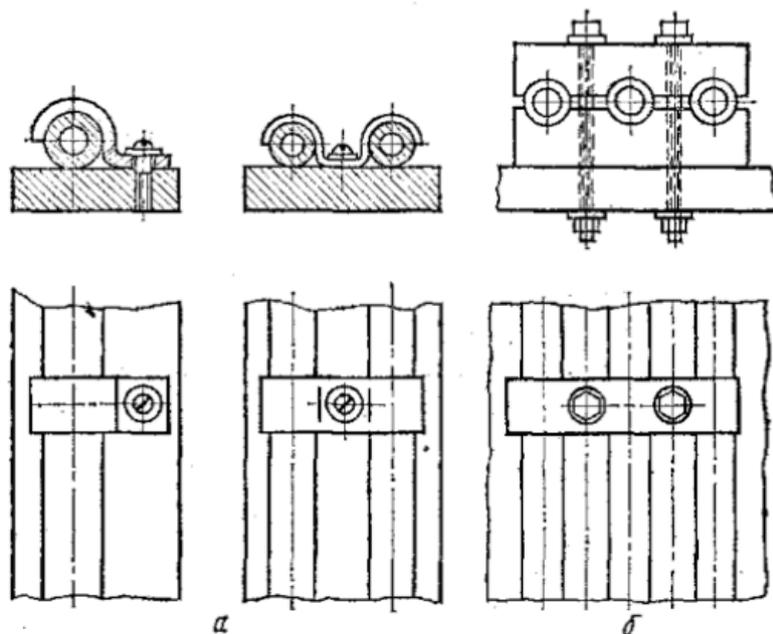


Рис. 2.4. Крепление трубопроводов:
а – с помощью скоб; б – с помощью колодок

Расстояние между крепежными элементами трубных проводок должно быть для:

- трубопроводов из цветных металлов на горизонтальных участках 0,6 – 0,8 м, на вертикальных 1 м;
- стальных трубопроводов диаметром 8 – 14 мм на горизонтальных участках 0,75 м, на вертикальных – 1 – 1,5 м;
- стальных трубопроводов диаметром 22 – 60 мм на горизонтальных участках 2 – 4 м, на вертикальных – 3 – 5 м;
- пластмассовых трубопроводов диаметром 6 – 10 мм на горизонтальных участках 0,3 м, на вертикальных – 0,5 м.

Расстояния между опорными конструкциями трубных проводок (полками, кронштейнами, консолями, пакетными скобами и т.п.) должны быть такие же, как и между крепежными элементами для одиночных труб и могут быть несколько больше для групповых (блочных) проводок.

Соединения трубных проводок могут быть неразъемными и разъемными.

Неразъемные соединения (рис.2.5) применяются для трубопроводов, не требующих демонтажа. Их выполняют сваркой встык, в раструб и с применением безрезьбовых муфт. Соединение трубопроводов встык требует обязательного провара кромок на всю толщину. Для этого на торцах свариваемых труб делают фаску под углом 60 – 70 °. Стыковой способ сварки не гарантирует отсутствия шлака на внутренней поверхности трубы в месте сварки.

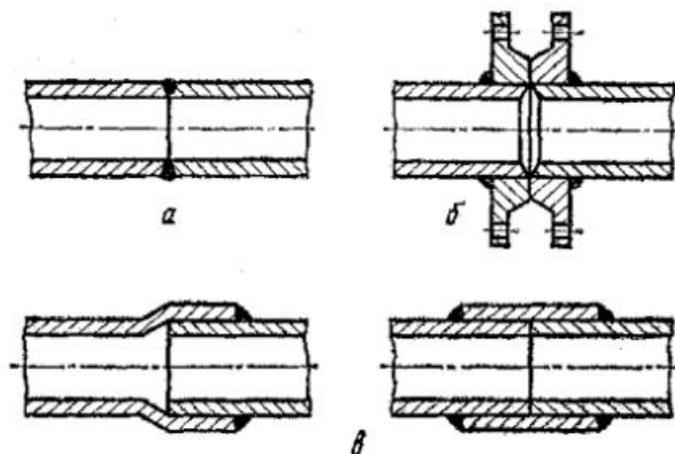


Рис. 2.5. Неразъемные соединения трубопроводов:
а – встык; *б* – при помощи безрезьбовой муфты; *в* - в раструб

Полностью исключается попадание шлака на внутренние поверхности труб при сварке их в раструб или с применением безрезьбовых муфт. При этом также облегчается процесс сварки. Неразъемные соединения полиэтиленовых труб так же выполняют сваркой встык или в раструб. Для образования раструба используют нагретую металлическую оправку соответствующего диаметра. Длина раструба должна быть примерно равна наружному диаметру соединяемых труб. Затем внутреннюю поверхность раструба и наружную поверхность конца трубы оплавляют на специальном металлическом блоке, нагретом предварительно до 220–260 °С, и производят соединение. Сварка встык выполняется путем предварительного нагрева и оплавления на длине 3–4 мм концов труб при температуре 250–300 °С с последующим их прижатием и выдержкой для охлаждения не менее 2 мин. Неразъемные соединения полихлорвиниловых труб выполняют склеиванием. Для этой цели применяют 20 % - ный раствор поливинилхлоридной смолы в обезжиренном ацетоне. На одном конце трубы делается раструб. После обезжиривания склеиваемых поверхностей ацетоном тонким слоем наносят клей, дают подсохнуть в течение 25–30 мин, затем наносят еще один слой и соединяют. Для схватывания склеиваемые трубы выдерживают без нагрузки в течение 2,5–3 ч. При выполнении неразъемных соединений медных или латунных труб сварку заменяют пайкой. К разъемным относятся соединения, позволяющие производить разборку без нарушения целостности соединяемых труб или без их вращения. Применяется четыре основных вида соединения труб: по наружному и внутреннему конусам, с уплотнительным кольцом и фланцевые (рис. 2.6).

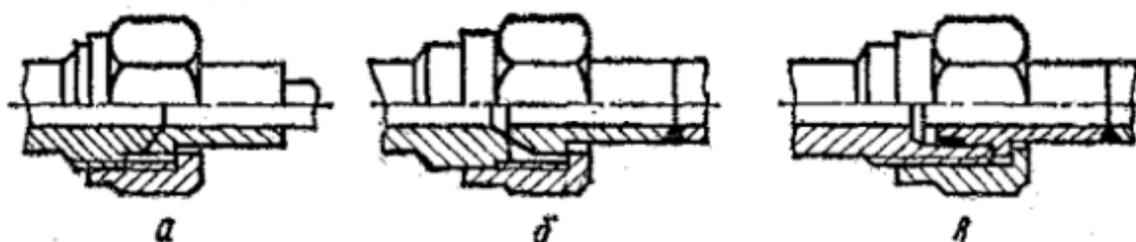


Рис. 2.6. Разъемные соединения трубопроводов:
а – по наружному конусу; *б* – по внутреннему конусу;
в – с уплотнительным кольцом

Первые три вида соединений обеспечивают герметичность за счет обжатия или прижатия конца трубы или полусферического ниппеля к штуцеру с помощью накидной гайки. Фланцевое соединение применяется для труб диаметром более 40 мм и обеспечивает герметичность за счет стягивания болтами двух фланцев, приваренных к концам труб. Между торцевыми поверхностями фланцев помещается прокладка из резины или паронита. Для монтажа разъемных соединений стальных тонкостенных труб применяются присоединения (рис. 2.7): прямые концевые, угловые концевые, тройниковые концевые, медных или также промежуточные (прямые и тройниковые).

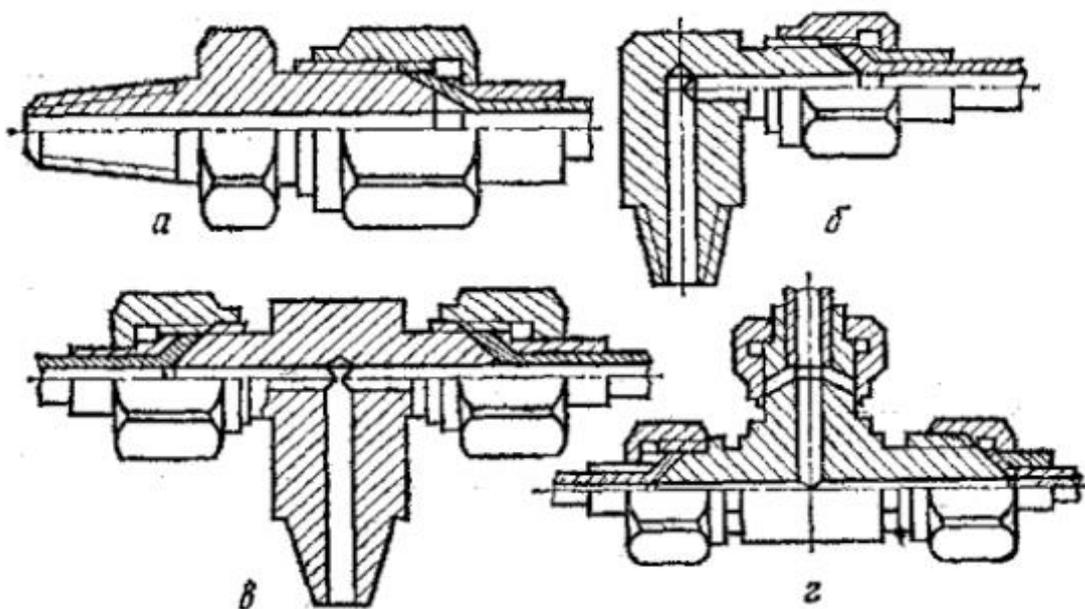


Рис. 2.7. Конструкция присоединений:
а – прямое концевое; *б* – угловое концевое; *в* – тройниковое концевое;
г – промежуточное

Данные соединения рассчитаны на номинальное давление до 6,3 МПа (для медных труб) и до 12,5 МПа (для стальных труб). При затяжке гайки ниппель прижимает развальцованный конец трубопровода к конусной поверхности штуцера, обеспечивая герметичность соединения. Шланги и рукава, используемые для подвода сжатого воздуха к подвижным исполнительным и устройствам, монтируют на ниппеле с кольцевыми проточками и обжимают хомутами. Такие соединения используются для давлений до 0,5 МПа. При больших давлениях рукава

зажимаются между ниппелем и резьбовой муфтой. Для систем гидравлики и давлений до 30 МПа применяются гибкие металлические рукава высокого давления, которые поставляются с резьбовой фланцевой или специальной арматурой.

Техника безопасности при монтаже пневмогидрооборудования ПР

При подготовке пневмогидрооборудования к монтажу, чистке и промывке бензином или уайт-спиритом необходимо обеспечить соответствующую вентиляцию. Обтирочный материал после употребления следует убрать в металлический ящик с крышкой. Запрещается производить работы с применением открытого огня (сварка, резка и пр.) вблизи оборудования в период расконсервации (обработка бензином, уайт-спиритом).

При работе с отрезными и шлифовальными кругами необходимо убедиться в надежности их закрепления и наличии ограждающего кожуха. При гибке труб должна быть очищена поверхность (пол). Используемые стационарные или передвижные трубогибочные и другие приспособления должны иметь предохранительные отключающие устройства, а также заземление и зануление.

При работе с кислотами и щелочами опасные зоны должны быть ограждены. Рабочие, занятые на химической обработке трубопроводов, должны пройти специальное обучение и иметь защитную одежду (очки или маску, резиновые рукавицы и сапоги, шерстяные куртки и брюки). Необходимо соблюдать особую осторожность при сливе или выдувании кислоты из трубопроводов, так как при этом возможно разбрызгивание кислоты и попадание ее на открытые участки тела.

При производстве электросварочных работ сварочные кабели должны находиться в технически исправном состоянии и не иметь оголенных частей. Обратный кабель от сварочного агрегата должен подсоединяться непосредственно к свариваемому предмету.

При использовании газосварочных аппаратов необходимо надежно закрепить баллоны с кислородом и ацетиленом. Шланги должны соответствовать назначению и их соединение между собой и аппаратурой должно производиться инвентарными хомутами. Особо опасно соприкосновение кислорода с маслом, поэтому пользоваться промасленными рукавицами и спецодеждой при работе с кислородными баллонами запрещается.

Соединение трубопроводов, подтяжка и обтяжка аппаратуры и шлангов должны производиться при полностью снятом давлении. Торцовые и гаечные ключи, используемые при установке аппаратуры и соединений, должны быть исправны и соответствовать по размеру.

2.4. Монтаж устройств управления и электрооборудования роботов и мехатронных систем

Устройства (системы) управления ПР и мехатронных модулей в зависимости от конструкции могут быть встраиваемые и выносные. Наибольшее распространение получили выносные устройства управления, выполненные в виде отдельного приборного шкафа, внутри которого расположены элементы и аппаратура силового питания приводов ПР, блоки управления, памяти, преобразования информации. В верхней части шкафа располагается пульт оператора с выведенными на него органами включения-выключения питания, выбора режима работы, набора открыто проложенные заземляющие проводники в местах, где возможно их механическое повреждение, должны быть защищены. Защита может быть осуществлена стальной трубой, плетеным чехлом и др. Присоединение заземляющих проводников к заземляемым элементам должно быть выполнено надежным болтовым или винтовым соединением с принятием мер против ослабления контакта (установка контргаяк, пружинных шайб и т. д.). Заземление оборудования, подвергающегося частому демонтажу, следует выполнять при помощи гибких медных заземляющих проводников сечением не менее 4 мм² (для малогабаритного оборудования допускается 1,5 мм²). Оконцовывание медных заземляющих проводников должно выполнено с помощью привариваемых к ним кабельных наконечников. Ответвления к однофазным электроприемникам для их заземления должно осуществляться отдельным (третьим) проводником. Использование для этой цели нулевого (рабочего) провода ответвления запрещается. В целом система заземления ПР должна быть выполнена таким образом, чтобы при снятии любого из заземляемых элементов не нарушалась целостность всего заземления.

Техника безопасности. Монтаж электрооборудования ПР и мехатронных систем должен производиться только при отключенном пи-

тающем напряжении. Электрифицированный инструмент, используемый при монтаже, должен быть заземлен. Крепление электрических аппаратов на несущих конструкциях (панелях, пультах и т. д.) должно производиться стационарными крепежными изделиями без сорванных резьб, шлицев и граней с необходимой затяжкой резьбовых соединений и принятием мер от самопроизвольного развинчивания. При затяжке проводов в трубы стальная проволока не должна иметь заломов и сrostков и должна иметь надежное соединение со всеми затягиваемыми проводами. При продувке защитных труб нельзя стоять против открытых концов труб и протяжных или соединительных коробок. Во время затягивания проводов в трубы необходимо предусмотреть меры против падения рабочего в случае отрыва натянутой проволоки. Направлять затягиваемые провода в защитные трубы необходимо таким образом, чтобы не произошло захвата пальцев рук проводами и затяжки их в трубу. Затяжку проводов в трубы на высоте нельзя производить стоя на приставной лестнице или стремянке; для этой цели следует пользоваться лесами, специальными настилами или площадками. Перед прокладкой кабеля по кабельным конструкциям в помещении каналах, кабельных сооружениях должны быть тщательно проверены прочность крепления и устойчивость этих конструкций. Кабель при этом предварительно раскатывают по полу или по дну кабельного канала.

Монтаж информационных систем

Информационные системы по назначению делятся на три группы: внутренней информации ПР, восприятия внешней среды и обеспечения техники безопасности. **Система внутренней информации ПР** содержит датчики оценки положения и скорости перемещения звеньев ПР, а также датчики, обеспечивающие блокировку движения ПР при появлении случайных сбоев. Для цикловых ПР наибольшее распространение получили путевые конечные выключатели типов ВК-200, ВК-300, ВКП-1000, ВКП-2000, ВКП-4000, а также бесконтактные конечные выключатели типов БВК, У143 и У511. Для определения величины линейных или угловых перемещений звеньев манипулятора используется потенциометры, вращающиеся трансформаторы, индуктосины, цифровые датчики типа перемещение – фаза – код.

Контактные выключатели срабатывают в результате непосредственного механического воздействия упора управления на приводной

элемент выключателя (рычаг с роликом, толкатель и др.), поэтому необходимо, чтобы ход упора был несколько больше рабочего хода выключателя, но вместе с тем не превышал бы величины полного хода, допустимого для данного выключателя.

Контактные или путевые выключатели обычно монтируют вблизи рабочих зон перемещаемых механизмов и крепят винтами через крепежные отверстия к неподвижной части узлов ПР. Если контактный выключатель используется для фиксации определенной точки при движении звеньев ПР, например, точки синхронизации, то в этом случае взаимодействующий с выключателем упор имеет конструкцию, обеспечивающую прохождение его по обе стороны от выключателя (рис 2.8). Для обеспечения возможности подстройки положения упора он должен иметь продольные пазы длиной 15-20мм.

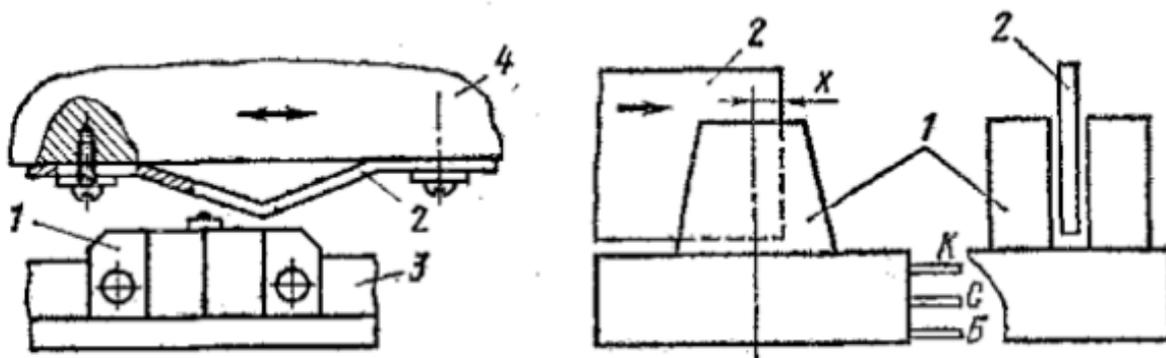


Рис. 2.8. Монтаж конечного выключателя

Бесконтактные конечные выключатели типа БВК также монтируют на неподвижных узлах ПР и оборудования с помощью винтов. Они имеют щелевидную рабочую зону, поэтому на подвижном элементе или звене ПР с помощью винтов закрепляют алюминиевую пластину толщиной 3 мм и шириной 30 мм. Срабатывание датчика происходит при переходе кромки пластины за центр рабочей зоны на величину от 0 до 4 мм (в зависимости от характеристики выключателя).

Наибольшее распространение в робототехнике получили бесконтактные конечные выключатели пальчикового типа. На рис. 2.9 представлена конструкция индуктивного бесконтактного переключателя фирмы “Баллуфф” (ФРГ).

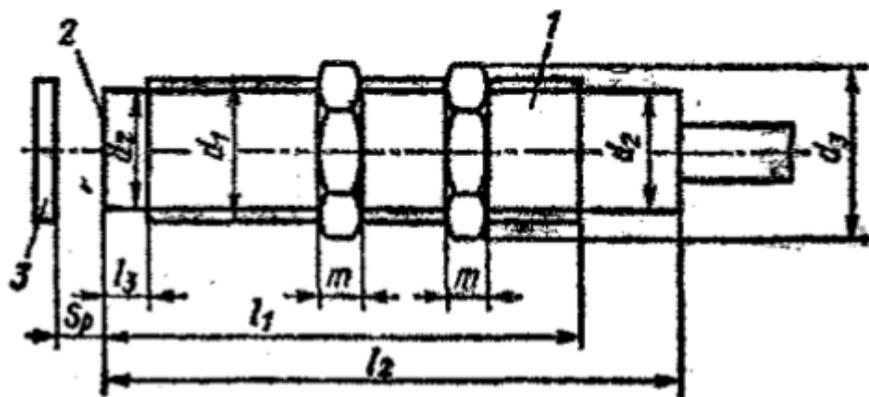


Рис. 2.9. Конструкция индуктивного бесконтактного переключателя фирмы “Баллуфф” (ФРГ)

Они имеют цилиндрическую конструкцию с металлическим или пластмассовым корпусом 1 и могут устанавливаться на специальных кронштейнах, либо встраиваются в металл заподлицо или незаподлицо. Срабатывание датчика происходит при приближении к его активной поверхности 2 измерительной пластинки 3 из стали толщиной 1 мм квадратной формы со стороны квадрата, равной диаметру датчика. Рабочий зазор переключения $S_p = 2/20$ мм (в зависимости от типа датчика). При использовании латунной измерительной пластинки рабочий зазор уменьшается вдвое. Отечественная промышленность выпускает аналогичные датчики типа У551 с рабочим зазором 1, 2, 4 мм и ДКП с рабочим зазором 1 и 2 мм. При монтаже датчиков на кронштейне с помощью крепежных гаек выставляется номинальный рабочий зазор от торцевой поверхности датчика до измерительной пластинки, наклеенной на подвижное звено. Датчики пальчикового типа могут быть встроены в металл. Если необходимо расположить рядом два датчика, то расстояние между их центрами должно быть равно или больше двух их диаметров. Если датчик не позволяет встраивать его в металл до уровня активной поверхности то для обеспечения его работоспособности с заданными параметрами должна быть обеспечена свободная от металла зона. Соединительные провода от датчиков при монтаже рекомендуется прокладывать в резиновых патрубках соответствующего диаметра с нахлестом на корпус датчика. При монтаже датчиков, регистрирующих перемещение звеньев манипулятора, их скорости и ускорения, необходимо обеспечить кинематическую связь перемещаемого звена с датчиком.

Основные варианты конструктивных схем связи датчика со звеном манипулятора приведены на рис. 2.10.

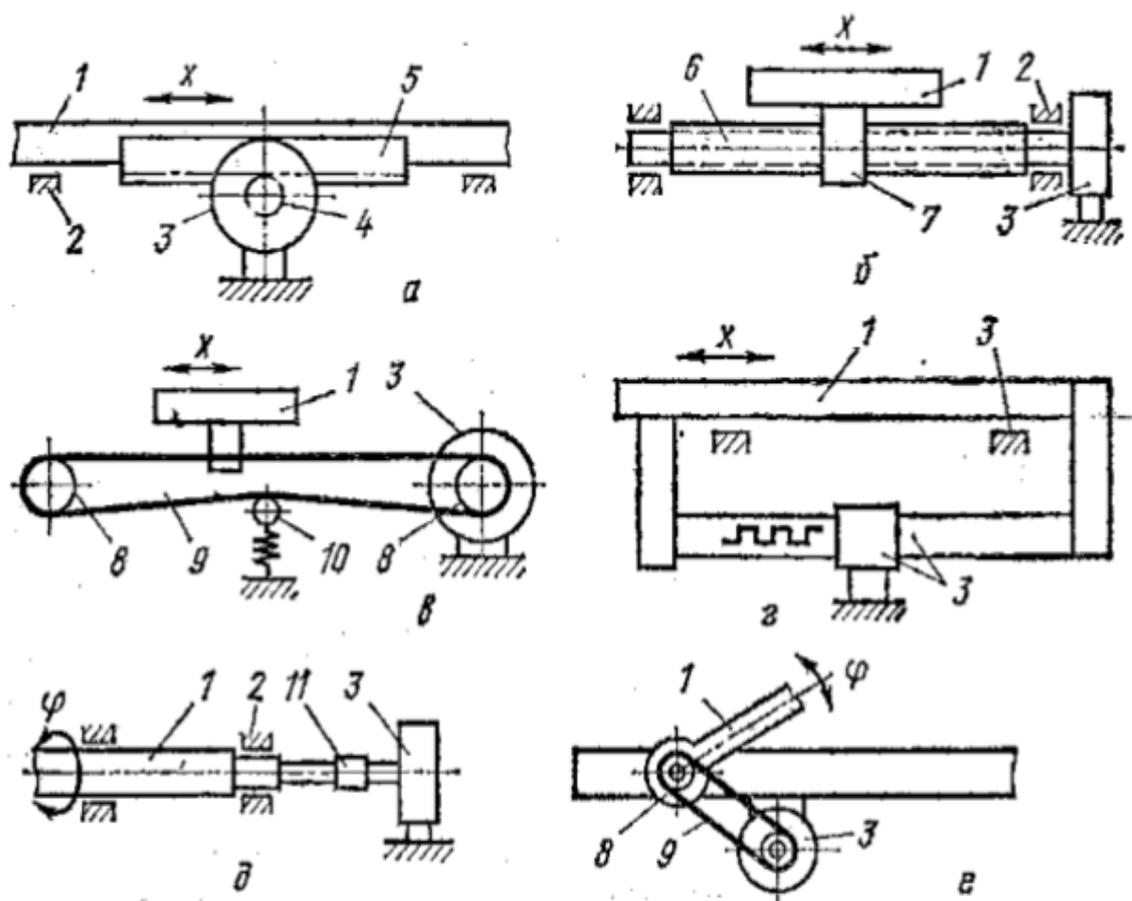


Рис. 2.10. Основные варианты конструктивных схем связи датчика со звеном манипулятора

На практике обычно отдается предпочтение вращательным датчикам перемещений, так как они более технологичны, отличаются относительной легкостью подсоединения к измеряемому звену и обеспечивают хорошую разрешающую способность. Датчики перемещения либо непосредственно подсоединяются к подвижному элементу, либо соединяются с ним посредством механической передачи того или иного типа. На рис. 2.10, а приведен вариант связи поступательно перемещающегося звена 1 с вращательным датчиком 3 с помощью зубчатого колеса 4 и зубчатой рейки 5. Точность измерений перемещения x определяется в первую очередь погрешностью зубчатого зацепления и качеством механической обработки.

В схеме, приведенной на рис 2.10, б, вращение ходового винта 6 вызывает линейное перемещение x гайки 7, к которой крепится подвижное звено 1. С ходовым винтом связан вал вращательного датчика 3, измеряющего угол поворота ходового винта 6, а следовательно, и перемещение x звена 1. Погрешность измерения этой схемы зависит от механического преобразователя вращательного движения в линейное, что определяется точностью ходового винта, гайки, опорных подшипников 2 и качеством сборки механической передачи. Более точную передачу движения на вращательный датчик 3 можно обеспечить (Рис. 2.10, в) с помощью гибкого тросика 9, шкивов 8 и устройства натяга 10. Следует отметить, что при измерении линейного перемещения подвижного звена наибольшую результирующую точность обеспечивает вариант с непосредственным подсоединением к подвижному звену линейного датчика перемещения (рис. 2.10, г), так как механическая передача между подвижным звеном 1 и датчиком 3 лишь увеличивает погрешность измерения перемещения. Аналогично при измерении углового перемещения подвижного звена 1 предпочтителен вариант подсоединения к нему вращательного датчика 3 либо непосредственно, либо с помощью соединительной муфты 11 (рис. 2.10, д). Если конструкция манипулятора не позволяет осуществлять такой вариант, то ось подвижного звена 1 можно связать с входным валом вращательного датчика 3 механической передачей, в частности, в виде шкивов 8 и гибкого тросика 9 (рис. 2.10, е).

В системах восприятия внешней среды наибольшее применение находят системы технического зрения. В качестве датчиков в таких системах используют телевизионные передающие трубки (видиконы) либо полупроводниковые матричные формирователи сигналов изображения на основе фотодиодных матриц. Монтаж датчиков систем технического зрения производят преимущественно на конце руки или рабочих органах ПР. При этом необходимо обеспечить надежное крепление датчиков и одновременно создать условия для возможности обзора области захвата объектов манипулирования. Видиконы и матричные формирователи не должны мешать работе рабочих органов ПР и не должны быть повреждены объектами манипулирования в любых рабочих ситуациях. На рис. 2.11 показан пример установки видикона 2 на фланце руки ПР 1. К этому же фланцу посредством разъема крепится рабочий орган 3 с матрицей пневматических присосок 4.

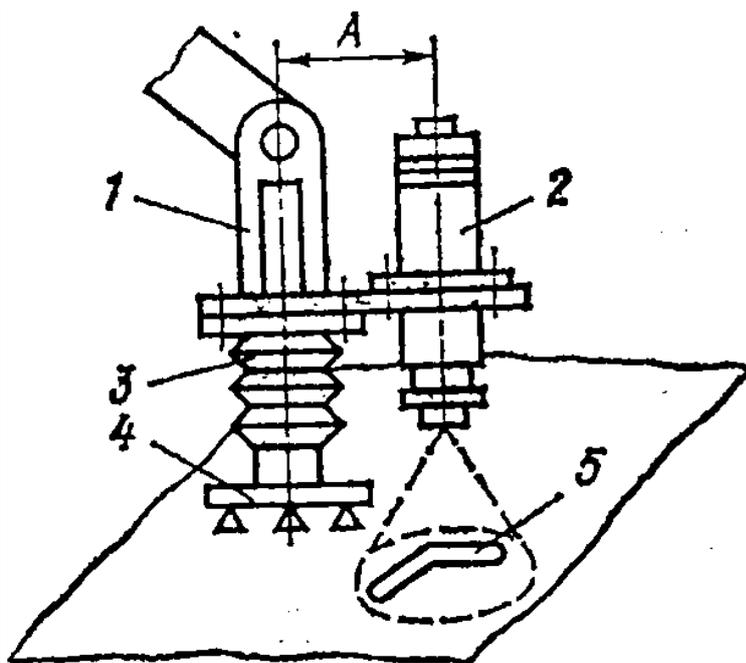


Рис. 2.11. Монтаж видеокамеры на руке робота

Оси руки ПР и видикона смещены в горизонтальной плоскости на расстояние A , определяемое конструктивными размерами элементов. В процессе работы ПР с помощью видикона осуществляет поиск объекта 5 на плоскости захвата. Затем координаты объекта переносятся в память устройства управления и ПР перемещается в направлении центра объекта на величину фиксированного расстояния A для захвата.

Электрические машины и аппараты в зависимости от их веса и габаритов поступают на монтаж от заводов-изготовителей в собранном или разобранном виде в соответствующей упаковке. Выгружают их с транспортных средств кранами и в исключительных случаях на катках по наклонным настилам, хранят в сухих вентилируемых помещениях. Части машин, подверженные коррозии, покрывают слоем технического вазелина или какой-либо другой смазки. Шейки валов покрывают антикоррозионной смазкой, обертывают влагонепроницаемым материалом и защищают от механических повреждений. При приемке электрических машин и аппаратов под монтаж проверяют их целостность, соответствие заводских характеристик проектным и комплектность. Во избежание повреждения машин и аппаратов их распаковывают осторожно в закрытом, сухом и чистом помещении, недоступном для посторонних лиц. Помещения для установки электрических машин

и аппаратов принимают от строительных организаций под монтаж в состоянии, годном для нормального ведения работ, и с готовыми фундаментами для машин.

Помещения должны иметь проемы в стенах и перекрытиях для транспортирования тяжелого и крупногабаритного электрооборудования. Если проектом предусмотрена закладка в фундаменты стальных труб, предназначенных для прокладки в них проводов или кабелей, электромонтажная организация укладывает их еще до бетонирования фундамента, одновременно с вязкой арматуры.

Размеры помещений, основные размеры фундаментов, размещение и размеры колодцев под анкерные болты, проемов и ниш, размещение осей фундаментов проверяют по данным чертежей проекта.

Непосредственно перед началом монтажа производят ревизию и регулировку электрических машин и аппаратов. При ревизии проверяют крепление обмоток, наличие доски с выводными зажимами, исправность активной стали, отсутствие вмятин, задиров, ржавчины, состояние выводов обмоток, коллектора и щеточных устройств у машин постоянного тока и контактных колец у машин переменного тока, шеек валов, правильность соединений обмоток, величины зазоров, сопротивление изоляции обмоток. У электрических аппаратов проверяют и регулируют одновременность включения контактов, раствор контактов, работу механизмов зацепления и срабатывания и др.

Обнаруженные мелкие дефекты устраняют собственными силами. Для устранения серьезных дефектов аппараты отправляют на завод-изготовитель или в специальные ремонтные мастерские. Машины и аппараты, прибывающие на монтаж в собранном виде, разбирают только в том случае, если возникают сомнения в их исправности после транспортировки и хранения. Разборку и последующую сборку машин и аппаратов производят так, как это указано в инструкции завода изготовителя. На первой стадии монтажа низковольтной пускорегулирующей аппаратуры, приборов контроля и защиты в соответствии с общим принципом организации электромонтажных работ размечают и пробивают гнезда, проемы и отверстия в строительных основаниях для крепления и заделки в них опорных конструкций или крепежных деталей.

Разметку ведут по отметкам чистого пола, наносимым на стенах или перегородках (представителями строительной организации) чер-

ной краской в виде полос шириной 10 и длиной 100–150 мм, в соответствии с данными чертежей проекта или по размерам, снятым с натуры, пользуясь шаблонами для ускорения этой операции. (Последнее особенно целесообразно при установке большого количества однотипного оборудования.) Разметку начинают с нанесения основных вертикальных и горизонтальных осей мест установки оборудования, а затем размечают места заделки опорных конструкций или крепежных деталей (болтов, шпилек, дюбелей и т. п.). На металлических опорных поверхностях оборудование крепят или непосредственно винтами и болтами, или с помощью конструкций, привариваемых электросваркой к металлическим опорным поверхностям. Крепежные детали и опорные конструкции, если они не выпускаются заводами, изготавливают в мастерской по эскизам группы подготовки производства или чертежам проекта. В мастерской выполняют также ревизию низковольтных аппаратов и подготовку их к установке.

2.5. Монтаж роботизированных технологических комплексов

При монтаже роботизированного технологического комплекса особое внимание нужно уделять системе обеспечения техники безопасности. Системы обеспечения техники безопасности осуществляют аварийную блокировку работы ПР при воздействии на отдельные его части и узлы предельных усилий, а также при попадании в рабочую зону ПР людей. Ограждение рабочей зоны ПР может выполнено на базе устройств с контактными, силовыми, ультразвуковыми, индукционными, светолокационными и другими датчиками. К числу таких устройств относятся трапики, переходные мостики, буфера, чувствительные матрицы.

Система светозащиты рабочей зоны ПР, выполненная по модульному принципу и обеспечивающая эффективную защиту человека при любых конфигурациях РТК. В состав системы входят стойки светоизлучателей и фотоприемников, применяемых попарно, а также блок логических преобразователей. В состав стойки светоизлучателя входят излучатель, сигнальный светофор и кнопка сброса, а в состав стойки фотоприемника - приемник, сигнальный светофор, кнопка сброса и плата усиления выходного сигнала фотоприемника. Стойки излучате-

лей и фотоприемников предназначены для регистрации момента появления человека в соответствующей зоне рабочего пространства ПР. На рис.2.12 приведены типовые конфигурации РТК и места монтажа светоизлучающих стоек. Светоизлучатели и фотоприемники рекомендуется крепить на стойках на высоте 0,8 – 1 м от уровня пола.

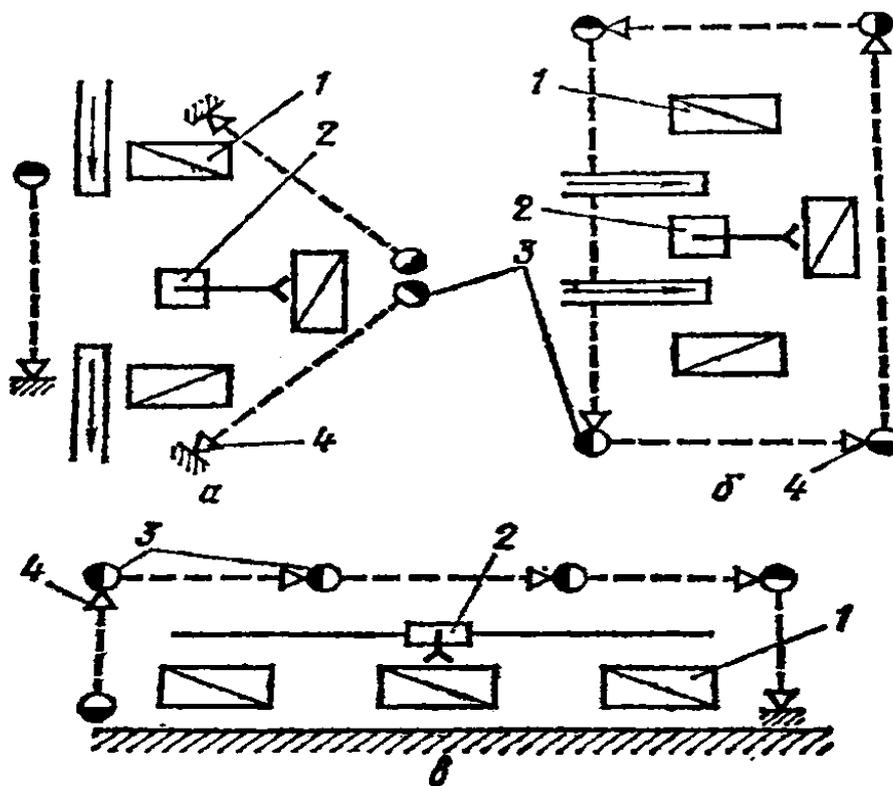


Рис. 2.12. Типовые конфигурации РТК
 1 – технологическое оборудование, 2 – ПР,
 3 – светоизлучатель, 4 – фотоприемник

Луч света должен быть сфокусирован и освещать поверхность фотоприемника, работающего в паре со светоизлучателем. На этих же стойках размещаются кнопки сброса аварийной блокировки.

Пересечение светового луча при входе человека в зону рабочего пространства приводит к включению всех лампочек-светофоров стоек, ограничивающих эту зону. Таким образом, осуществляется сигнализация запрещенной для работы ПР зоны рабочего пространства (рис 2.12, а). Если ПР находится в этой зоне, либо входит в нее, что регистрируется соответствующими бесконтактными выключателями, то формируется команда на аварийное торможение и выключение движения работа (рис. 2.12, б). При необходимости может быть вновь дано

разрешение на одну из кнопок «Сброс», находящихся на стойках, ограничивающих запрещенную зону работы ПР (рис. 2.12, в).

В целях большей безопасности обслуживающего персонала помимо светозащиты предусматривают монтаж дополнительных устройств, одним из которых являются выдвижные упоры, расположенные в местах, ограничивающих работу зоны ПР. При появлении в этой зоне человека упоры выдвигаются (как по команде оператора, так и по сигналу устройства светозащиты) и препятствует перемещению ПР в эту зону.

Если РТК имеет круговое ограждение с одной или несколькими калитками, то в поверхность пола на входе калиток можно вмонтировать гравитационные трапы, верхняя горизонтальная поверхность которых должна быть на уровне пола. Длина трапа не должна быть меньше 1 м, с тем чтобы человек при нормальном шаге хотя бы одной ногой обязательно наступил на трап. Это вызывает блокировку движений ПР и элементов РТК. После монтажа датчиков информационных систем всех видов осуществляется подключение их к информационным магистралям в соответствии с проектом, и передача в комплексе с другим оборудованием в наладку.

Планировка участков и линий ПР, РТК должна обеспечивать свободный, удобный и безопасный доступ обслуживающего персонала к ПР, основному и вспомогательному технологическому оборудованию, к органам управления и аварийного отключения всех видов оборудования и механизмов, входящих в их состав. Например, требованиям обеспечения свободного доступа к оборудованию и его осмотра в большей степени соответствуют подвесные передвижные ПР, рабочие зоны которых не совмещены с рабочими зонами операторов. Планировка зоны РТК должна проводиться в зависимости от типа используемого технологического оборудования, его компоновки, формы, размеров и расположения рабочих зон, уровня автоматизации оборудования, надежности его работы и степени информационного обеспечения, а также от компоновки и структурно-кинематической схемы ПР с учетом действующих норм технологического проектирования соответствующего производства. При манипулировании и перемещении заготовок, готовых изделий и т. п. над проходами, проездами и рабочими местами под зоной движения исполнительных устройств ПР устанавливают за-

щитные сетки и другие устройства, исключающие травмирование персонала при случайном падении предметов манипулирования. Пульт управления РТК по ГОСТ 22269–76, как правило, размещается за пределами зоны ограждения с обеспечением оператору возможности хорошего обзора за работой ПР, технологического оборудования, входящего в состав комплекса, и окружающего его пространства. Освещенность пультов управления РТК должна составлять по ГОСТ 12.2.072–82* не менее 400 лк. Освещенность в рабочей зоне устанавливается СНиП II-4–79 и отраслевыми нормами соответствующих производств. Так, роботизированные комплексы для обработки отливок (ТУ 2-043-862–88) имеют освещенность площадок обслуживания 400 лк, а отраслевые нормы (ОСТ 5.9854–80) устанавливают общую освещенность рабочих мест на поточно-механизированных сварочных линиях 300 лк при использовании газоразрядных ламп и 200 лк – при лампах накаливания. Шумовые и вибрационные характеристики РТК должны соответствовать ГОСТ 12.1.003–83. При размещении постов управления РТК, участками или линиями в закрытых кабинах минимальные внутренние размеры кабины по ГОСТ 12.2.072–82* должны составлять: высота – 2100 мм, ширина – 1700 мм, длина – 2000 мм, ширина дверного проема – 600 мм. Температуру, относительную влажность, скорость движения воздуха и содержание вредных веществ в воздухе кабины или помещения, откуда ведется управление комплексом, устанавливают по ГОСТ 12.1.005–76. Количество подаваемого в кабину воздуха определяют по СН 245–71. Интенсивность лучистого потока, поступающего через смотровые окна кабины, не должна превышать 1200 кДж/(м²ч), а уровень звука – до 80 дБА. Зоны размещения органов управления на пультах и средства отображения информации выполняют в соответствии с требованиями ГОСТ 23000–78, ГОСТ 22269–76, ОСТ 12.2.033–78, ГОСТ 12.4.040–78*. Оснащение РТК, участков, линий унифицированными комплектами средств для диагностирования состояния оборудования в процессе эксплуатации и оценки состояния внешней среды с выводом оперативной информации на дисплеи пультов управления позволяет значительно повысить уровень безопасности производственных процессов, обслуживающего персонала и безаварийной работы оборудования в составе РТК.

В общем случае монтаж РТК производят в следующей последовательности:

1. В соответствии со строительным заданием изготавливают фундаменты под ПР, технологическое и околороботное оборудование, каналы для кабельных и трубопроводных магистралей.

2. Производят установку ПР на фундаменте, методы его выверки и крепления описаны выше. Затем устанавливают шкаф управления ПР, соединяют ПР со шкафом информационными и силовыми кабелями, прокладываемыми без крепления в каналах, и подают на шкаф управления временное питание.

3. При включенном питании проверяют отработку движений ПР по степеням подвижности при управлении с выносного пульта управления, а также уточняют направление оси синхронизации ПР и границы его рабочей зоны, особенно по углу поворота основания.

4. Производят установку технологического оборудования.

5. Далее устанавливают магазины выдачи заготовок.

6. Устанавливают шкаф пневмооборудования, производят прокладку трубных проводок к прессам, магазинам и соединяют трубные проводки с элементами пневмооборудования согласно проекту.

7. Монтируют шкаф электрооборудования, датчики положений механизмов, осуществляют прокладку силовых и информационных кабелей и подключение их к элементам электрооборудования.

8. Монтируют элементы информационной системы обеспечения техники безопасности (выключатель открывания входа в ограждение, световой барьер) и вводят блокировки в системы управления ПР и околороботного оборудования.

9. Производят закрепление трубных проводок, силовых и информационных кабелей в каналах и закрывание их крышками.

10. РТК по акту сдают в наладку.

Вопросы для самопроверки

1. Каким образом производится закрепление на площадке монтажных осей и отметок?

2. Назовите способы установки и крепления в фундаменте фундаментных болтов.

3. Порядок монтажа ПР, поставляемых в разобранном виде.

4. Как производится выверка ПР и оборудования?

5. Назовите способы установки пневмо- и гидроцилиндров.

6. Из каких соображений определяются внутренний диаметр пневмогидропроводок и допустимый радиус внутренней кривой изгиба труб?

7. Назовите основные способы монтажа шкафов устройств управления ПР?

8. Основные способы монтажа соединительных проводов на панелях.

9. Как выполняется электропроводка при монтаже электрооборудования непосредственно на исполнительном устройстве ПР?

10. Правила заземления электрооборудования ПР.

11. Назовите основные варианты конструктивных схем связи датчиков информационных систем с звеном манипулятора.

12. На базе каких датчиков и устройств может быть выполнено ограждение рабочей зоны ПР?

13. Назовите рекомендуемую последовательность монтажа элементов РТК.

Глава 3. НАЛАДКА И НАСТРОЙКА РОБОТОВ И МЕХАТРОННЫХ СИСТЕМ

Различают три вида наладки технологического оборудования: первичную – перед проведением приемочных испытаний и сдачей на заводе-изготовителе; контрольную – перед сдачей в эксплуатацию после монтажа на предприятии-потребителе; вторичную – после планового ремонта или восстановления работоспособности при поломках и отказах. Наладка производственных систем на заводах-изготовителях проводится в соответствии с технической документацией и техническими условиями.

Контрольная наладка, которая выполняется, как правило, силами специалистов завода-изготовителя либо специализированной пусконаладочной организации, предназначена для проверки и обеспечения (при необходимости) характеристик оборудования, указанных в документации изготовителем. Контрольная наладка предусматривает проверку и обеспечение характеристик оборудования и организацию вза-

имодействия всех составных частей РТК в соответствии с требованиями технологического процесса. При этом каждая единица оборудования должны быть проверены при максимальных нагрузке и скоростных режимах. При вторичной наладке производят настройку всех систем с целью восстановления их первоначальных (паспортных) характеристик. Она производится силами предприятия-потребителя.

3.1. Наладка механических устройств ПР и мехатронных систем

Наладка механических устройств проводится с целью достижения основных механических и кинематических характеристик ПР и мехатронных систем. К таким характеристикам относятся: максимальные или требуемое перемещения звеньев, их скорости, время перемещения захватного устройства из одной точки в другую, точность позиционирования рабочего инструмента при максимальной скорости.

Наладку механических устройств ПР и мехатронных систем следует начинать с изучения кинематической схемы. Это дает возможность разбить всю систему на узлы и механизмы и определить порядок их взаимодействия.

ПР состоят из соединенных в той или иной последовательности опорных систем, оснований, механизмов поворота, подъема, выдвижения руки, захватного устройства и т. п. В зависимости от грузоподъемности ПР, типа привода и системы координат, в которых они работают, механизмы ПР имеют различную конструкцию. Однако это не мешает выработке ряда общих правил и приемов, используемых при наладке.

Для проведения наладочных работ необходимо пользоваться общими видами ПР и его узлов, схемами размещения узлов и оборудования, техническим описанием и инструкцией по эксплуатации, картой смазки. Вся документация перед наладкой должна быть тщательно изучена.

Внешним осмотром должны быть проверены правильность выполнения монтажных работ, качество сборки узлов и элементов робота. Все крепежные болты должны быть затянуты, соединения должны быть надежными. Учитывая, что механическая система ПР представляет собой разомкнутую кинематическую цепь, наладку целесообразно выполнять последовательно каждого отдельного механизма (например, основания, механизма поворота, механизма подъема и т.

д.), используя уже налаженные механизмы для наладки последующих. В процессе наладки каждого механизма необходимо многократно повторять его движения, наблюдая при этом за его работой. В случае обнаружения отказов наладчик должен выяснить причину отказа, устранить ее и вновь испытать механизм в работе. В ПР с цикловым управлением и пневматическими приводами звеньев выход объекта манипулирования в заданную точку осуществляется по регулируемым жестким упорам. Плавная остановка по упорам выполняется демпферами, а выход в заданные точки контролируется микровыключателями. Основной объем работ по настройке механических систем таких ПР заключается в регулировке плавности хода механизмов и выставлении упоров, ограничивающих движение звеньев. Регулировка скорости перемещения штоков пневмоцилиндров производится при помощи дросселей с обратными клапанами. В ПР с контурным управлением и электромеханическим приводом используется следящий принцип управления с обратной связью по положению звеньев манипулятора и наладку приводов производят путем настройки параметров регуляторов на заданные технические характеристики. Наладку и программирование робота следует начинать при остановленном обслуживаемом оборудовании и при отключённом электропитании робота. Вначале необходимо задать требуемые перемещения робота (крайние точки по каждой координате). При этом проверяют отсутствие заеданий, особенно в конце хода.

Наладка подшипниковых узлов

В процессе наладки механической части ПР и мехатронных систем важно проверить отсутствие люфтов и создание натяга заданной величины в подшипниковых узлах. Подшипники используются в конструкциях фиксирующих либо плавающих опор. Для плавающих опор применяют посадку подшипника с зазором, обеспечивающую подвижность внешнего кольца подшипника в осевом направлении (схемы Рис.3.1а, б). Обычно плавающей делают опору, которая несёт меньшую часть радиальной нагрузки. При создании фиксирующей опоры длинного вала часто используют два подшипника для увеличения жёсткости (схема б). Температурное перемещение обеспечивается посадкой радиального шарикоподшипника с зазором (внешнее кольцо подвижно) либо применением радиального роликоподшипника с цилиндрическими роликами.

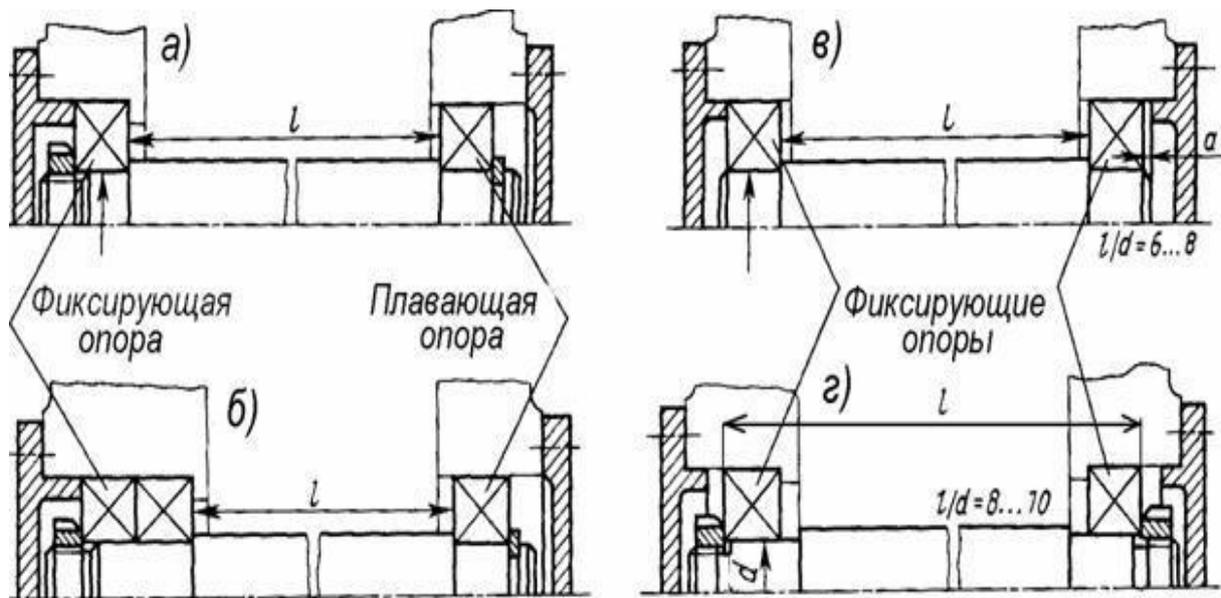


Рис. 3.1. Схемы установки подшипников

Наружные и внутренние кольца фиксирующих опор неподвижны (схема в, г) в осевом направлении и препятствуют смещению вала в ту или в другую сторону. Применение фиксирующих опор допустимо при установке коротких валов враспор в условиях незначительного нагрева. Вал с фиксирующими опорами удобен при монтаже, но требует контроля линейных допусков и учёта теплового расширения, чтобы предотвратить заклинивание тел качения. Для радиально-упорных подшипников установка враспор должна включать возможность осевой регулировки. Величина внутреннего зазора определяет взаимное расположение пары однорядных радиально-упорных шарикоподшипников. Внутренний зазор выставляют после их монтажа, причём осевую фиксацию обеспечивает второй подшипник. Для повышения точности и жёсткости подшипниковых узлов, устранения люфтов и улучшения виброакустических параметров, рекомендуют установку подшипников с предварительным натягом. Преднатяг, т.е. заданная осевая нагрузка, компенсирует зазоры подшипника, создаёт упругую деформацию между максимально возможным количеством тел качения подшипника и его кольцами, предотвращает их проскальзывание. Типичные примеры применения преднатяга - это небольшие быстроходные электродвигатели, шпиндели станков и т.п.

В случае возникновения проблем с подшипником или его установкой, или с тем и другим, температура подшипника не выравнивается, а

возрастает до аномального уровня. Температура насыщения подшипника варьируется в зависимости от теплоемкости, теплоотдачи, количества вращений и нагрузки самого станка. Как правило температура варьируется от 20°C до 30°C. Возможные причины постоянного роста температуры до аномальных пределов следующие: чрезмерная подача консистентной смазки или масла; непредусмотренная нагрузка на подшипник; чрезмерное трение уплотнений подшипника; неправильный контакт подшипника ввиду несоответствия вала, корпуса или заплечиков; недостаточный зазор подшипника; завышенная скорость по отношению к типу подшипника и способу смазки; неправильный контакт подшипника; дефекты подшипника и др. Более того, это могут быть случаи неправильной установки, неточного изготовления или неверного выбора подшипника. Звук подшипника можно проверить с помощью локатора шума или другого соответствующего устройства, приложив его к корпусу. Ненормальные звуки, такие как громкие звуки металла, странные необычные шумы, могут быть вызваны недостаточной смазкой, неподходящим выбором вала или корпуса, попаданием чужеродных частиц или соринок в подшипник, или наличием дефекта подшипника. Даже небольшое отслаивание подшипника создаст аномальный или неровный шум, который опытный работник с помощью локатора легко отличит от нормального шума. Несмотря на то, что температуру можно грубо определить, просто прикоснувшись к поверхности корпуса, все же рекомендуется вставить термометр в отверстие для смазки или в подобное отверстие для непосредственного измерения температуры. Подшипники для движущихся устройств, у которых невозможно проводить мониторинг шума или температуры во время функционирования, например, роликовые подшипники для транспортных средств, необходимо периодически проверять и смазывать свежей смазкой. Проверка состояния смазки во время работы также является полезным способом определения технического состояния подшипника. Техническое состояние может быть определено по количеству грязи и мелкого железного порошка, содержащегося в смазке, а также по любому признаку утечки или ухудшения качества смазки. Каждый раз при выявлении неисправностей или поломок подшипника в результате таких проверок подшипник необходимо разобрать для дальнейшего тщательного обследования и определения причин возникновения неполадок.

Регулировка зазора-натяга по нагреву опор

Температуру подшипников измеряют с помощью термопар, устанавливаемых в отверстиях корпуса шпиндельной бабки так, что они непосредственно касаются наружных колец подшипников, либо с помощью термометров, устанавливаемых в отверстиях в корпусе бабки (отверстия заполняют маслом). Нагрев опор не должен превышать известных границ, но и не должен быть ниже известного уровня. Если указанное условие не выполнено - проводится регулировка подшипников. Такой метод регулировки возможен лишь при том условии, что показатели точности подшипников и сопряженных с ними деталей имеют малое рассеяние.

Регулировка зазора-натяга по моменту трения

По результатам исследования прототипа станка устанавливают допуск на величину момента трения покоя или движения (при медленном) вращении. Изменяют момент трения с помощью рычага с грузом, гибкой тяги с пружинным динамометром или с помощью рычага и манометра. Достоинство описанного метода - измерение очень простое и кратковременно. Однако еще в большей мере, чем при испытаниях на нагрев, стабильность регулировки подшипников зависит от постоянства точностных параметров подшипников.

Наладка устройств выборки люфта в механических передачах

Различают два способа выборки бокового зазора в винтовых механизмах – радиальное и осевое смещение гайки относительно винта. При радиальном способе осуществляют сжатие гайки в радиальном направлении, а при осевом способе – смещение гайки относительно винта в осевом направлении. Устройства, обеспечивающие выборку радиальной составляющей бокового зазора, представляют собой разрезные гайки. Конструкция люфтовывбирающего механизма с разрезной гайкой показана на рис. 3.2. Две половинки гайки 1 стягиваются винтами 3 и обжимают винт 2. При этом создается неравномерное обжатие винта, что вызывает неравномерный износ резьбы гайки. Выборку осевой составляющей бокового зазора осуществляют путем относительного осевого смещения части составной гайки. На рис. 3.2, а показана конструктивная схема

люфтовывбирающего механизма на основе гайки с жесткой регулировкой осевого зазора, в котором выборку осевой составляющей бокового зазора осуществляют поворотом гайки 1.

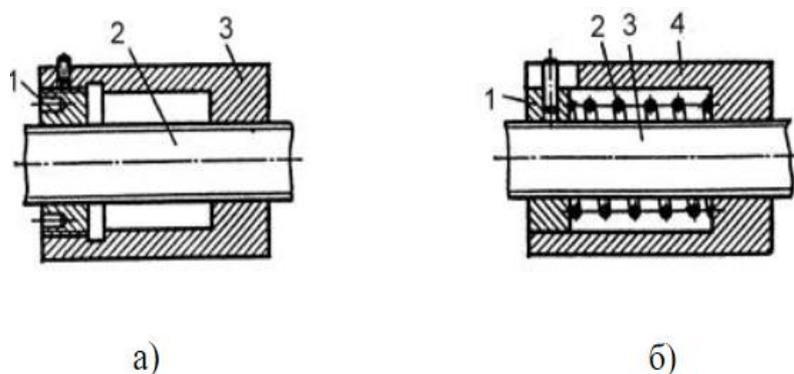


Рис. 3.2. Конструкция люфтовывбирающего механизма с разрезной гайкой

При этом обеспечивается одновременный контакт правых профилей резьбы винта 2 и левых профилей гайки 1, а также левых профилей резьбы винта 2 и правых профилей резьбы гайки 3 при сжатии витков винта. Люфтовывбирающий механизм на основе гайки с эластичной регулировкой осевого зазора показан на рис. 3.2, б. Выборку осевой составляющей бокового зазора осуществляет пружина 2, отжимая гайку 1 от гайки 4, обеспечивая двухпрофильный контакт резьбы винта 3 с резьбами гаек 1 и 4. Расчет пружины проведен в разделе 9.2. Механизмы выборки мертвого хода на основе гаек с жесткой и эластичной регулировкой осевой составляющей бокового зазора обеспечивают высокую точность относительного перемещения винта и гайки при их движении как в прямом, так и в обратном направлениях. В мехатронных модулях используют механизмы выборки бокового зазора между зубьями колес зубчатых передач двух типов: автономные и с дополнительной кинематической цепью (замкнутым энергетическим потоком). В автономных механизмах выборки мертвого хода используют метод раздвоения ведомого колеса, где в качестве силовых элементов используют пружины.

На рис. 3.3 приведена конструктивная схема такого механизма. Основная половина 1 раздвоенного зубчатого колеса закреплена на валу, а вторая половина 2 образует с втулкой основной

половины 1 колеса подвижное соединение и ее фиксируют от осевого смещения шайбой 3. Под влиянием пружины 4, закрепленной одним концом на половине 1 колеса, другим – на половине 2, половинки колес поворачиваются относительно друг друга в разные стороны и выбирают боковой зазор между зубьями ведущего и ведомого колес.

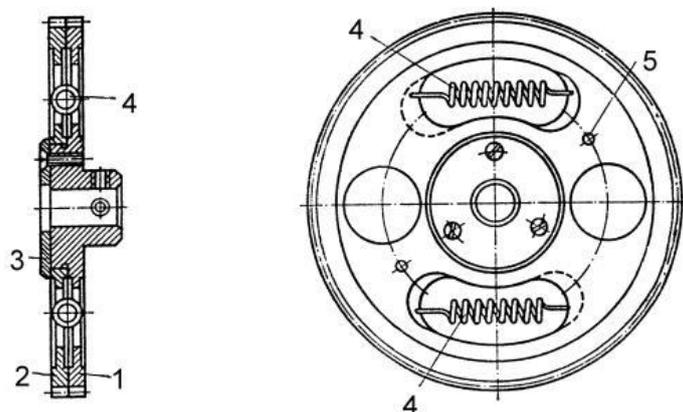


Рис. 3.3. Конструктивная схема выборки зазора

Пружину 4 устанавливают во время сборки механизма с предварительным натяжением, достаточным для выборки мертвого хода в данной зубчатой паре и передаче крутящего момента другого знака, т.е. при реверсе. При наличии мертвого хода необходимо установить пружину большей жесткости.

Кроме выборки зазора при помощи пружин используют жесткую фиксацию, заключающуюся в предварительном относительном смещении половинок раздвоенного зубчатого колеса и их жестком закреплении при помощи винтов, болтов, клеммовых соединений и т.д. Основными недостатками выборки мертвого хода методом раздвоения колеса являются: наличие большого числа дополнительных элементов (пружин, зубчатых колес, винтов и т.д.), увеличенные потери в зацеплении, обусловленные тем, что трение возникает не только на рабочей стороне зуба, но и на нерабочей. Это приводит к ускоренному износу зубьев. Указанные недостатки частично могут быть устранены в механизмах выборки

мертвого хода с дополнительной кинематической цепью (безлюфтовые механизмы с замкнутым энергетическим потоком). Они позволяют осуществить полный выбор люфтов во всех составляющих звеньях путем принудительного разворота в противоположные стороны двух соосно расположенных элементов одной из передач. На рис.3.4 приведена схема безлюфтового планетарного механизма.

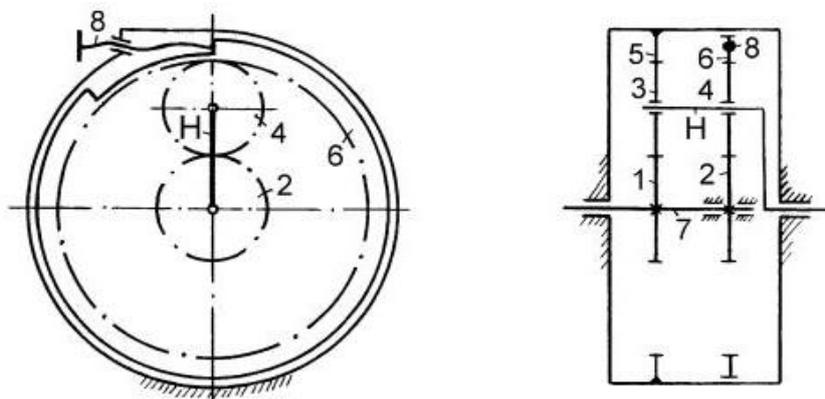


Рис. 3.4. Схема безлюфтового планетарного механизма

Обычно для образования замкнутого контура к исходной кинематической цепи добавляют точно такую же параллельно расположенную кинематическую цепь, однако это не обязательно. Иногда замыкающая кинематическая цепь может представлять собой цепь иного рода, чем исходная. Исходная кинематическая цепь состоит из центрального колеса 1, сателлита 3, закрепленного на водиле H и неподвижного центрального колеса 5. Для выборки люфтов устанавливают дополнительную кинематическую цепь, состоящую из центрального колеса 2, соединенного с центральным колесом 1 при помощи упругого элемента (торсиона, пружины) 7, сателлита 4, подвижного центрального колеса 6 с внутренним зацеплением и винта 8.

При завинчивании винта 8 подвижное центральное колесо 6 поворачивается и выбирает зазор в паре зубчатых колес 6-4. Затем начинается поворот сателлита 4 и выбирается зазор в паре 4-2. Далее через торсион 7 поворот передается центральному колесу 1 и

выбирается зазор в паре 1-3 и далее поворот сателлита 3 приводит к выборке зазора в паре 3-5. После выборки всех зазоров во всей кинематической цепи происходит дополнительная закрутка торсиона 7, что обеспечивает постоянный натяг в цепи и исключает появление люфта при износе элементов отдельных передач.

3.2. Наладка пневмогидрооборудования ПР

Наладку пневмогидрооборудования ПР начинают с внешнего осмотра. При внешнем осмотре проверяют правильность сборки пневмо- или гидросистемы ПР по соответствующим схемам, обращая особое внимание на соответствие смонтированной аппаратуры, правильность ее установки и присоединения к трубопроводам. Затем трубные проводки пневмо- и гидросистем продувают сжатым воздухом или инертным газом. Данную операцию выполняют для удаления из трубопроводов твердых частиц и пыли, которые неизбежно попадают в них при проведении монтажных работ. Продувку ведут со стороны исполнительных механизмов в сторону блока подготовки воздуха или гидростанции. Сжатый воздух, используемый для продувки, должен быть осушен и очищен от масла и пыли. При продувке воздухом рекомендуется все сварные швы простукивать молотком. После продувки трубопроводов производят их соединение с аппаратами и проверяют герметичность и прочность пневмогидросистем. Для этого в систему подается пробное давление сжатого воздуха, которое для пневмосистем должно составлять 1,5, а для гидросистем 1,25 номинального давления. Поднимать давление в системах следует постепенно, делая выдержки при величинах 0,3; 0,6 и 1,0 пробного давления. Во время выдержек проверяют все сварные стыки, фланцевые и резьбовые соединения путем обмазки мест соединений мыльной водой и наблюдения за появлением пузырей. Обнаруженные места утечек воздуха отмечают и после снятия давления производят подтяжку соединений. Для полного устранения всех утечек подобные операции повторяют 2–3 раза. При проверке пневмогидросистем на прочность их выдерживают при пробном давлении в течение 5 мин, затем плавно снижают давление и производят осмотр. Элементы пневмогидросистем не должны иметь вспучиваний, трещин, течей, запотеваний. Если в соответствии с ТУ на ПР или РТК проверку смонтированных пневмо- и гидросистем необхо-

димо проводить с отключением исполнительных механизмов, клапанов, то трубные проводки закольцовывают с помощью переходников. Следует помнить, что при первоначальном пуске ПР возможны любые случайные движения его исполнительных органов. Поэтому необходимо принять меры для исключения возможных аварийных ситуаций путем установки соответствующих упоров, тщательного наблюдения за движением рабочих органов в момент запуска. Наладку пневмогидрооборудования следует проводить в соответствии с рекомендациями, указанными в инструкциях к ПР. Рекомендуется дополнительно к инструктивному материалу прилагать паспорт типовых неполадок и способов их устранения, а все данные, полученные при наладке, заносить в паспорт наладки. Схему пневматической или гидравлической системы ПР рекомендуется расчленять на структурные развертки в виде комплекта магистральных контуров типовой структуры, составленной по элементам рабочего цикла. Каждый магистральный контур обеспечивает выполнение только определенных функций, поэтому наладка, выполняемая по данной системе, становится более определенной, а все неполадки исключаются посредством последовательной проверки работы аппаратуры каждого магистрального контура. Магистральные контуры определяются схемами движения сжатого воздуха или рабочей жидкости.

Выделение магистральных контуров и схем движения потоков рабочего тела производят в следующей последовательности:

- 1) рабочий цикл ПР разбивают на такты, соответствующие движениям рабочего органа между точками позиционирования как основными, так и промежуточными (например, исходное положение – опускание руки для захвата детали – подъем руки с деталью – поворот руки – выдвижение руки – опускание руки и освобождение детали – подъем руки – выдвижение руки – обратный поворот – исходное положение);
- 2) для каждого такта определяют перечень участвующих в работе клапанов, распределителей, дросселей, гидродвигателей и т. п.;
- 3) по принципиальной и монтажной схемам определяют каналы, соединяющие участвующие в работе аппараты;
- 4) выявляют магистрали подвода и отвода рабочего тела;
- 5) полученную развертку располагают между напорной и сливной (сбрасывающей) магистралями.

Перед пуском ПР с пневматическим приводом необходимо залить масло в маслораспределитель блока подготовки воздуха и проверить

затяжку винта сброса конденсата на фильтре-влагоотделителе. С целью предотвращения превышения давления в пневмосистеме ПР в первоначальный момент работы необходимо повернуть регулировочный винт редукционного пневмоклапана против часовой стрелки до упора. Затем необходимо открыть запорный вентиль подвода сжатого воздуха от внешней магистрали и с помощью редукционного пневмоклапана установить требуемое давление сжатого воздуха. Дальнейший пуск ПР осуществляется с пульта оператора устройства управления.

Перед пуском ПР с гидравлическим приводом в гидробак необходимо залить чистое масло, заполнить маслом трубопроводы и удалить из системы воздух. При этом пружины напорных гидроклапанов насосов должны быть полностью ослаблены. Краны или пробки для выпуска воздуха, установленные в наивысших точках гидросистем, открывают, накидные гайки на концах магистральных труб ослабляют. После того, как при включенных электромоторах из кранов и из-под гаек пойдет чистое масло, электродвигатели насосов отключают, краны закрывают, а напорные гидроклапаны насосов настраивают на рабочие давления, указанные в инструкциях. Необходимо также выпустить воздух из гидроцилиндров, для чего приоткрывают золотники в крышках гидроцилиндров, а поршни гидроцилиндров перемещают несколько раз на быстрых ходах из одного крайнего положения в другое. После полного удаления воздуха из гидросистемы необходимо долить масло в гидробак до верхнего уровня маслоуказателя.

Наладка отдельных элементов и аппаратуры пневмо-гидросистем производится следующим образом:

1. В пневматической системе настройка давления на выходе регулятора осуществляется при помощи регулировочного винта. При вращении винта по часовой стрелке давление на выходе регулятора повышается, а при вращении его против часовой стрелки понижается. При понижении давления рекомендуется вначале понизить его до величины, несколько меньшей требуемой, а затем плавно поднять до нужного значения.

2. Настройка реле давления производится в следующем порядке. К реле давления подводится сжатый воздух. Если при этом толкатель не подвинется в крайнее положение, то винт настройки пружины реле вывинчивается из корпуса до полного выдвижения толкателя.

Вывинчиванием установочного винта микропереключателя приближают его штифт к толкателю реле до момента переключения контактов. Этот момент контролируется либо электролампой, подключенной последовательно к электросети через нормально открытый контакт микропереключателя, либо на слух. После этого винт установки вывинчивается на 1/4 оборота и контрится. Снятие давления должно вызвать переключение контактов микропереключателя в обратном направлении.

3. Распределительные устройства проверяются путем поочередного ручного (путем воздействия на якорь) переключения электромагнитов. При переключении распределителей воздух должен подаваться в соответствующие полости пневмоцилиндров, обеспечивая движение звеньев манипулятора в соответствии с пневмосхемой. Затем при подключенной системе управления электромагниты включаются кнопками управления наладочного пульта. Звенья манипулятора должны двигаться в направлениях, указанных стрелками на фальшпанели пульта.

4. Настройку скорости перемещения поршня пневмоцилиндра производят дросселированием выпуска воздуха из полостей цилиндра. При этом удастся получить не только необходимую скорость движения, но и смягчить удары поршня о крышки цилиндра и обеспечить плавную работу ведомых механизмов. При этой настройке отдельно регулируют прямой и обратный ходы привода с помощью дросселей в сочетании с обратными клапанами, установленными на воздухопроводах каждой полости цилиндра. Такие устройства позволяют регулировать скорость на всем участке хода поршня. При наличии в цилиндре буферных устройств достигают замедления скорости поршня перед приходом его в крайние положения путем регулировки дросселирующих игл в буферном устройстве, что обеспечивает плавный останов механизма. Скорость поршня пневматического цилиндра изменяется при колебаниях внешней нагрузки, поэтому правильность произведенной регулировки проверяют при наибольшей и наименьшей нагрузке. По окончании регулировки величин давления, скоростей перемещения и длины ходов регулировочные винты должны быть законтрены.

5. Наладка гидрораспределителя начинается с проверки правильности присоединения гидрокommunikаций путем поочередного ручного включения электромагнитов. Затем следует путем включения электромагнитов с пульта управления проверить надежность перемещения (отсутствие зада-

ния) золотника управления и основного золотника направляющего распределителя, а также убедиться в отсутствии гидравлического удара (вызывающего шум и вибрации трубопровода) в момент переключения. Отсутствие заедания золотников проверяется при максимальном и минимальном (0,3–0,4 МПа) давлениях. При этом имеющиеся в распределительных гидропанелях дроссели должны быть полностью открыты, а клапаны затянуты до отказа. Если возникает гидравлический удар, то он должен быть ликвидирован путем регулирования дросселей, установленных в крышках распределителя.

Надежность переключения золотников распределителей определяется путем многократного включения электромагнитов. При этом электромагниты необходимо держать включенными не менее 5 мин. Не допускается гудение электромагнитов при их включении. Золотники управления распределителей должны иметь запас хода (после полного их перемещения) не менее 0,2–0,5 мм. Золотники управления с пружинами должны при обесточивании электромагнита четко и без задержки перемещаться своими пружинами в исходное положение после 2–5-минутной выдержки их под максимальным давлением. Золотники управления с фиксаторами должны быть проверены на надежность фиксации в каждом положении при отключенных электромагнитах и наименьшем давлении 0,3 МПа. При этом золотник управления должен перемещаться при силе не выше 7 Н.

6. Наладка дросселей и регуляторов потока заключается в установлении с помощью лимба или стакана (для дросселей, встраиваемых непосредственно в трубопровод) подачи масла через дроссель, соответствующей заданной скорости перемещения звена ПР. Определение скорости перемещения звена производится с помощью электронного реле времени, управляемого от датчиков конечных положений с последующим пересчетом ее величины через пройденное звеном расстояние и время. При отсутствии электронного реле времени определение скорости звеньев можно производить с помощью секундомера. Для этого ПР программируется для выполнения одного повторяющегося движения. В момент пуска ПР включается секундомер и определяется время выполнения звеном ПР пяти или десяти двойных ходов. Скорость определяется по среднему времени выполнения одного хода и длине хода. Наладка путевых гидравлических дросселей заключается в подборе такого положения тормозного упора, при котором происходит плавное

торможение перемещающегося звена ПР. Если при любом положении тормозного упора не удается достичь плавного торможения, то следует установить упор с меньшим углом наклона рабочей грани, действующей на ролик путевого дросселя. При опробовании и наладке пневмоприводов часто случается, что поршень пневмопривода не в состоянии вести за собой ведомый механизм. Недостаточное усилие на штоке пневмопривода может быть вызвано различными причинами: чаще чрезмерным трением и заеданием вследствие неправильной сборки и монтажа, а иногда и недостаточной приработкой и обкаткой узлов ПР. В этом случае ведомые звенья ПР отсоединяют от привода, проверяют исправность работы каждого звена и устраняют выявленные дефекты. В случае надобности производят приработку и обкатку путем многократного повторения рабочих циклов механизма. Кроме того, может быть недостаточное давление в сети сжатого воздуха вследствие несоответствия производительности компрессора расходу сжатого воздуха потребителями и чрезмерных утечек. Понижение давления сжатого воздуха в сети имеет место также вследствие недостаточного сечения воздухопроводов, особенно при значительной длине их и неравномерном расходе воздуха потребителями. В этих случаях необходимо установить, какая из перечисленных причин имеет место.

3.3. Наладка электрооборудования и устройств управления

Работа электрооборудования в значительной степени зависит от четкости действия, входящих в его состав электрических устройств, которые должны быть исправными и соответствовать проектной документации. При наладке электрооборудования и устройств управления проводится следующий комплекс работ: проверка качества электромонтажных работ и соответствие их рабочим чертежам проекта; проверка установленной аппаратуры, ее настройка и регулировка; проверка состояния изоляции и заземляющих устройств; испытание электрооборудования и устройств управления в комплексе с другими системами в различных режимах работы, в том числе и под нагрузкой.

Учитывая, что для различных типов роботов и мехатронных устройств состав электрооборудования и сложность устройств управления также различны, невозможно выработать строго определенные

действия наладчика. Однако во всех случаях целесообразно использовать некоторые общие методы сокращения времени наладки и выявления неисправностей. Одним из наиболее простых и надежных методов является метод наблюдения. Он состоит в наблюдении за действием элементов схемы и оценке правильности их действия. Метод отключения или локализации проверяемого участка заключается в искусственном сокращении объема участка, содержащего необнаруженный неисправный элемент путем последовательного отключения до тех пор, пока не обнаружится неисправность. Под связями в данном случае понимают все виды связей, в том числе и механические. Например, проверка двигателя на холостом ходу позволяет установить, что именно неисправно – двигатель или механизм. Метод сравнения заключается в замене проверяемого элемента или узла схемы соответственно исправным элементом или узлом (панелью, блоком). Если после замены элемента или узла неисправность исчезнет, наладчик продолжает работу, оставляя неисправный элемент или узел в мастерской.

Метод обратной последовательности применяют при проверке схемы, состоящей из нескольких звеньев, связанных функциональной зависимостью. Он заключается в том, что проверку производят на выходе каждого звена последовательно, от последнего к первому. Если при этом какое-то промежуточное звено имеет нормальный выход, т. е. выполняет требуемую функцию, то сразу же после этого можно проверить выход предыдущего звена. Такой метод исключает лишние контрольные операции, и, следовательно, сокращает время наладки. Этот метод дает наибольший эффект в условиях серийного производства и эксплуатации.

При наладке электрооборудования возникает необходимость в определенном количестве электроизмерительных приборов, инструментов и приспособлений, номенклатуру и число которых определяют в зависимости от сложности схем, а также от типов применяемой электроаппаратуры и электронных приборов. Применяют как специальные, так и универсальные измерительные приборы. Универсальные многошкальные приборы обычно используют при наладке схем, содержащих одновременно элементы переменного и постоянного тока. Во избежание неправильных включений, приводящих к выходу из строя приборов, особенно электронных, проверка работоспособности электрических схем и их наладка должны осуществляться наладчиками,

имеющими определенные навыки и квалификацию. Оснащение участка наладки приборами, инструментом и соответствующими приспособлениями должно быть таким, чтобы способствовать обеспечению быстрого отыскания возможных неисправностей в схемах. Как показал опыт, большинство наладочных работ не требует высокой точности измерения, поэтому наибольшее применение находят более дешевые приборы классов 1,5 и 2,5, а также индикаторы напряжения. При наладке достаточно сложных устройств управления ПР следует пользоваться осциллографами, генераторами гармонических и периодических сигналов, частотомерами, логическими пробниками, пульсаторами и многоканальными логическими анализаторами.

Выдержку времени отключения электромагнитных реле постоянного тока в небольших пределах (до 0,5 с) регулируют: изменением толщины немагнитной прокладки (грубо); изменением натяжения пружины (более точно). Выдержку времени полупроводниковых и электронных реле, как правило, устанавливают на заданное значение по шкале реле путем поворота указательной рукоятки. Учитывая, что реле времени имеют определенную погрешность времени срабатывания, окончательно выдержку времени реле корректируют при испытаниях.

При наладке тепловых реле эксцентрик регулятора установки должен быть установлен в положение, указанное в конструкторской документации на монтаж электрооборудования. При отсутствии такого указания эксцентрик устанавливают в положение, при котором ток установки равен 1 – 1,05 от номинального тока защищаемого двигателя. При регулировании величины уставки необходимо учитывать, что поворот эксцентрика вправо (к риску «+») ведет к загроблению защиты, т. е. увеличению минимального тока и времени срабатывания. Реле времени на заданную выдержку настраивают с помощью секундомера. В зависимости от необходимой точности замера величины выдержки времени применяют обычные и электрические секундомеры. Последние применяют для более точной настройки.

Наладка устройств управления ПР

Для управления движениями звеньев ПР используется множество различных систем управления - цикловых, позиционных, контурных, на базе микропроцессорных наборов. Если внимательно рассмотреть их структуру, то можно увидеть, что все они состоят из набора функ-

циональных блоков или модулей, например, управляюще-вычислительных, программно-задающих, модулей сопряжения и т. п.

Первичная наладка устройств управления ПР производится на заводе-изготовителе перед проведением приемочных испытаний и сдачей ОТК. Работы по наладке производятся на специальных стендах с использованием контрольно-измерительной и регулирующей аппаратуры. Контрольная наладка устройств управления ПР производится после проведения монтажных работ перед сдачей в эксплуатацию оборудования на заводе-потребителе. Поэтому при наладочных работах основное внимание должно быть уделено проверке правильности распайки соединительных кабелей и подключения всех внешних элементов системы управления (катушек электромагнитов пневмо- и гидрораспределителей; датчиков контроля положения звеньев манипулятора; пусковой аппаратуры технологического оборудования и пр.). Контроль правильности подключения всех внешних элементов достаточно просто осуществляется при проверке отработки команд ПР с пульта ручного управления. При нажатии на кнопки пульта ПР должен отрабатывать движения, обозначенные мнемоническими символами (поворот, выдвижение руки, подъем и т. д.). С пульта управления также можно проверить срабатывание и состояние датчиков положения звеньев манипулятора. Если движение какого-либо звена не соответствует указанной мнемонике, то необходимо произвести переключение соединительных кабелей. Если при контроле отсутствует отработка манипулятором какой-либо команды, то при исправных внешних трассах, электромагнитах распределителей и датчиках, неполадки следует искать непосредственно в стойке управления. При этом необходимо вначале определить неисправный узел или модуль, а затем локализовать неисправность непосредственно на плате, выявив неисправный элемент.

Проверка работоспособности системы управления в комплексе со всеми узлами ПР может осуществляться по тестовой программе. Такая программа должна включать в себя произвольную последовательную отработку всех движений ПР, предусмотренных его степенями подвижности. Для ввода гест-программы необходимо переключатель номера кадра установить в нулевое положение, а манипулятор – в исходное положение. Нажав на пульт управления клавишу «Программа», необходимо набрать команду нулевого кадра и нажать кнопку «За-

пись». Далее набирается команда первого кадра программы и заносится в память. Аналогичным образом вводятся остальные команды тест-программы и в конце нажимается клавиша «Конец программы». Для проверки правильности ввода тест-программы система управления переводится в шаговый режим. Нажимая последовательно клавишу «Пуск», проверяется соответствие движений манипулятора программе, записанной в каждом кадре. Затем система управления переводится в цикловый режим и после нажатия клавиши «Пуск» проверяется правильность отработки одного цикла программы. Дальнейшая проверка осуществляется в автоматическом режиме с многократным повторением тест-программы и движений ПР. Наладчик должен внимательно следить за поведением ПР и в случае возникновения сбоев определить причину, устранить ее и произвести повторное включение.

Проверка работоспособности микропроцессорных систем управления. В состав любой микропроцессорной системы или контроллера входят модуль центрального процессора, модули оперативной и постоянной памяти, модули ввода-вывода для взаимодействия с периферийными устройствами, Проверка работоспособности модулей ввода-вывода осуществляется путем подачи на их входы последовательно по всем каналам сигналов «Установка в 1» и «Установка в 0». Если модули оснащены светодиодами индикации состояния их выходов, то состояние светодиодов, не соответствующее входным сигналам, свидетельствует о наличии неисправности. Контроль состояния выходов модулей ввода-вывода при отсутствии светодиодной индикации может осуществляться тестером или логическим пробником.

Проверка работоспособности модулей оперативной памяти осуществляется путем записи нескольких команд по различным адресам с последующим просмотром содержимого на индикаторе пульта управления. Искажение информации свидетельствует о наличии неисправности. Проверка работоспособности модуля центрального процессора осуществляется значительно труднее. Дело в том, что правильная работа вычислительной системы требует исправных аппаратных средств и безошибочного программного обеспечения. Программа может работать правильно на конкретных тест-наборах, но отказывает при эксплуатации из-за получения непредвиденного набора кода, который она не может обработать. Такие ситуации возникают вследствие ввода инфор-

мации неопытным оператором, что приводит к кажущемуся отказу системы. Кроме отказов таких видов имеются и отказы, возникающие в системе после некоторого срока эксплуатации. Они вызываются электрическими отказами из-за неисправностей компонентов или, что происходит, гораздо реже, программными отказами, из-за искажения хранимых в памяти кодов команд. Двойственная природа вычислительной системы при возникновении отказа сразу же ставит следующую проблему. Если отказ не очевиден, оператор должен решить, скрыт отказ в аппаратных средствах или вызван ошибкой в программе. На этот вопрос часто ответить не так просто, так как характер отказа может препятствовать выполнению любой программы, а отказ в операционной системе может не допустить загрузку и выполнение любой тест-программы. Если тест-программы не работают, вероятно, имеет место отказ в аппаратных средствах, а вся тест-последовательность проверит главные функциональные блоки системы и покажет, не кроется ли отказ в прикладных программах.

Несмотря на наличие испытанных методов систематического контроля системы в случае отказа наиболее очевидным и часто игнорируемым первым действием еще до подключения какого-либо контрольно-измерительного прибора должен быть тщательный осмотр системы. Отказ может быть очевидным, например, «сгоревшая» микросхема, а состояние, в котором остановилась система, само может дать подсказку о месте возникновения отказа в системе. Необходимо проверить все встроенные в систему индикаторы, которые могут помочь в локализации отказа; кроме того, многие модульные системы имеют в подсистемах индикаторы типа «проходит/не проходит», которые идентифицируют неисправную подсистему. Принципы поиска неисправностей в системах с микропроцессорами в основном не отличаются от принципов тестирования обычных цифровых устройств. В соответствии со стандартной процедурой персонал должен Изучить проверяемую систему, определить состав требуемого контрольно-измерительного оборудования и составить логическую процедуру поиска неисправности.

Когда подозревается отказ, часто много информации о системе можно получить, не снимая крышек оборудования. В большинстве систем имеются какие-либо клавиши для ввода и индикаторы, которые

можно использовать для ввода данных и наблюдения реакций на индикаторах. Если, например, все индикаторы погашены, следует подозревать неисправность тумблера включения сети, обрыв в шнуре питания или неисправность в блоке питания. Если же не работает один из сегментов в 7-сегментном индикаторе, отказ, вероятно, возник в самом индикаторе или в схеме формиратора. Наблюдение даже за простейшими индикаторами может стать ключом к определению наиболее вероятного места отказа.

Наладка информационных систем начинается с проверки надежности крепления датчиков, а также правильности их подключения к информационным кабелям. Все подсоединения должны соответствовать принципиальным электрическим схемам соединений, маркировка выводов датчиков и соединительных проводов должна быть идентичной. При необходимости правильность подключения проверяют методами прозвонки.

Наладка конечных выключателей заключается в правильной настройке взаимодействующих с ними упоров (экранов) управления. Перед настройкой необходимо проверить четкость работы конечных выключателей. Проверка работы контактных выключателей осуществляется ручным воздействием на их приводные элементы, которые должны передвигаться без заеданий и повышенного сопротивления. Контроль работы бесконтактных конечных выключателей осуществляется при включенном напряжении питания цепей постоянного тока путем проверки срабатывания соединенных с выключателем реле. Если выходы датчиков подключаются непосредственно на входы логических элементов, то при срабатывании датчика уровень сигнала на его выходе должен соответствовать значению логической 1, либо логического 0.

Настройка упоров управления контактных конечных выключателей может быть выполнена при отключенном напряжении питания. С этой целью механизм устанавливается в требуемое положение, после чего упор, предварительно освобожденный от винтового зажима, плавно перемещается навстречу приводному элементу выключателя до точки срабатывания последнего. Срабатывание выключателей мгновенного и полумгновенного действия фиксируется по характерному щелчку, сопровождающему срабатывание встроенных в них микровыключателей. Срабатывание выключателей прямого действия фиксируется

электрическим щупом, подсоединенным к замыкающим контактам выключателя. После этого управляющий упор должен быть перемещен за точку срабатывания на 1–2 мм, что обеспечивает надежность действия выключателя. В этом положении упор должен быть закреплен. Необходимо, чтобы при взаимодействии выключателя с упором управления ход приводного элемента выключателя был больше рабочего хода выключателя, но вместе с тем не превышал бы величины полного хода, допустимого для данного выключателя. При выполнении этого требования исключается возможность воздействия на приводной элемент силой, превышающей силу срабатывания выключателя. При отводе упора управления необходимо, чтобы приводной элемент выключателя возвращался в начальное положение, т.е. полностью освобождался от действия упора. В противном случае выключатель может остаться во включенном состоянии.

Настройка бесконтактных выключателей осуществляется путем регулировки величины рабочего зазора между торцевой поверхностью датчика и измерительной пластинкой либо (для датчиков типа БВК) введением пластины в рабочую зону выключателя. Надежность срабатывания проверяется путем многократного (не менее 10 раз) взаимодействия перемещаемого и неподвижного механизмов^ до конечного положения. В случае обнаружения эффекта «дребезга контактов» необходимо уменьшить рабочий зазор. Настройка датчиков определения текущей координаты звеньев манипулятора производится при крайних положениях звеньев. В одном из крайних положений звена подвижный элемент датчика должен быть установлен таким образом, чтобы его выходная величина (сопротивление, напряжение, частота и т. п.) соответствовала минимальному либо максимальному значению. При перемещении звена подвижный элемент должен приводиться во вращение без проскальзывания. Передаточное число кинематической пары должно быть таким, чтобы диапазон перемещения подвижного элемента датчика несколько (на 10%) превышал величину хода подвижного звена манипулятора. После настройки передаточных механизмов и датчиков регулировочные элементы должны быть надежно закреплены с помощью фиксирующих винтов.

Наладка информационных систем восприятия внешней среды – систем технического зрения (СТЗ) представляет собой достаточно

трудную задачу. Это обусловлено тем, что помимо датчиков (видикон-нов) СТЗ содержит блоки обработки информации, включающие зачастую микро ЭВМ. На работу СТЗ в значительной степени влияет контраст между объектом и фоном, а следовательно, и освещение объектов.

Работы по наладке СТЗ следует проводить строго в соответствии с инструкцией по эксплуатации. В общем случае при наладке необходимо выставить оптическую систему на заданной высоте от поверхности захвата. Особое внимание при этом следует обращать на перпендикулярность оптической оси видикона рабочей плоскости. Далее необходимо выставить угловое положение видикона относительно системы координат ПР (совмещение главных осей). В режиме «настройка» производится тщательная фокусировка изображения и проверка восприятия информации по эталону с заданной конфигурацией. Если не удастся сфокусировать изображение, необходимо проверить правильность установки оптических линз видикона. Если СТЗ правильно воспринимает информацию с эталонной детали, то процесс наладки можно считать законченным.

Для проверки правильности настройки системы светозащиты необходимо последовательно перекрывать световой поток между парами светоизлучатель – приемник. При этом должно происходить отключение приводов и остановка ПР. Затем необходимо проверить снятие блокировки путем нажатия на кнопку «Сброс», находящуюся на стойке. ПР при этом должен продолжить выполнение прерванной программы.

Существенную помощь в наладке системы программного управления робототехнического устройства или комплекса может оказать моделирование с использованием виртуальных моделей рабочей среды и самих роботов. Использование моделирования снижает затраты, и роботов можно программировать в автономном режиме, что исключает время простоя оборудования. Действия роботов и сборочные детали можно визуализировать в трехмерной виртуальной среде за несколько месяцев до того, как будут созданы прототипы. Написать код для моделирования также проще, чем написать код для физического робота. Одним из известных технических решений создания виртуальной

среды является приложение FANUC ROBOGUIDE, которое выполняет симуляцию как движений робота, так и команд для конкретной сферы применения и обеспечивает значительную экономию времени при создании новых настроек движения. Чтобы гарантировать минимальное влияние на производство, модули можно разрабатывать, тестировать и изменять полностью автономно. Чтобы сократить время на трехмерное моделирование, модели деталей можно импортировать из ПК в виде данных САПР. Большая библиотека программного обеспечения для симуляции позволяет пользователям выбирать и изменять детали и размеры. Для работы с интуитивно-понятным и чрезвычайно простым в использовании приложением ROBOGUIDE требуется минимальное обучение. Оно также доступно со специализированными инструментальными средствами для конкретных сфер применения. Моделирование в среде Roboguide предоставляет возможность офлайн-программирования технологических процессов для роботов FANUC и включает 3D-моделирование комплекса, программное обучение манипуляторов и воспроизведение запрограммированных обучением траекторий и программ. Моделирование в пакете Roboguide основано на использовании виртуального контроллера FANUC Robotics Virtual Robot Controller, который обеспечивает точное обучение и выполнение программ в соответствии с информацией о времени цикла.

3.4. Настройка параметров регуляторов в электроприводах роботов и мехатронных систем

3.4.1. Настройка по компьютерной и математической моделям

В современных промышленных устройствах в качестве исполнительных двигателей используются, главным образом, синхронные и асинхронные двигатели переменного тока, динамика которых описывается сложными существенно нелинейными уравнениями. В то же время современные блоки управления (преобразователи) содержат математические модели двигателей, на базе которых в реальном мас-

штабе времени осуществляется линеаризация их нелинейных характеристик и указанные выше двигатели в целях аналитически с успехом описываются линейными зависимостями аналогично двигателям постоянного тока.

Типовой преобразователь в управляемом приводе содержит регуляторы скорости, тока, датчик тока. Регуляторы скорости и тока являются ПИД – регуляторами с изменяемой структурой, а обратная связь по скорости организуется путем подсчета числа импульсов с датчика угла поворота ротора в единицу времени.

На рис. 3.5 приведена типовая структурная схема привода включая двигатель, на которой обозначено: РС – регулятор скорости; РТ – регулятор тока; k_u – коэффициент передачи инвертора; $k_u, k_e, T_\Sigma, k_m, J_{пр}$ – параметры двигателя; $k_{дт}$ – коэффициент передачи датчика тока; $k_{рп}$ – коэффициент передачи регулятора перемещения. Связь структурной схемы системы управления и её математической модели в виде дифференциальных уравнений или передаточных функций является вполне очевидной. Исходя из этого, ограничимся представлением математической модели привода в виде структурной схемы, приведенной на рис. 3.5. Синтез системы будет производиться с использованием пакета Matlab, ориентированного на представление исследуемой системы в виде структурной схемы. Динамические свойства системы во многом определяются качеством контура скорости. Поэтому необходимо и достаточно осуществить настройку регулятора скорости. Для этого воспользуемся стандартным инструментом настройки коэффициентов ПИД регулятора, входящим в комплект последней версии Matlab. Для вызова процедуры настройки необходимо дважды кликнуть на блоке ПИД регулятора и нажать в появившемся окне кнопку «Tune». Инструментальный пакет «PID tuner» предоставляет в распоряжение пользователя графический интерфейс для настройки коэффициентов ПИД регулятора, обеспечивающих желаемое качество переходных процессов.

В качестве средства для достижения указанной цели принимается оптимизационный подход, обеспечивающий минимизацию функции штрафа за нарушение динамических ограничений. Особую значимость имеет то обстоятельство, что весь процесс настройки проходит в графическом режиме без необходимости проведения каких-либо вычислений. Окно пакета «PID tuner» представлено на рис. 3.6.

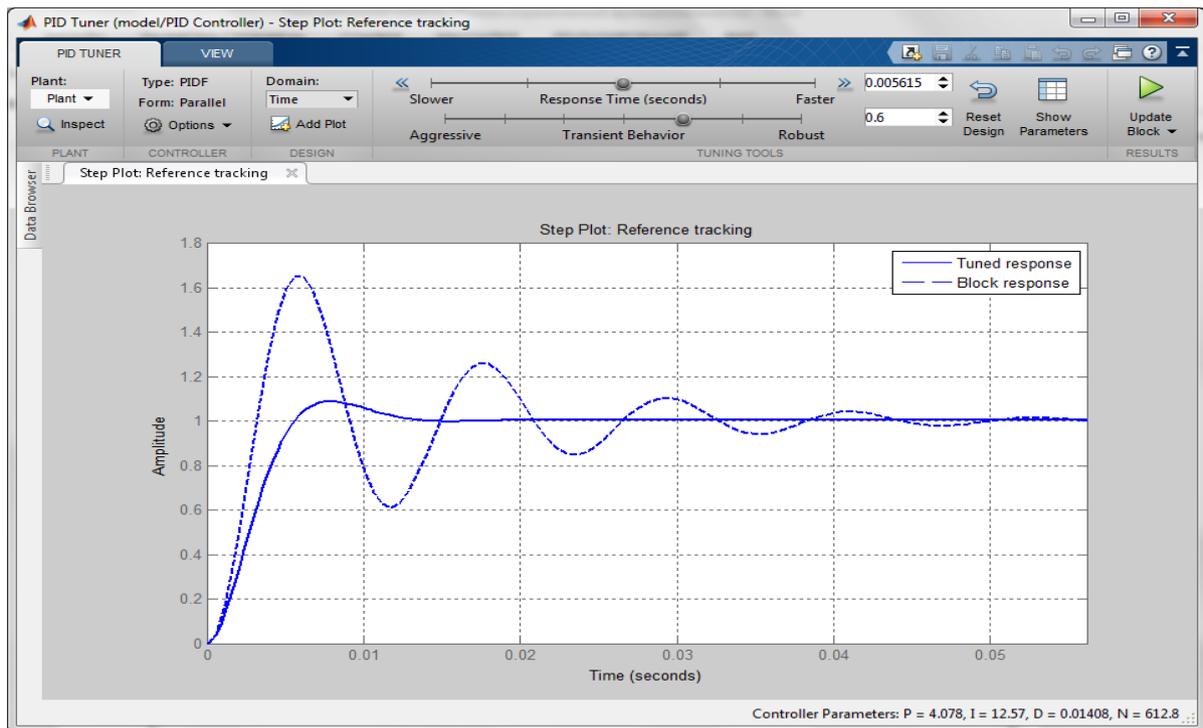


Рис. 3.6. Окно пакета «PID tuner»

Здесь пунктирной линией показан переходный процесс не настроенной системы, сплошной линией – результат настройки. При помощи ползунков «response time» (время отклика) и «transient behavior» (переходный режим) убираем колебательность и перерегулирование с сохранением оптимального быстродействия системы.

Вид настроенного переходного процесса показан на рис. 3.7.

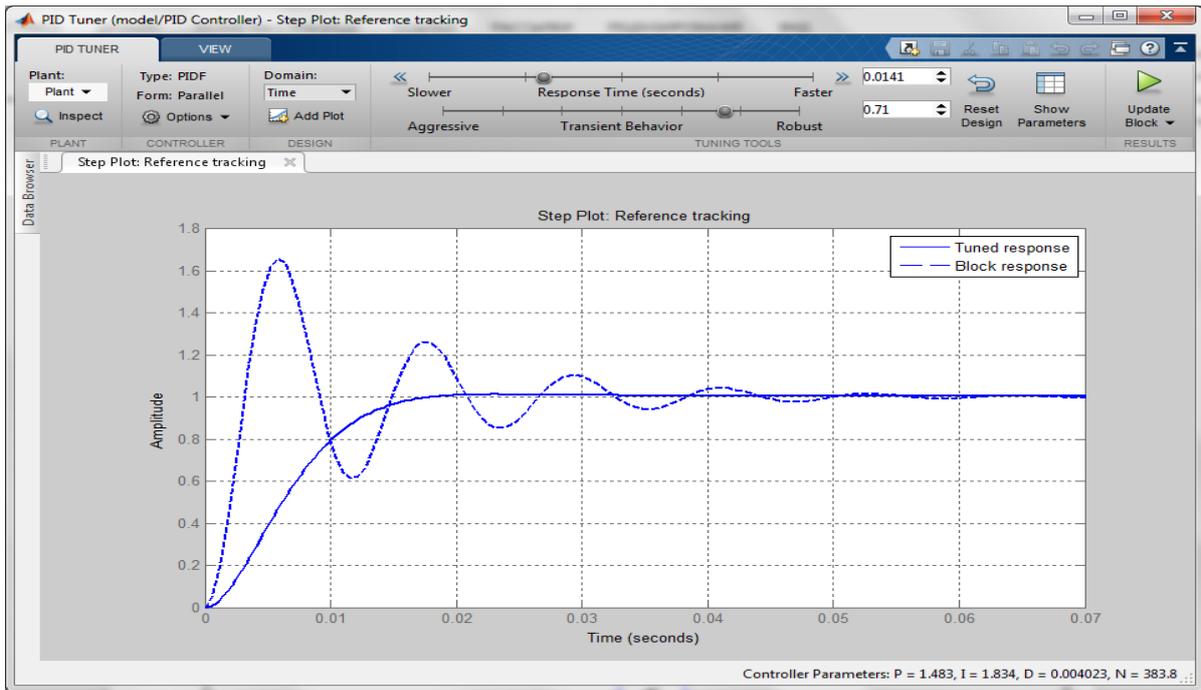


Рис. 3.7. Переходный процесс после настройки коэффициентов

Таблица с результатами выводится по нажатию на кнопку «Show parameters». Результаты настройки представлены на рис.3.8.

Controller Parameters		
	Tuned	Block
P	1.4827	1.4827
I	1.8336	1.8336
D	0.0040228	0.0040228
N	383.7963	383.7963

Performance and Robustness		
	Tuned	Block
Rise time	0.0103 seconds	0.0103 seconds
Settling time	0.0158 seconds	0.0158 seconds
Overshoot	1.28 %	1.28 %
Peak	1.01	1.01
Gain margin	-Inf dB @ 0 rad/s	-Inf dB @ 0 rad/s
Phase margin	71 deg @ 142 rad/s	71 deg @ 142 rad/s
Closed-loop stability	Stable	Stable

Рис. 3.8. Результаты настройки коэффициентов ПИД регулятора скорости

По завершении процесса настройки необходимо подтвердить результаты, нажав на кнопку «Update block».

Структурная схема контура регулирования тока при пренебрежении противо-ЭДС имеет вид, представленный на рис. 3.9.

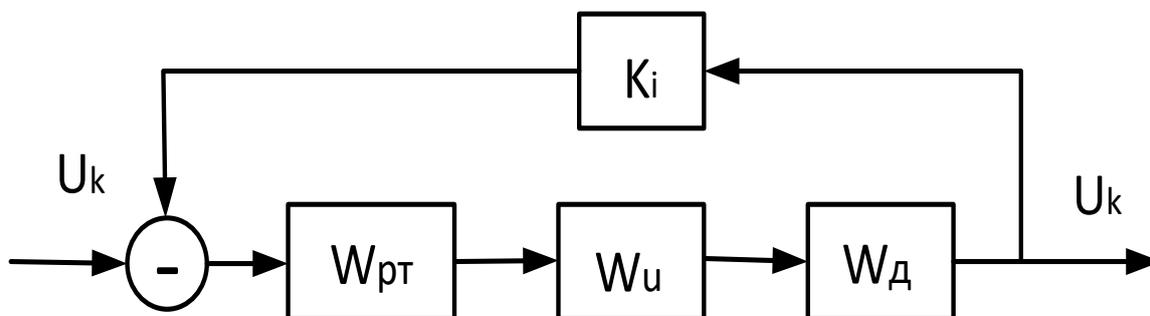


Рис. 3.9. Структурная схема контура тока

Здесь $U_{кт}$ – входное воздействие контура тока; K_I – коэффициент обратной связи по току; $W_{рТ}$, W_u , $W_д$ – передаточные функции регулятора тока, инвертора и двигателя.

Передаточные функции компонентов контура тока имеют вид:

$$W_{рТ} = k_T(T_T p + 1)p^{-1}; W_u = k_u; W_д = k_d(T_э p + 1)^{-1}. \quad (3.1)$$

Передаточная функция замкнутой системы, полученная из условия компенсации электромагнитной постоянной времени двигателя будет иметь вид:

$$W_{кт} = \frac{k_I^{-1}}{(k_T k_u k_d k_I)^{-1} p + 1}. \quad (3.2)$$

Постоянная времени и коэффициент передачи апериодического звена (3.2) легко определяются исходя из требований к динамическим показателям привода.

3.4.2. Практическая настройка электропривода CSD-DH мехатронной системы металлорежущего станка

Первоначальный пуск электропривода

Перед проведением работ по настройке электропривода (ЭП) необходимо визуально проверить комплектность, монтаж и электропроводку согласно схемам электрическим принципиальным и соединений, прилагаемым к металлорежущему станку.

Затем необходимо проверить исправность составных частей станка перед пуском и определить готовности их к пуску согласно руководству по эксплуатации станка.

Произвести включение и выключения станка и проверить режим аварийного выключения от аварийных кнопок и при наезде на конечные выключатели (если они имеются). При проведении работ по настройке ЭП необходимо пользоваться измерительной аппаратурой:

- профессиональный мультиметр;
- ПК с установленной программой Servo Monitor, поставляемой с ЭП.

Ввод в эксплуатацию электропривода и электродвигателя

При первом включении электропривода необходимо следовать следующей процедуре:

1. Подать силовое питание на ЭП, сигналы разрешения работы и включения ЭП не подавать. Подключить ПК к ЭП и запустить программу Servo Monitor. Установить соединение, происходит автоматическое считывание параметров ЭП.

2. Проконтролировать правильность установки параметров, определяющих тип ЭП (p3) и ЭД (p200) фактически установленным на станке. При несоответствии следует выполнить процедуру "Установка конфигурации", но перед этим связаться с сотрудниками фирмы "Балт-Систем".

3. Записать версии ПрО в свидетельство о выходном контроле на станок.

Процедура "Установки конфигурации" ЭП (для ЭП "BSD-XX").

1. Подключить ПК к ЭП и запустить программу Servo Monitor. Установить соединение, происходит автоматическое считывание параметров ЭП.

2. В диалоге "Служебные" выбрать "Установка конфигурации". В новом меню выбрать необходимый тип силовой части ЭП и ЭД. Нажать "Установка".

3. В диалоге "Файл" выбрать "Запись параметров в EEPROM". В диалоге "Служебные" выбрать "RESET".

4. Снять силовое питание и через паузу подать его вновь. Установить соединение, происходит автоматическое считывание параметров ЭП. Проконтролировать правильность установки параметров, определяющих тип ЭП (р3) и ЭД (р200)

5. ЭП готов к настройке.

Циклограмма включения и выключения электропривода

ЭП имеет 4-е устойчивых состояния:

1. ЭП выключен (Drive OFF) – силовое напряжение на ЭП не подключено.

2. Готовность к включению (Ready to power up) - силовое напряжение на ЭП подключено, идет заряд звена постоянного тока =540 В.

3. Готовность к работе (Ready to operation) - силовое напряжение на ЭП подключено, отключение зарядных резисторов от звена постоянного тока =540 В.

4. ЭП в работе (In-operation) – включается ШИМ и подано разрешение ЭП.

При нормальном включении ЭП, он последовательно проходит эти 4-е состояния. Каждое состояние необходимо контролировать в логике контроллера и аппаратно в электрической схеме включения ЭП.

При нормальном выключении ЭП, он последовательно проходит эти 4-е состояния в обратной последовательности.

Возможны аварийные ситуации, когда эта последовательность может нарушаться. В этих случаях возможно аварийное, неконтролируемое торможение ЭП на свободном выбеге. Если такая ситуация недопустима, то необходимо предусмотреть дополнительное динамическое торможение ЭД, не зависящее от состояния ЭП. На рис. 3.10 приведена циклограмма включения и выключения ЭП.

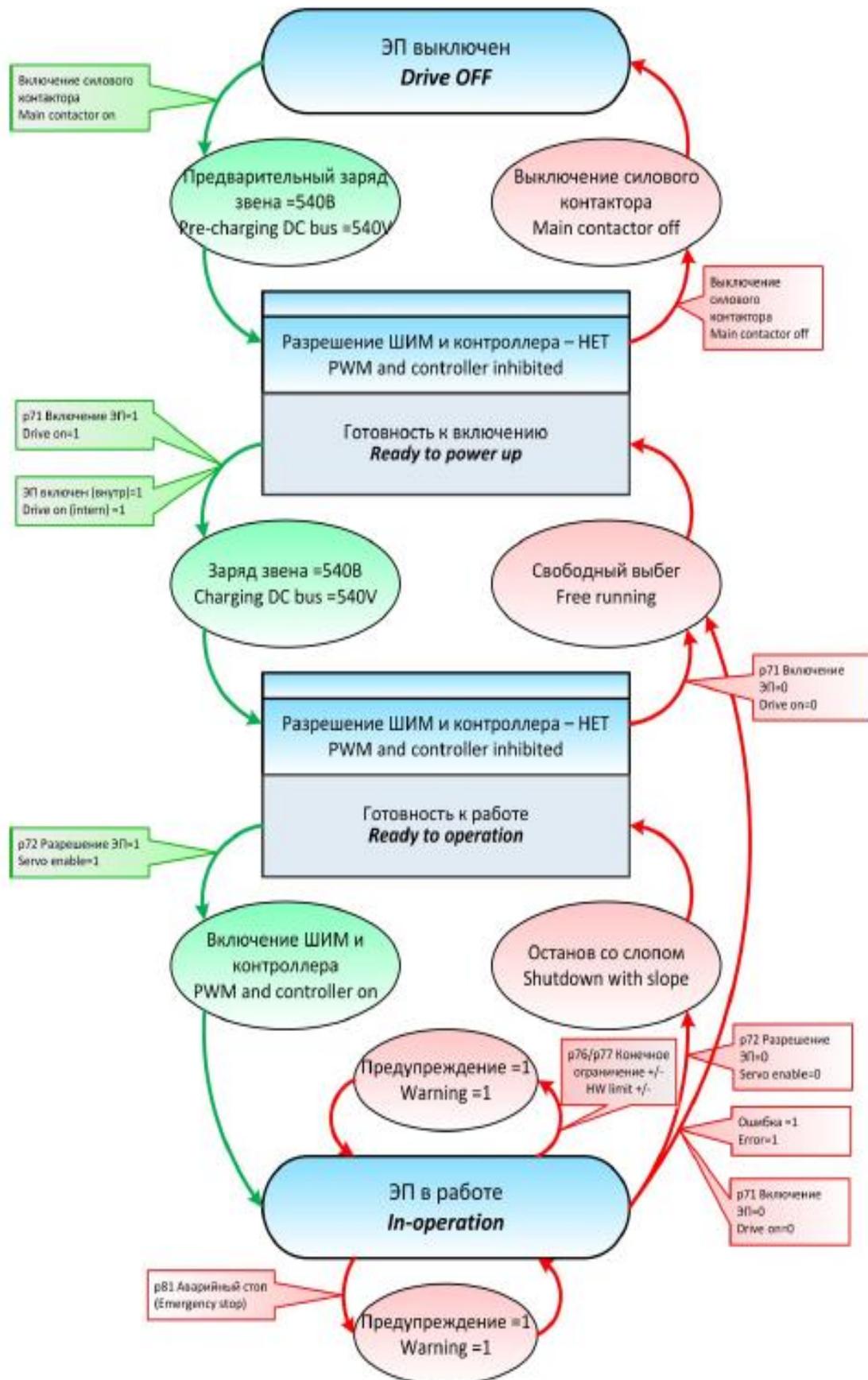


Рис. 3.10. Циклограмма включения и выключения ЭП

Настройка электропривода

Общие замечания.

- Если не указано дополнительно, то параметры ЭП и ЭД были установлены "по умолчанию", т.е. рекомендуемые изготовителем, без оптимизации настройки контуров регулирования.
- настоящая инструкция была написана на примере настройки ЭП CSD-DH16 и ЭД 215NYS-M-20
- последовательность настройки – в соответствии с данным документом, т.е. сначала настраивается регулятор тока, затем скорости и в конце - регулятор положения (если он имеется).
- настройка регуляторов тока и скорости ЭП производится при отключённом регуляторе положения (ЧПУ). Особенно внимательно необходимо быть при настройке неуравновешенных вертикальных осей и осей с механическим зажимом (тормозом).
- некоторые тесты предполагают большие скорости вращения ЭД, поэтому перед проведением настройки необходимо вывести контролируемые оси в безопасное положение, например, в середину хода.

Настройка регулятора тока (момента)

Параметры регулятора тока определяются электромеханическими данными ЭД и силовой частью ЭП. Поэтому обычно настройки не требуется, необходимо лишь проконтролировать окончательные ЛАЧХ и ЛФЧХ.

Предварительная ЛАЧХ и ЛФЧХ

Установить параметры регулятора тока по умолчанию:

- K_p – пропорциональный коэффициент (параметр p304);
- K_i – интегральный коэффициент (p305);
- отключить фильтр сглаживания команды тока (p311=0);

$k_p=12AV$ $k_i=5m$ $F_i=0$.

Контролируемые данные:

- заданное значение тока на входе регулятора тока I_{qsetAF} , А;
- актуальное значение тока I_{qact} , А.

Заданное воздействие:

- наброс заданного тока в виде Чирп-сигнала I_{qset} , А;

- частота 0-2000 Гц;
- амплитуда – 50 % от номинального значения ЭД.

Время измерения:

- зависит от длины Чирп-сигнала (при длине 2048 точки получаем 512 мсек);
- период съема данных 0,25 ms.

Результат настройки: после преобразования Фурье контролируемых данных получаем ЛАЧХ и ЛФЧХ. Определяем полосу пропускания регулятора по уровню -3дБ и запас по фазе на этой частоте.

Получаем: полоса пропускания регулятора по уровню -3дБ $F=200$ Гц и запас по фазе на этой частоте равен $180^\circ - 65^\circ = 115^\circ$.

На рис. 3.11 изображена предварительная ЛАЧХ и ЛФЧХ регулятора тока.

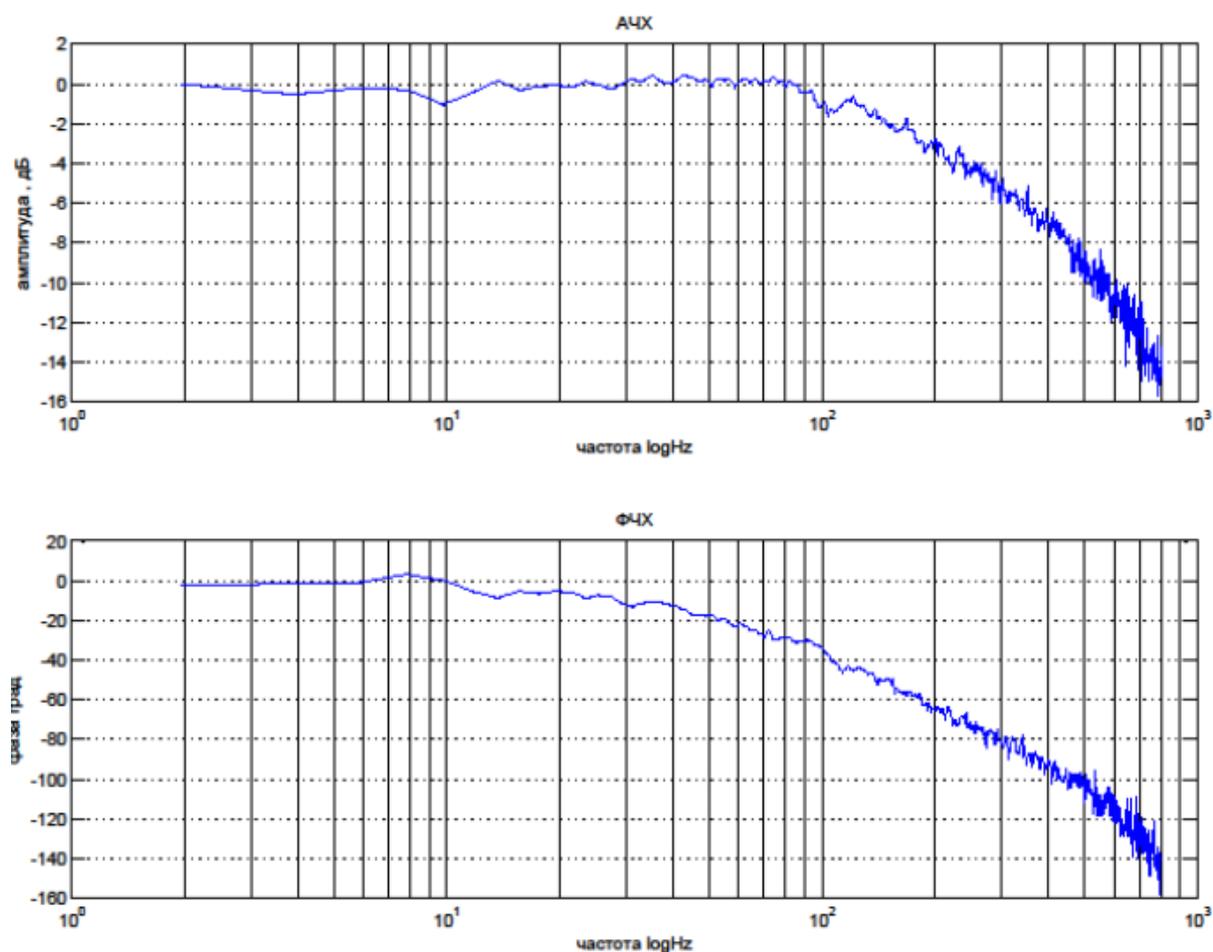


Рис. 3.11. Предварительная ЛАЧХ и ЛФЧХ регулятора тока

Настройка пропорциональной и интегральной составляющей
1-й шаг. Настройка пропорционального коэффициента.

Установить параметры регулятора тока по умолчанию (отключить фильтр сглаживания команды тока).

Установить интегральный коэффициент равный 0.

Контролируемые данные:

- заданное значение тока на входе регулятора тока I_{qsetAF} , А;
- актуальное значение тока I_{qact} , А;
- актуальное значение тока I_{dact} , А;

Заданное воздействие:

- ступенчатый наброс заданного значения тока на входе регулятора тока I_{qset} , А;
- величина тока – 25% от номинального значения ЭД;
- период наброса заданного значения – 50 мсек;
- длительность заданного значения – 25 мсек;
- количество повторений – 10.

Период съема данных: 0,25 мсек

Результат настройки:

- увеличивая пропорциональный коэффициент, можно добиться перерегулирования I_{qact} не более 5-10 %;
- контролировать отсутствие возбуждения тока I_{dact} .

Данный тест необходим, если

- неизвестны параметры регулятора тока по умолчанию;
- ЭП пускается в первый раз.

Ниже приведены графики при:

$$k_p = 12 \frac{A}{V} \quad k_p = 25 \frac{A}{V} \quad k_p = 35 \frac{A}{V}. \text{ Выбираем } k_p = 25 \frac{A}{V}.$$

На рис. 3.12. изображен ступенчатый наброс заданного значения тока на входе регулятора тока I_{qsetPI} при $K_p=12$ А/В. На рис. 3.13. показан ступенчатый наброс заданного значения тока на входе регулятора тока I_{qsetPI} при $K_p=25$ А/В. На рис. 3.14. представлен ступенчатый наброс заданного значения тока на входе регулятора тока I_{qsetPI} при $K_p=35$ А/В.

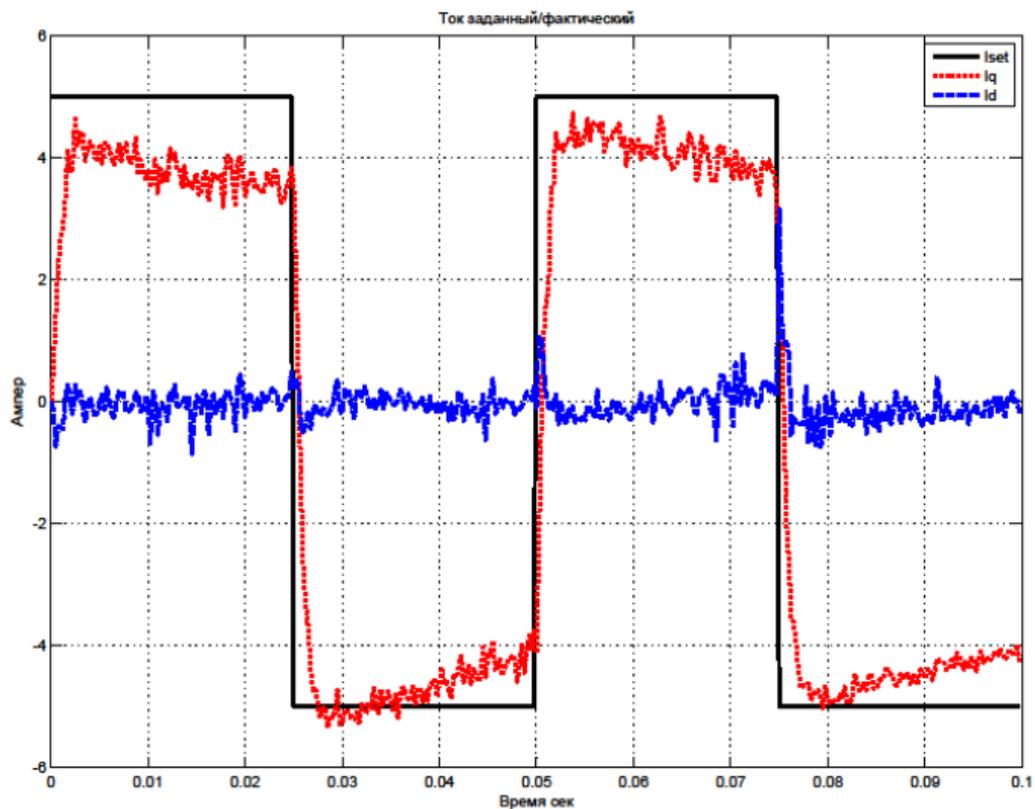


Рис. 3.12. Ступенчатый наброс заданного значения тока на входе регулятора тока I_{qsetPI} при $K_p=12$ A/V

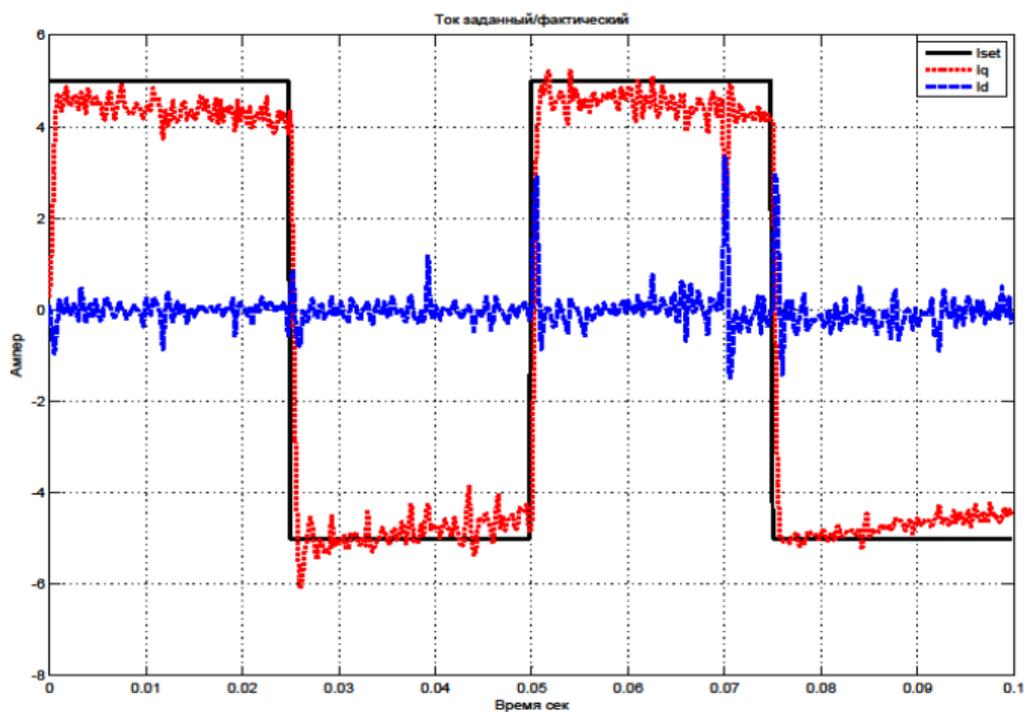


Рис. 3.13. Ступенчатый наброс заданного значения тока на входе регулятора тока I_{qsetPI} при $K_p=25$ A/V

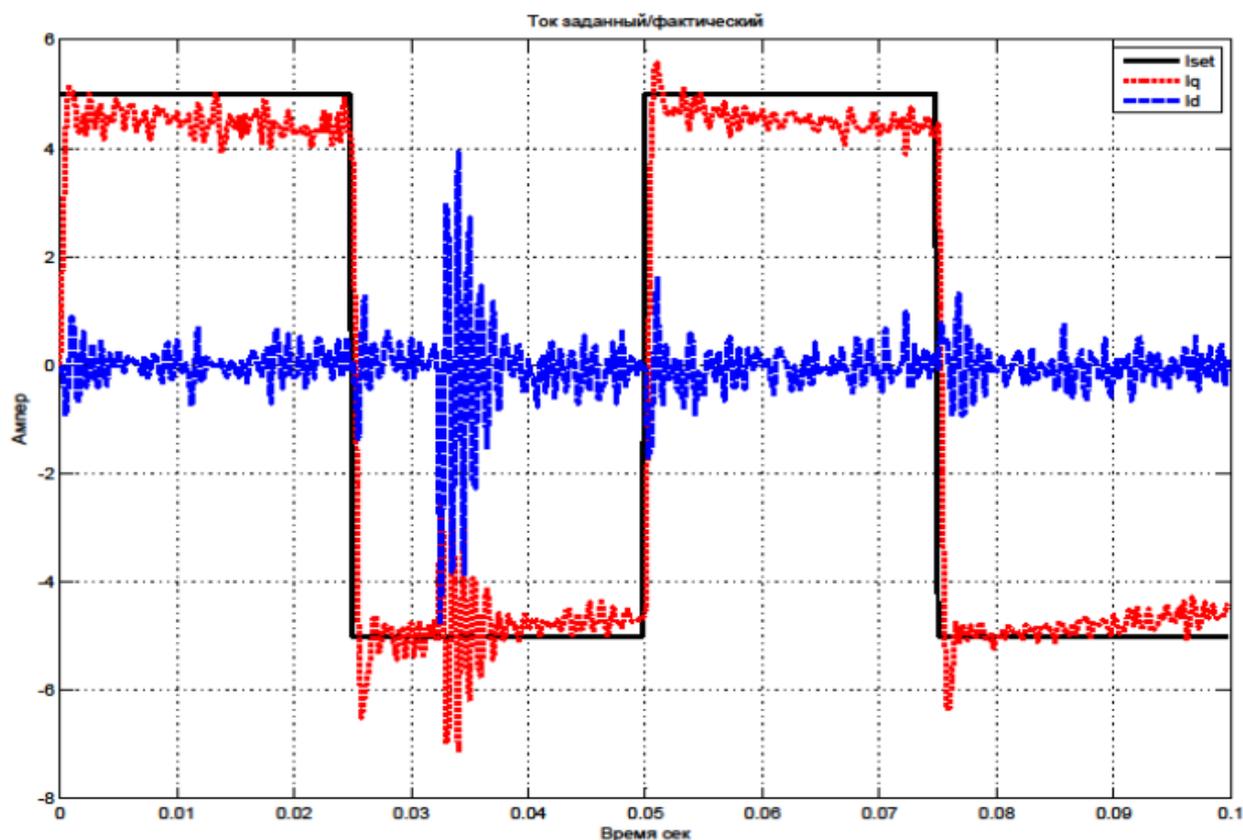


Рис. 3.14. Ступенчатый наброс заданного значения тока на входе регулятора тока I_{qsetPI} при $K_p=35$ А/В

2-й шаг. Настройка интегрального коэффициента.

Установить пропорциональный коэффициент, выбранный в 1-м шаге ($k_{pp}=25$ А/В). Установить интегральный коэффициент по умолчанию.

Контролируемые данные:

- заданное значение тока на входе регулятора тока I_{qsetAF} , А;
- фактическое значение тока I_{qact} , А;
- фактическое значение тока I_{dact} , А.

Заданное воздействие:

- ступенчатый наброс заданного значения тока на входе регулятора тока I_{qset} , А;
- величина тока – 25% от номинального значения ЭД;
- период наброса заданного значения – 50 мсек;

- длительность заданного значения – 25 мсек;
- количество повторений – 10.

Период съема данных: 0,25 мсек.

Результат настройки:

- изменяя интегральный коэффициент, добиться перерегулирования I_q не более 5-10 %. Возможен небольшой колебательный процесс (не более 2-3 волн);

- контролировать отсутствие возбуждения тока I_{dact} .

Ниже приведены графики при: $k_i=5ms$, $k_i=3ms$ и $k_i=2ms$.

Выбираем $k_i=3ms$. На рис. 3.15 изображен ступенчатый наброс заданного значения тока на входе регулятора тока I_{qsetPI} при $K_i=5ms$. На рис.3.16 показан ступенчатый наброс заданного значения тока на входе регулятора тока I_{qsetPI} при $K_i=3ms$. На рис.3.17 представлен ступенчатый наброс заданного значения тока на входе регулятора тока I_{qsetPI} при $K_i=2ms$.

3-й шаг. Проверка работы сглаживающего фильтра заданного тока.

Установить пропорциональный коэффициент, выбранный в 1-м шаге ($k_{pp}=25AVV$). Установить интегральный коэффициент, выбранный во 2-м шаге ($k_i=3m$).

Включить фильтр сглаживания команды тока ($p311=1$)

$k_p=25AV$ $k_i=3m$ $F_i=1$.

Контролируемые данные:

- заданное значение тока на входе регулятора тока I_{qsetAF} , А;
- актуальное значение тока I_{qact} , А;
- актуальное значение тока I_{dact} , А.

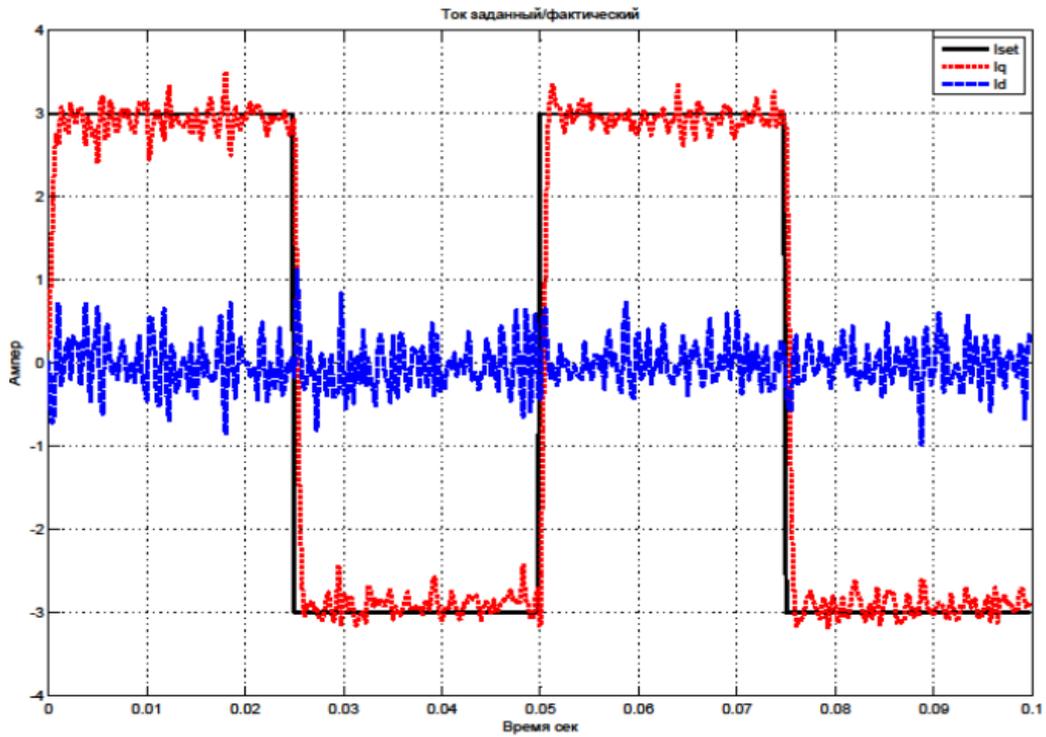


Рис. 3.15. Ступенчатый наброс заданного значения тока на входе регулятора тока IqsetPI при $K_i=5\text{ms}$

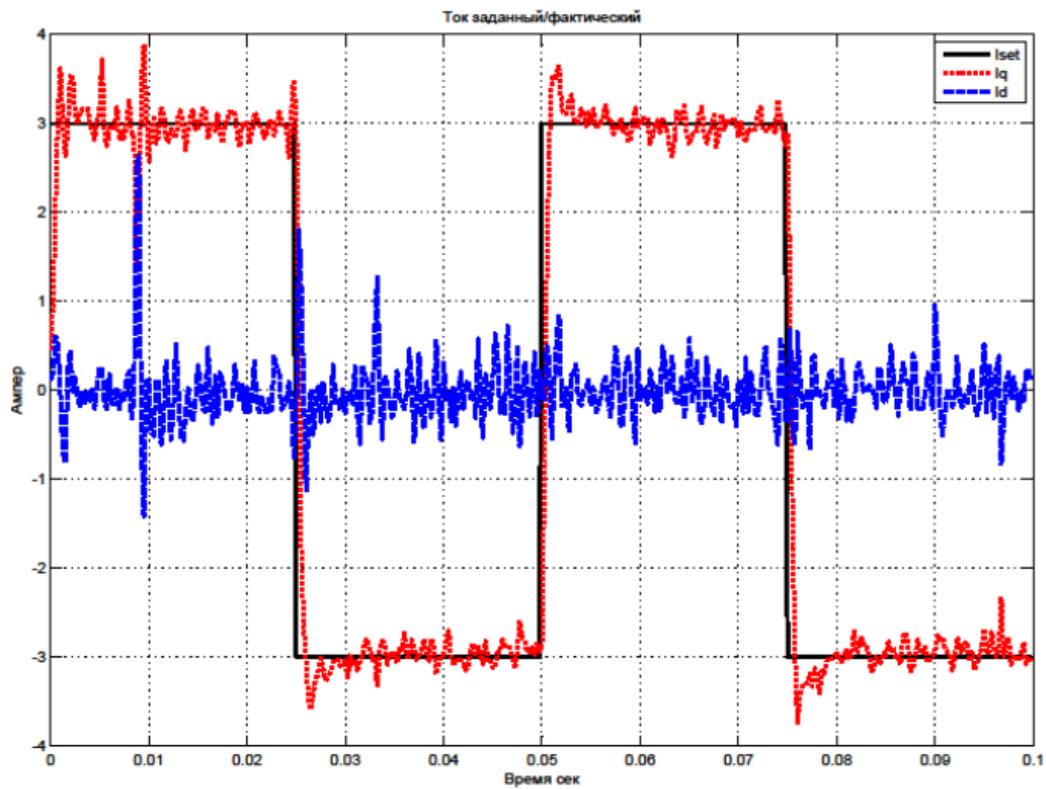


Рис. 3.16. Ступенчатый наброс заданного значения тока на входе регулятора тока IqsetPI при $K_i=3\text{ms}$

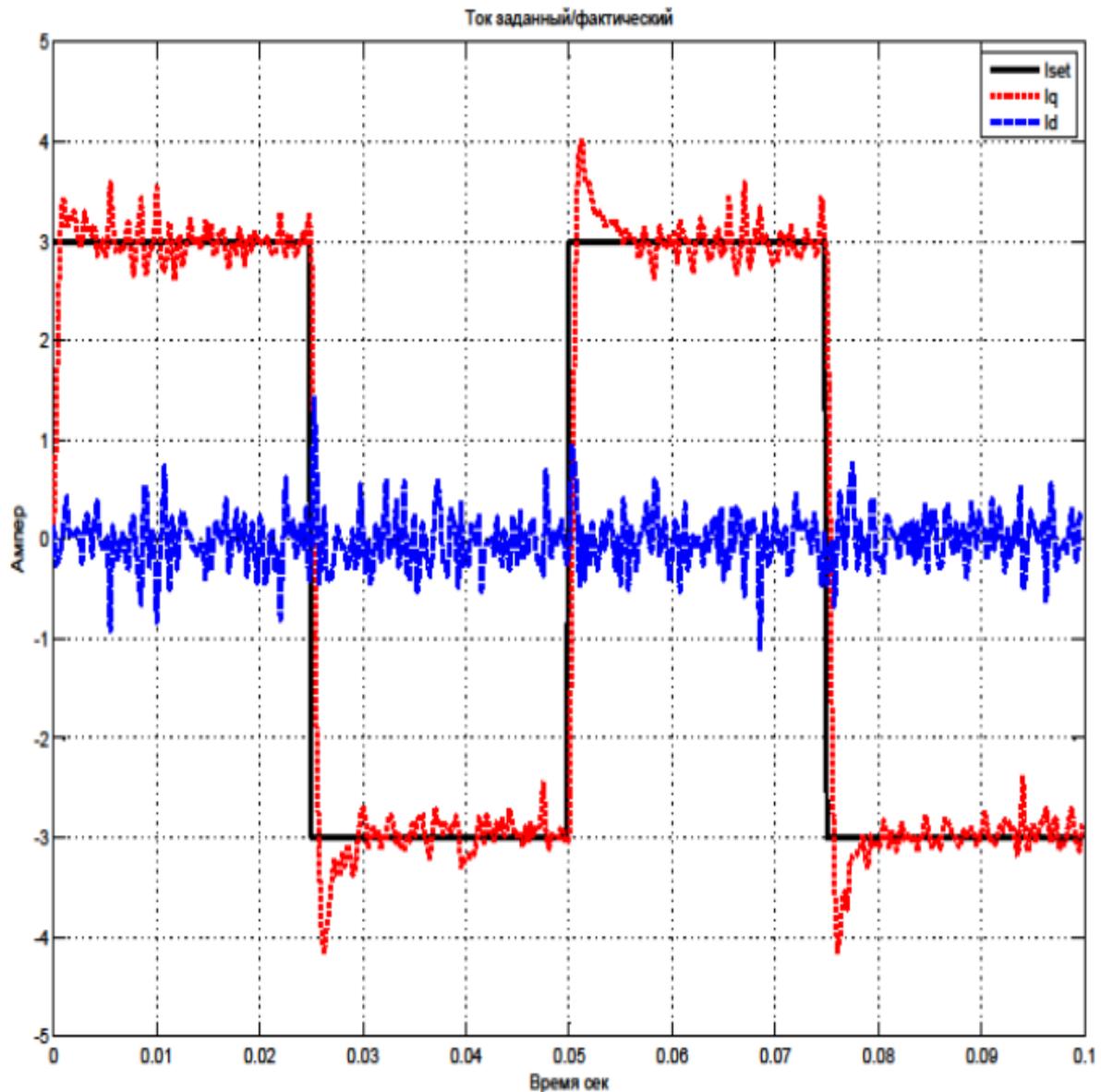


Рис. 3.17. Ступенчатый наброс заданного значения тока на входе регулятора тока I_{qsetPI} при $K_i=2ms$

Заданное воздействие:

- ступенчатый наброс заданного значения тока на входе регулятора тока I_{qset} , А;

- величина тока – 25% от номинального значения ЭД;

- период наброса заданного значения – 50 мсек;

- длительность заданного значения – 25 мсек;

- количество повторений – 10.

Период съема данных:

- 0,25 мсек

Результат настройки:

- передний и задний фронт заданного значение тока на входе регулятора тока I_{qsetPI} имеет сглаженный вид;
- переходный процесс должен быть аналогичен шагу 2;
- контролировать отсутствие возбуждения тока I_{dact} .

На рис. 3.18 показан ступенчатый наброс заданного значения тока на входе регулятора тока I_{qsetPI} при $K_p=25$ A/V, $K_i=3$ ms и $F_i=1$.

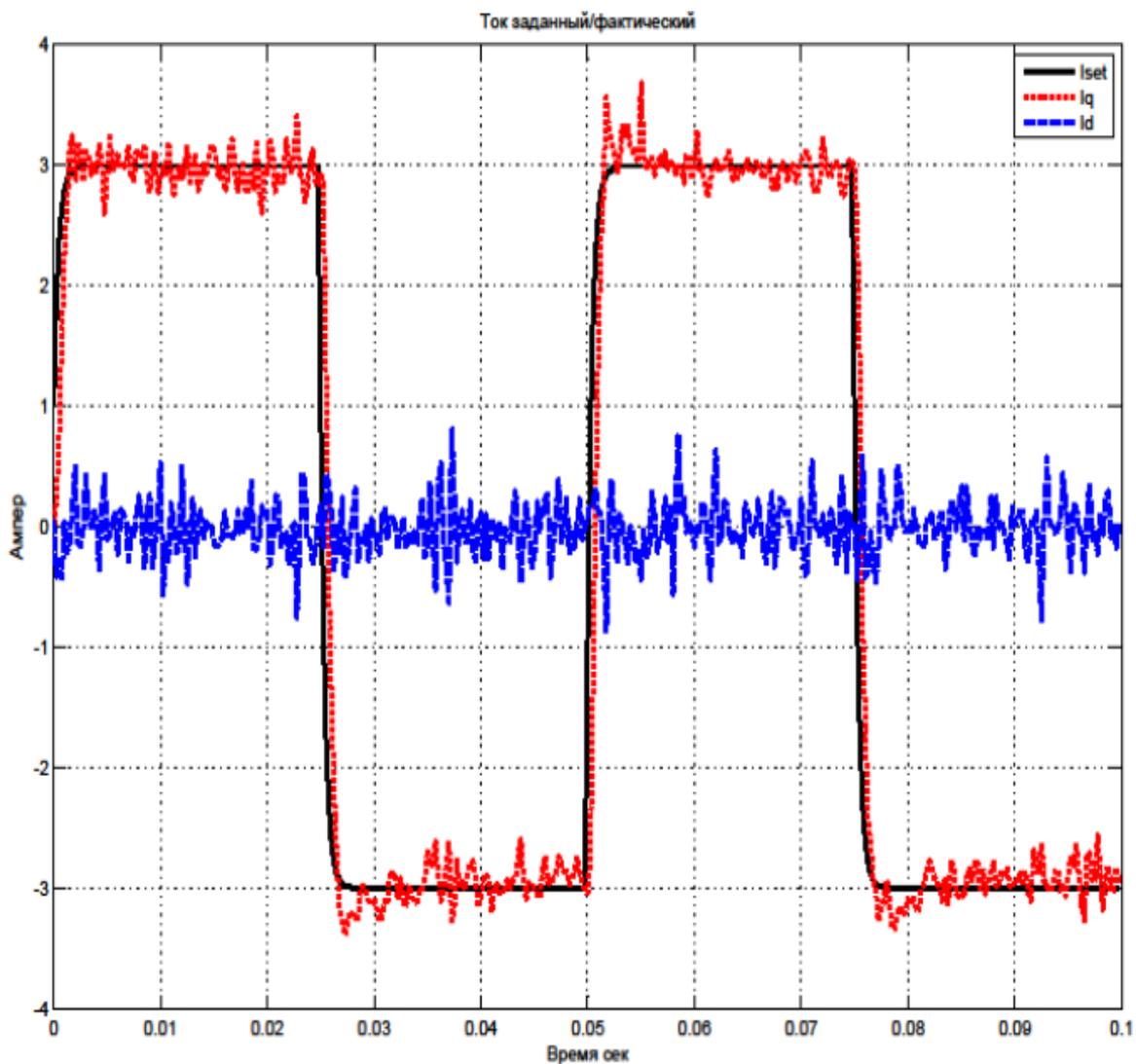


Рис. 3.18. Ступенчатый наброс заданного значения тока на входе регулятора тока I_{qsetPI} при $K_p=25$ A/V $K_i=3$ ms $F_i=1$

Окончательная ЛАЧХ и ЛФЧХ

При изменении параметров по умолчанию необходимо ещё раз снять ЛАЧХ и ЛФЧХ.

Ниже приведены графики при параметрах регулятора тока:

- $k_p=25AV$ $k_i=3m$ $F_i=1$.

Результат настройки:

• после преобразования Фурье контролируемых данных получаем ЛАЧХ и ЛФЧХ. Определяем полосу пропускания регулятора по уровню -3дБ и запас по фазе на этой частоте.

Получаем: полоса пропускания регулятора по уровню -3дБ $F=650$ Гц и запас по фазе на этой частоте равен $180^\circ-120^\circ=60^\circ$.

На рис. 3.19 показана окончательная ЛАЧХ и ЛФЧХ регулятора тока.

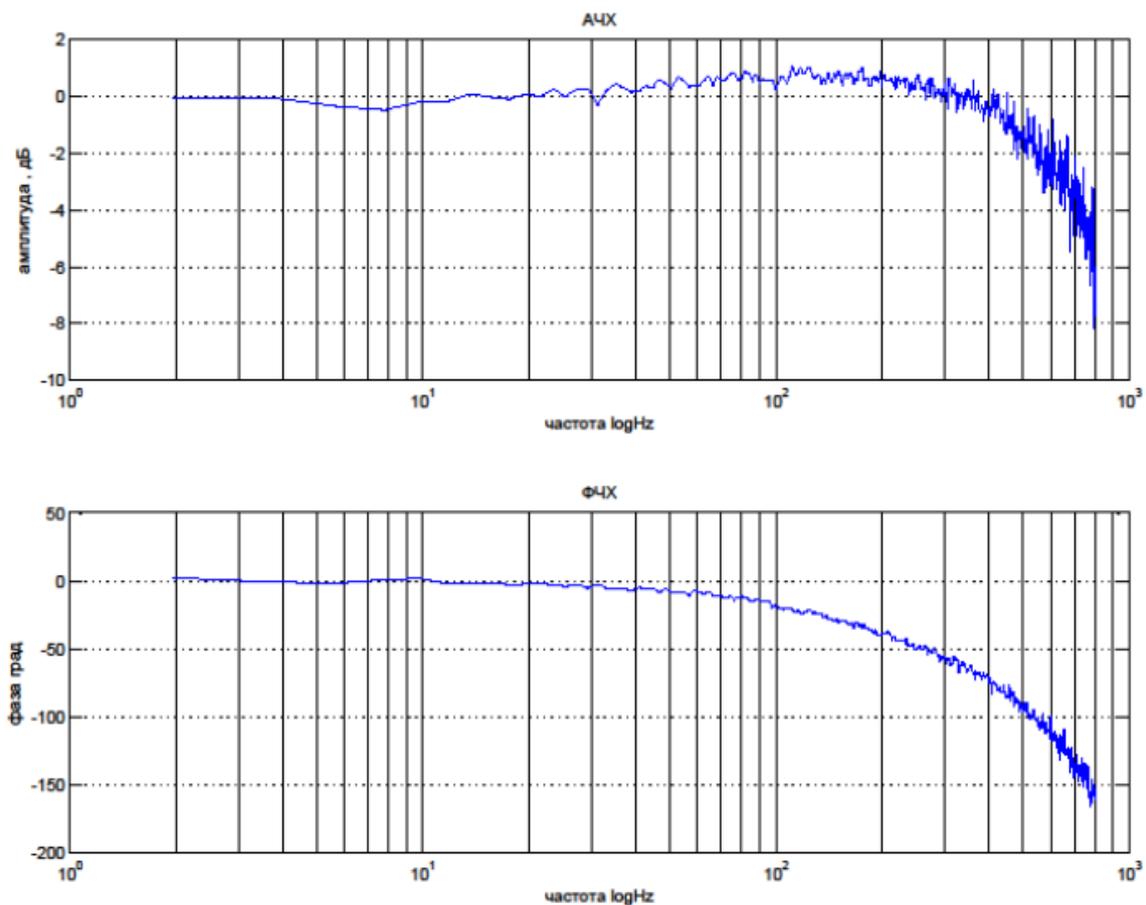


Рис. 3.19. Окончательная ЛАЧХ и ЛФЧХ регулятора тока.

Настройка регулятора скорости

Предварительная ЛАЧХ и ЛФЧХ

Установить параметры регулятора скорости по умолчанию:

- K_p – пропорциональный коэффициент (p404);
 - K_i – интегральный коэффициент (p405);
 - K_{rd} - Псевдо дифференциальная составляющая регулятора (p406);
 - отключить фильтр обратной связи по скорости (p414=0);
- $k_p=600 \text{ s}^{-1}$ $k_i=10m$ $k_p=100\%$ $F_n=0$.

Контролируемые данные:

- заданное значение скорости на входе регулятора скорости N_{setPI} , об/мин;
- актуальное значение скорости ЭД N_{actBF} , об/мин.

Заданное воздействие:

- наброс заданной скорости в виде Чирп-сигнала N_{set} , об/мин;
- частота 0-500 Гц;
- амплитуда – 2,5% от номинального значения ЭД.

Время измерения:

- зависит от длины Чирп-сигнала (при длине 2048 точки получаем 1024 мсек);
- период съема данных 0,5 ms;

Результат настройки:

- после преобразования Фурье контролируемых данных получаем ЛАЧХ и ЛФЧХ. Определяем полосу пропускания регулятора по уровню -3дБ и запас по фазе на этой частоте.

Получаем: полоса пропускания регулятора по уровню -3дБ $F=110$ Гц и запас по фазе на этой частоте равен $180^\circ-130^\circ=50^\circ$.

Обращаем внимание на то, что имеется подъем ЛАЧХ на +2,6дБ на частоте 27 Гц. На рис.3.20 представлена предварительная ЛАЧХ и ЛФЧХ регулятора скорости.

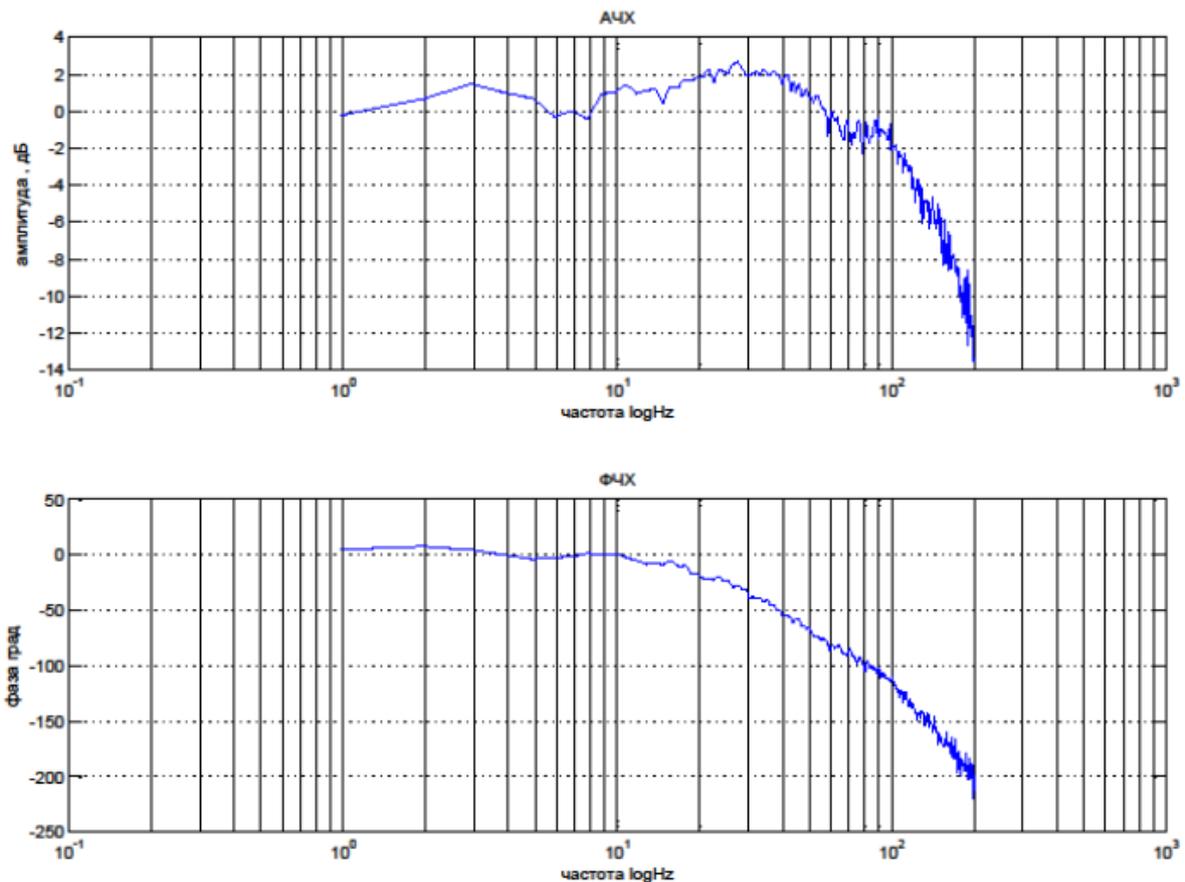


Рис. 3.20. Предварительная ЛАЧХ и ЛФЧХ регулятора скорости

Настройка пропорциональной и интегральной составляющей
1-й шаг. Настройка пропорционального коэффициента.

Установить параметры регулятора скорости по умолчанию (отключить фильтр обратной связи по скорости).

Установить интегральный коэффициент равный 0.

Контролируемые данные:

- заданное значение скорости на входе регулятора скорости N_{setPI} , об/мин;
- актуальное значение скорости ЭД N_{actBF} , об/мин;
- заданное значение на входе регулятора тока ($I_q \text{ set AF}$), А;
- актуальное значение тока I_{qact} , А.

Заданное воздействие:

- ступенчатый наброс заданной скорости на входе регулятора скорости N_{set} , об/мин;

- величина скорости – 2,5% от номинального значения ЭД;
- период наброса заданного значения – 200 мсек;
- длительность заданного значения – 100 мсек;
- количество повторений – 10.

Период съема данных: 0,5 мсек.

Результат настройки:

- увеличивая пропорциональный коэффициент, добиться отсутствия перерегулирования скорости;
- контролировать отсутствие ограничения (насыщения) заданного значения на входе регулятора тока $I_q \text{ set AF}$ и тока I_{qact} .

При необходимости - уменьшить амплитуду заданной скорости.

Ниже приведены графики при: $k_p=400 \text{ s}^{-1}$, $k_p=500 \text{ s}^{-1}$ и $k_p=600 \text{ s}^{-1}$.

Выбираем $k_p=500 \text{ s}^{-1}$.

На рис.3.21 показан ступенчатый наброс заданной скорости на входе регулятора скорости $NsetPI$ при $kp = 444 \text{ s}^{-11}$. На рис.3.22. представлен ступенчатый наброс заданной скорости на входе регулятора скорости $NsetPI$ при $kp = 544 \text{ s}^{-11}$. На рис.3.23 изображен ступенчатый наброс заданной скорости на входе регулятора скорости $NsetPI$ при $kp = 644 \text{ s}^{-11}$.

2-й шаг. Настройка интегрального коэффициента.

Установить пропорциональный коэффициент, выбранный в 1-м шаге ($k_p = 500 \text{ s}^{-1}$).

Установить интегральный коэффициент по умолчанию.

Контролируемые данные:

- заданное значение скорости на входе регулятора скорости $NsetPI$, об/мин;
- актуальное значение скорости ЭД $NactBF$, об/мин;
- заданное значение на входе регулятора тока ($I_q \text{ set AF}$), А;
- актуальное значение тока I_{qact} , А.

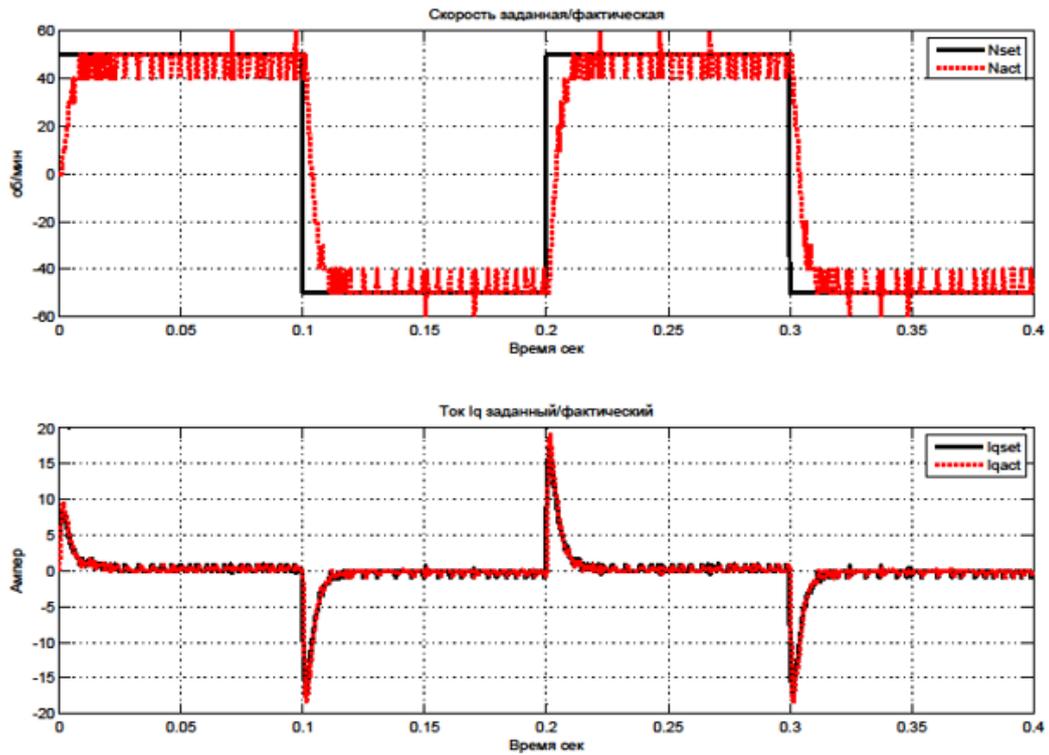


Рис. 3.21. Ступенчатый наброс заданной скорости на входе регулятора скорости NsetPI при $k_p = 444 \text{ s}^{-11}$

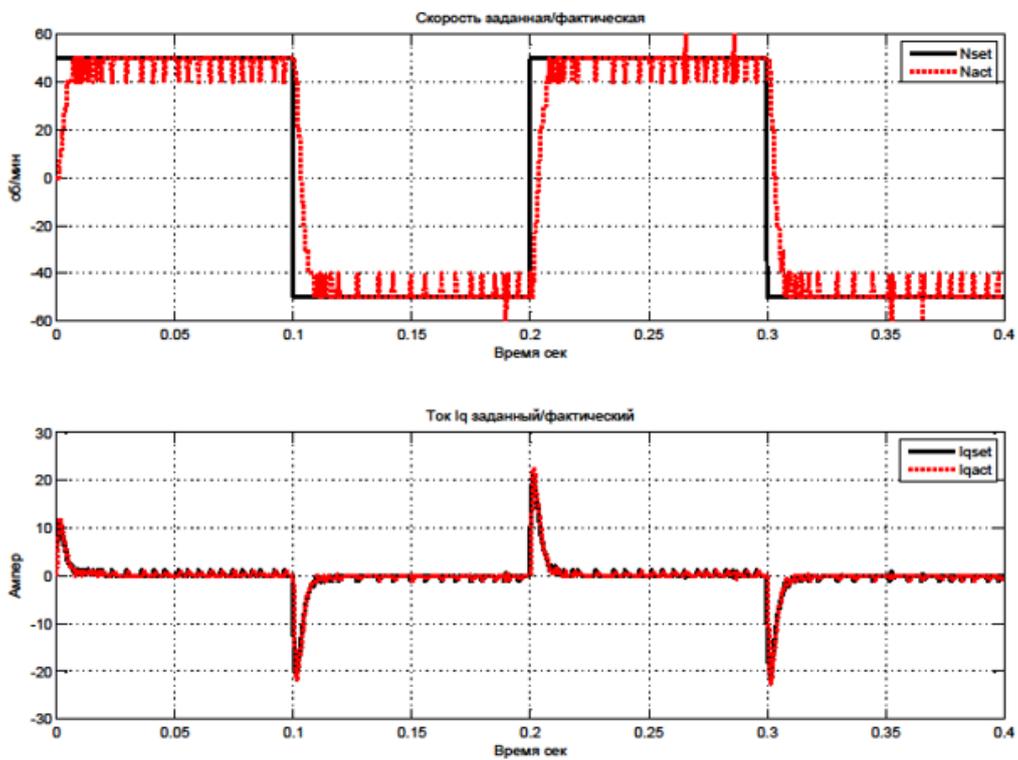


Рис. 3.22. Ступенчатый наброс заданной скорости на входе регулятора скорости NsetPI при $k_p = 544 \text{ s}^{-11}$

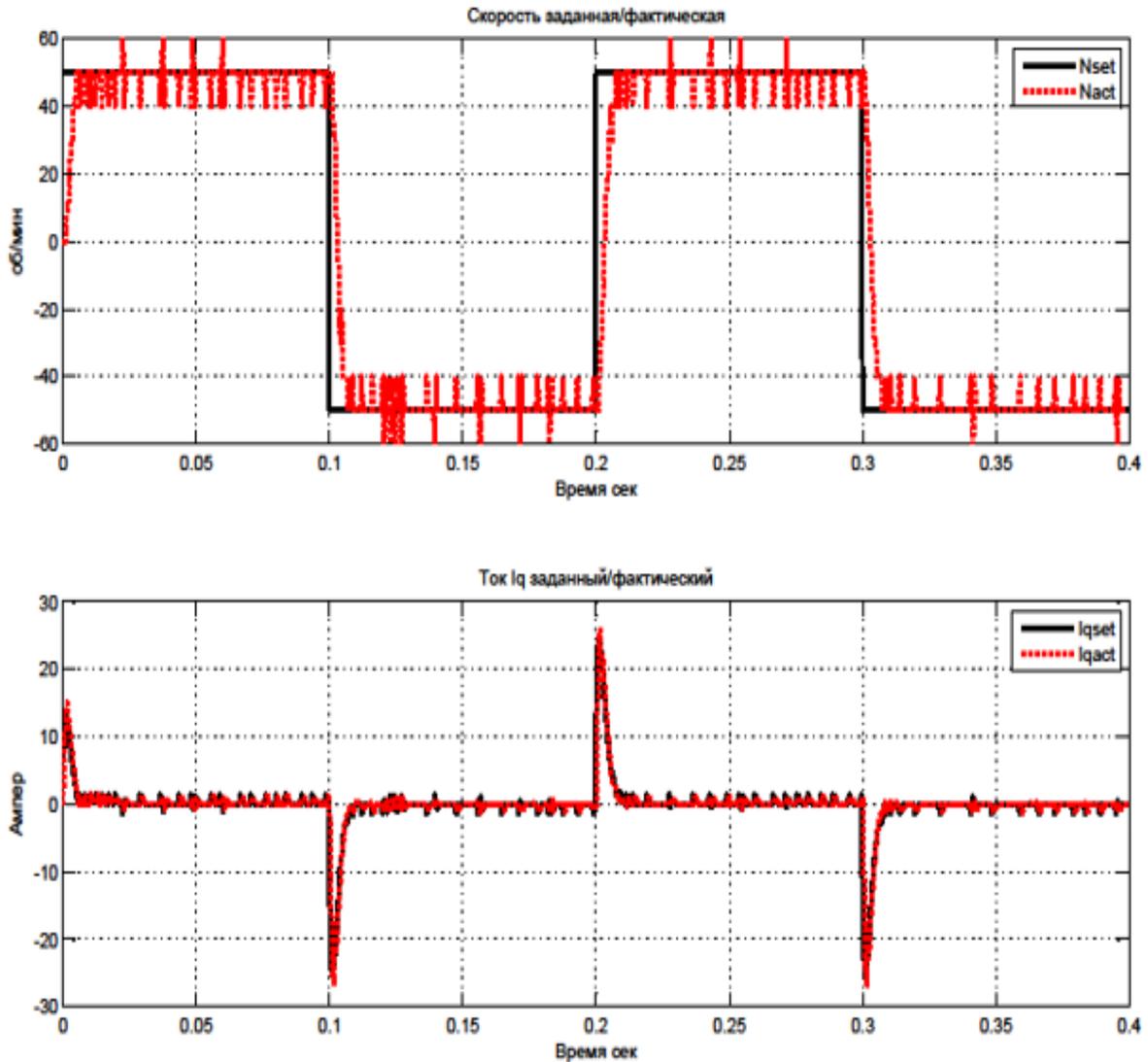


Рис. 3.23. Ступенчатый наброс заданной скорости на входе регулятора скорости N_{setPI} при $k_p = 644 \text{ s}^{-11}$

Заданное воздействие:

- ступенчатый наброс заданной скорости на входе регулятора скорости N_{set} , об/мин;
- величина скорости – 2,5% от номинального значения ЭД;
- период наброса заданного значения – 200 мсек;
- длительность заданного значения – 100 мсек;
- количество повторений – 10.

Период съема данных: 0,5 мсек

Результат настройки:

- изменяя интегральный коэффициент, добиться отсутствия перерегулирования скорости. Возможен небольшой колебательный процесс (не более 2-3 волн);
- контролировать отсутствие ограничения (насыщения) заданного значения на входе регулятора тока $I_q \text{ set AF}$ и тока I_{qact} . При необходимости - уменьшить амплитуду заданной скорости.

Ниже приведены графики при: $k_i = 10ms$, $k_i = 30ms$ и $k_i = 50ms$.

Выбираем $k_i = 50ms$. На рис. 3.24 изображен ступенчатый наброс заданной скорости на входе регулятора скорости NsetPI при $ki = 141s$. На рис. 3.25 показан ступенчатый наброс заданной скорости на входе регулятора скорости NsetPI при $ki = 341s$. На рис. 3.26 представлен ступенчатый наброс заданной скорости на входе регулятора скорости NsetPI при $ki = 541s$.

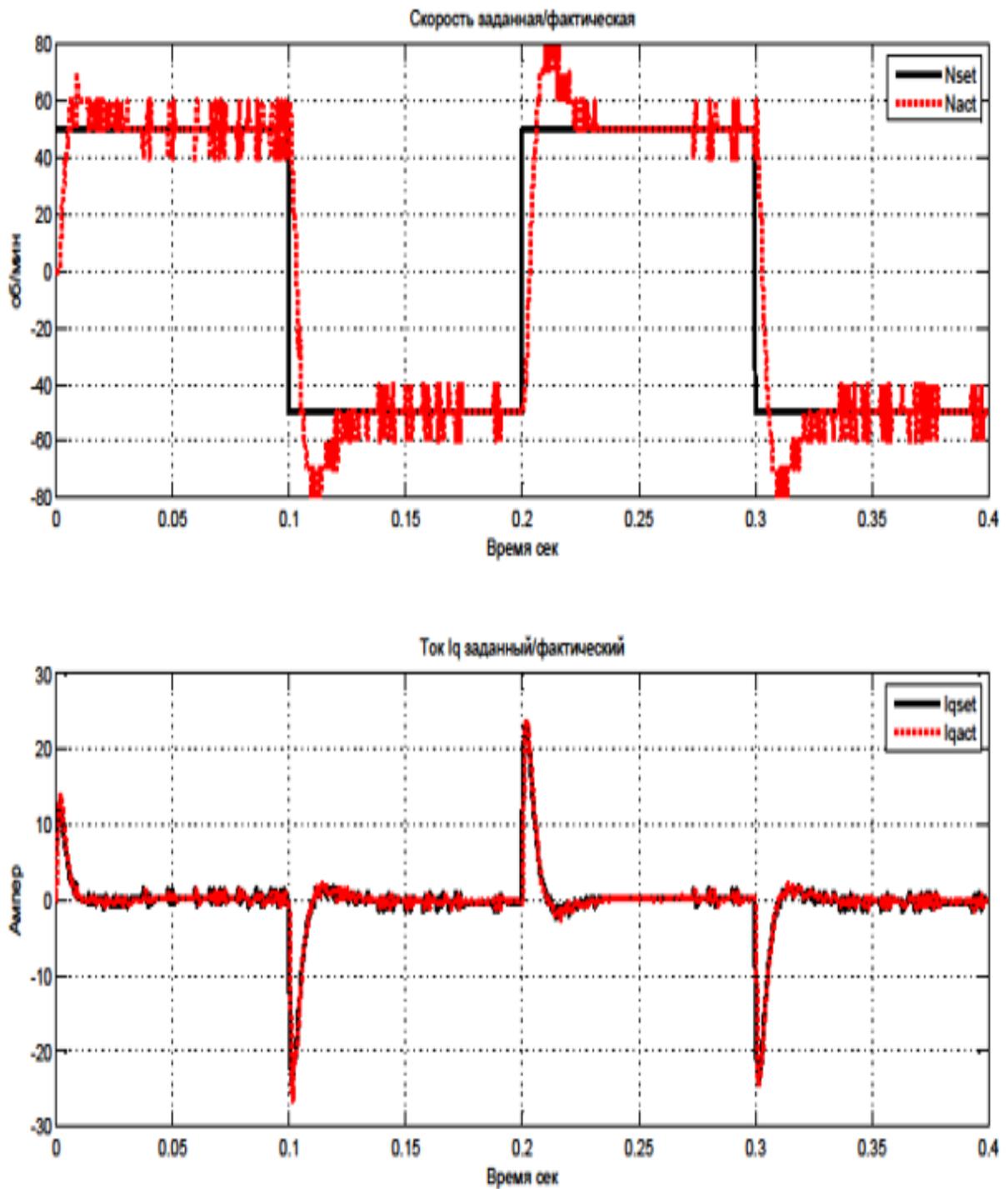


Рис. 3.24. Ступенчатый наброс заданной скорости на входе регулятора скорости NsetPI при $k_i = 141s$

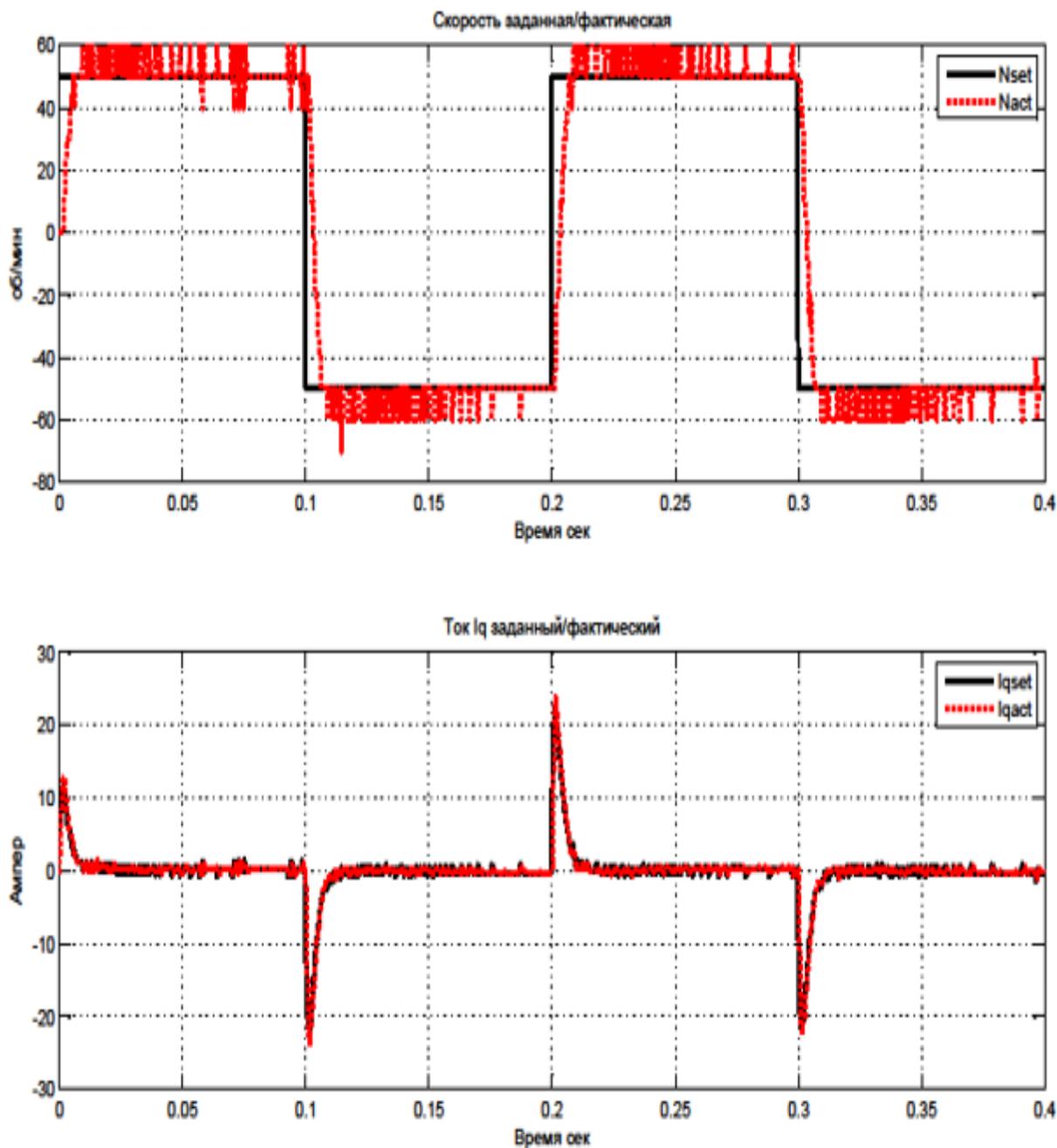


Рис. 3.25. Ступенчатый наброс заданной скорости на входе регулятора скорости NsetPI при $k_i = 341s$

3-й шаг. Проверка работы сглаживающего фильтра обратной связи по скорости.

Установить пропорциональный коэффициент, выбранный в 1-м шаге ($k_p = 500 s^{-1}$). Установить интегральный коэффициент, выбранный во 2-м шаге ($k_{ii} = 50ms$).

Включить фильтр обратной связи по скорости ($r311=1$) и его параметры по умолчанию:

- $r415$ Частота среза фильтра обратной связи по скорости – 100 Гц
- $r416$ Уровень фильтра обратной связи по скорости – 40 об/мин.

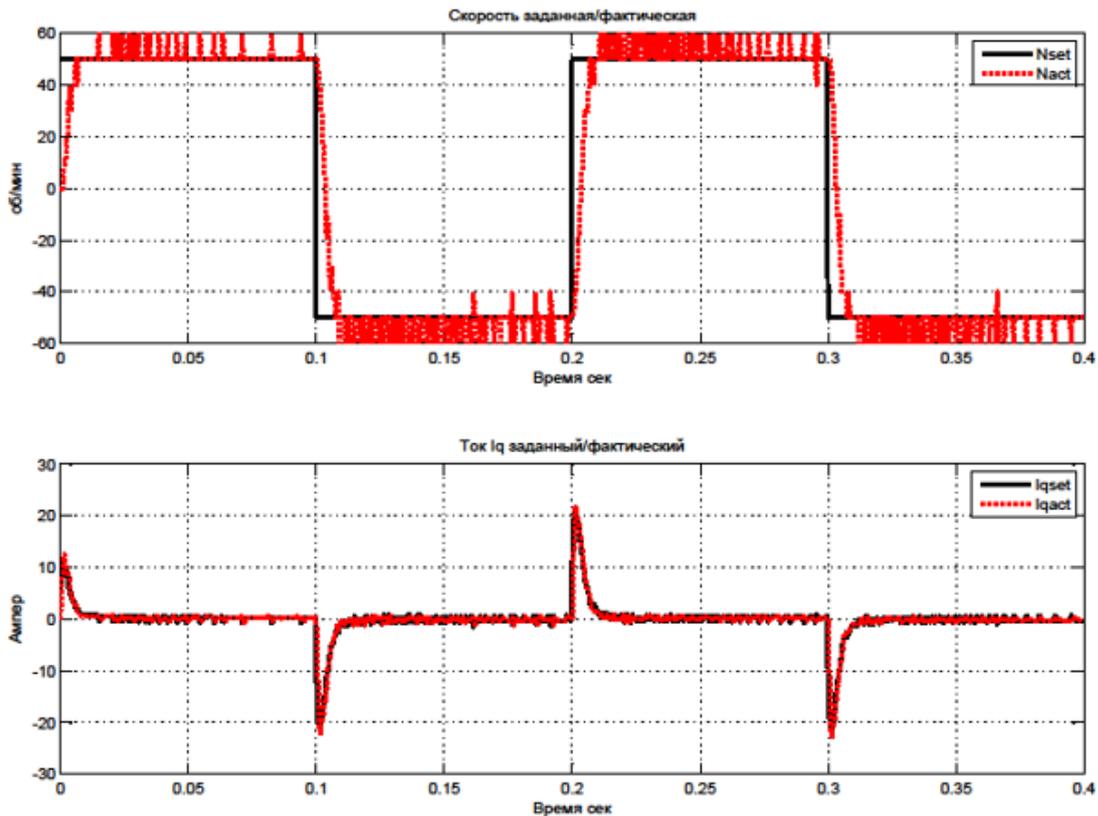


Рис. 3.26. Ступенчатый наброс заданной скорости на входе регулятора скорости N_{setPI} при $k_i = 541s$

Таким образом, имеем следующие значения параметров ЭП:

$$k_p = 500 s^{-1} \quad k_i = 50ms \quad F_n = 1 \quad F_n = 100 Hz \quad F_{nlev} = 40 rpm.$$

Контролируемые данные:

- заданное значение скорости на входе регулятора скорости N_{setPI} , об/мин;

- актуальное значение скорости ЭД N_{actAF} , об/мин;
- заданное значение на входе регулятора тока ($I_q \text{ set AF}$), А;
- актуальное значение тока I_{qact} , А.

Заданное воздействие:

- ступенчатый наброс заданной скорости на входе регулятора скорости N_{set} , об/мин;
- величина скорости – 2,5% от номинального значения ЭД;
- период наброса заданного значения – 200 мсек;
- длительность заданного значения – 100 мсек;
- количество повторений – 10.

Период съема данных: 0,5 мсек.

Результат настройки:

- изменяя пропорциональный и интегральный коэффициент, добиться отсутствия перерегулирования скорости. Возможен небольшой колебательный процесс (не более 2-3 волн);
- контролировать отсутствие ограничения (насыщения) заданного значения на входе регулятора тока $I_q \text{ set AF}$ и тока I_{qact} . При необходимости - уменьшить амплитуду заданной скорости.

На рис 3.27 представлен ступенчатый наброс заданной скорости на входе регулятора скорости N_{setPI} при $k_p = 544 \text{ s}^{-1}$ $k_i = 541 \text{ s}$ $F_n = 11$ $F_n F = 144$ $F_n v = 44$ $r p 1$.

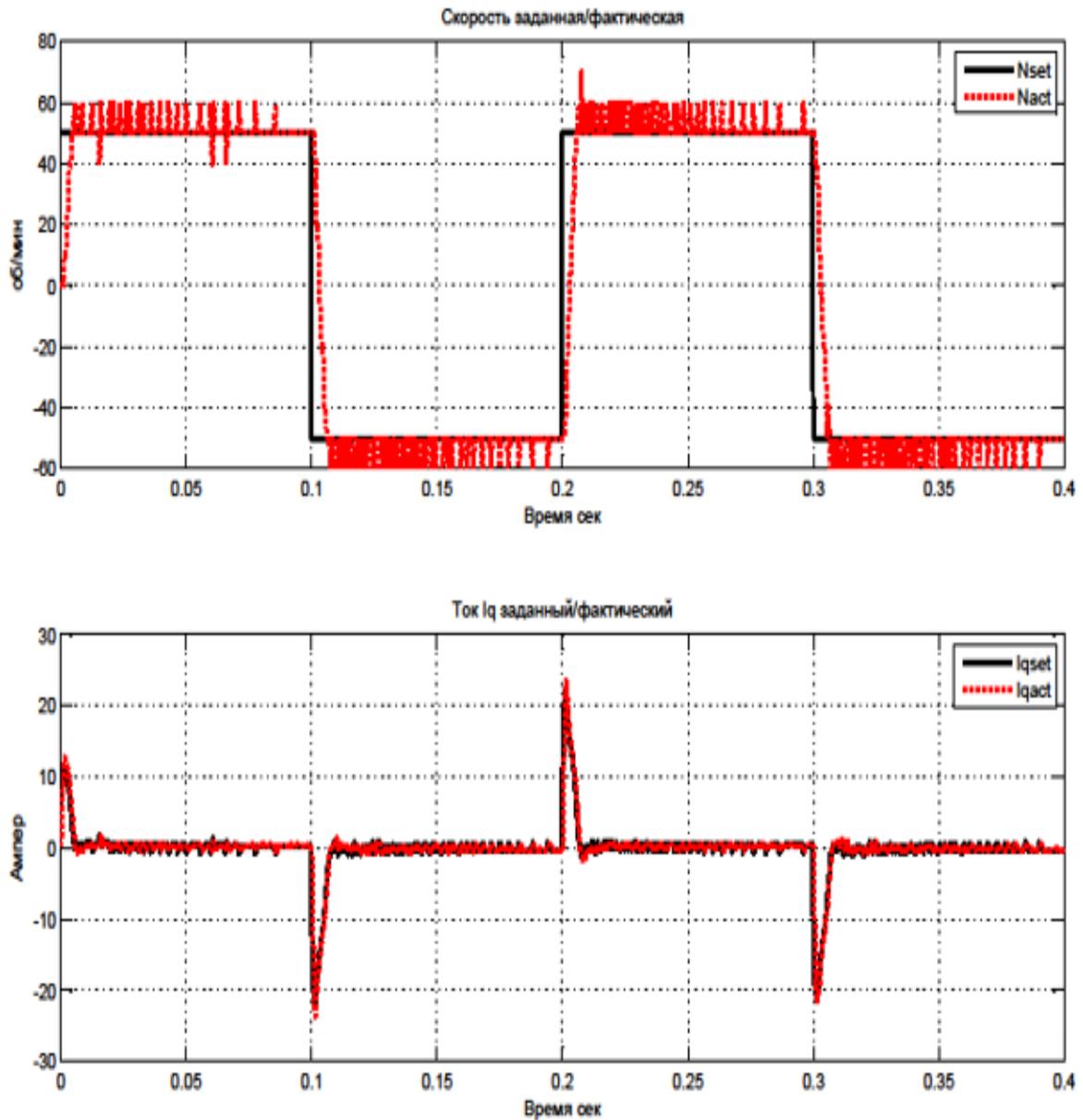


Рис. 3.27. Ступенчатый наброс заданной скорости на входе регулятора скорости NsetPI при $k_p = 544 \text{ s}^{-1}$ $k_i = 541 \text{ s}$ $F_n = 11$ $F_{nF} = 144$ $F_{nv} = 44 \text{ rpm}$

4-й шаг. Проверка токоограничения на выходе регулятора скорости.

Установить параметры, как и в 3-м шаге:

$$k_p = 500 \text{ s}^{-1}, k_i = 50 \text{ ms}, F_n = 1 \text{ Hz}, F_{nF} = 100 \text{ Hz}, F_{nv} = 40 \text{ rpm}.$$

Проконтролировать установленные параметры регулятора тока по умолчанию:

- Iq_lim_cont - ограничение длительной команды тока (p300);

- Iq_lim_peak - ограничение максимальной команды тока (p301);
 - T_lim_peak - время ограничения максимальной команды тока (p302);
 - $Mlim$ - максимальный момент ЭД (p206);
- $Iq_lim_cont = 25A; Iq_lim_peak = 25A; T_lim_peak = 1s, Mlim = 125Nm.$

Контролируемые данные:

- заданное значение скорости на входе регулятора скорости $NsetPI$, об/мин;
- актуальное значение скорости ЭД $NactAF$, об/мин;
- выходное значение регулятора скорости ($Mset$), 0.01 Нм;
- заданное значение на входе регулятора тока ($Iq\ set\ AF$), А.

Заданное воздействие:

- ступенчатый наброс заданной скорости на входе регулятора скорости $Nset$, об/мин;
- величина скорости – 100% от максимальной скорости оси, пересчитанной в об/мин ЭД;
- период наброса заданного значения – 1000 мсек;
- длительность заданного значения – 500 мсек;
- количество повторений – 1.

Период съема данных: 1 мсек.

Результат настройки:

- контролировать время ограничения (насыщения) выходного значения регулятора скорости ($Mset$) и заданного значения на входе регулятора тока $Iq\ set\ AF$. Для станков с моментом инерции нагрузки, приведенной к валу ЭД, равной 2-5 момента инерции ЭД это время составляет 400-800 мсек. Если момент инерции нагрузки имеет большую величину, необходимо увеличить параметр T_lim_peak ;

• величина ограничения момента ($Mset$) должна быть равна M_llm , а ограничения тока $Iq\ set\ AF$ - $Iq_lim_cont * \sqrt{2}$.

Ниже (рис. 3.28) приведены графики при вышеуказанных параметрах.

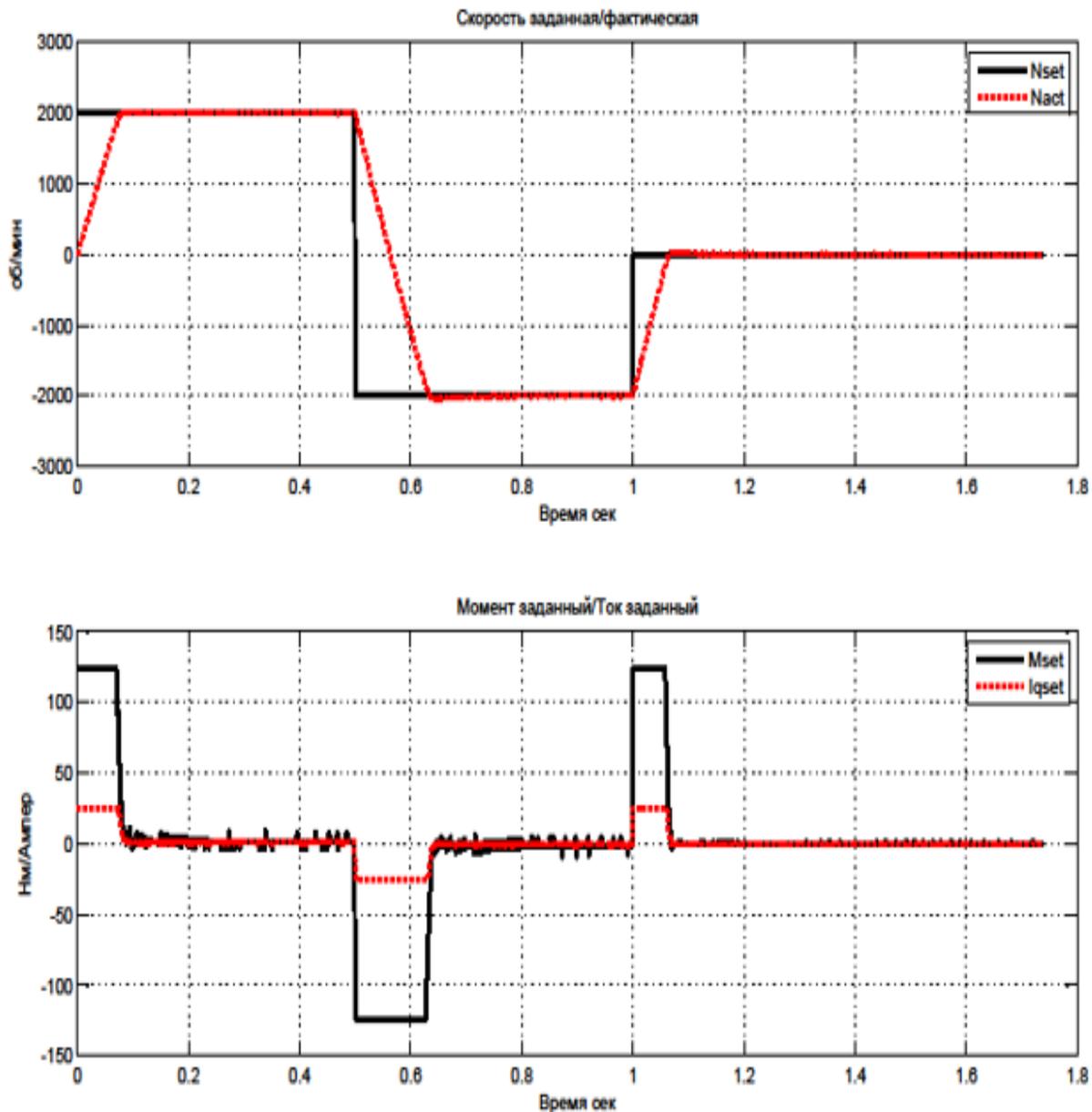


Рис. 3.28. Ступенчатый наброс заданной скорости на входе регулятора скорости N_{setPI} при проверке токоограничения на выходе регулятора скорости

Окончательная ЛАЧХ и ЛФЧХ

После изменения параметров по умолчанию необходимо ещё раз снять ЛАЧХ и ЛФЧХ.

Ниже приведены графики при параметрах регулятора тока:

- $k_p = 500 \text{ s}^{-1}$ $k_{ii} = 50 \text{ ms}$ $F_n = 1$ $F_{nbmn} = 100 \text{ Hz}$ $F_{nlev} = 40 \text{ rpm}$.

Получаем: полоса пропускания регулятора по уровню -3дБ, $F = 95 \text{ Гц}$ и запас по фазе на этой частоте равен $180^\circ - 115^\circ = 65^\circ$.

На рис. 3.29 показана окончательная ЛАЧХ и ЛФЧХ регулятора скорости.

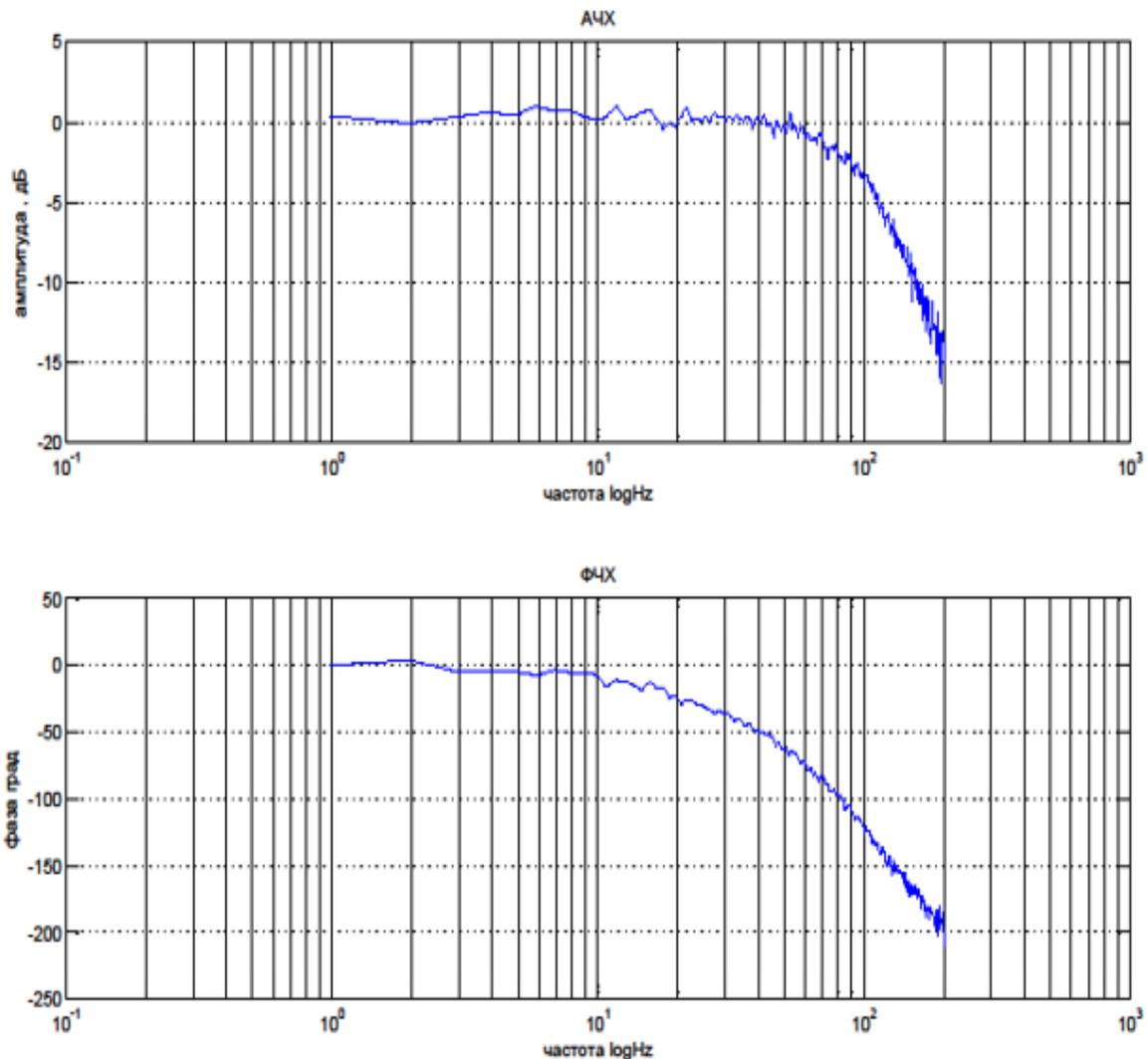


Рис. 3.29. Окончательная ЛАЧХ и ЛФЧХ регулятора скорости

Настройка регулятора положения ЭП

Регулятор положения ЭП может быть использоваться, например, в случае, если в качестве ЧПУ используется NC-202/220/302 ф. Балт-Систем с цифро-импульсным преобразователем (ЦИП).

При значении 3-го параметра в инструкции CAS=1, параметр p505=1, а при значении 3-го параметра в инструкции CAS=2, параметр p505=2.

Предварительная ЛАЧХ и ЛФЧХ

Установить параметры регулятора положения по умолчанию:

- K_v – пропорциональный коэффициент (p502);
- K_i – интегральный коэффициент (p503);
- K_{ffw} - Коэффициент предупреждения (p504).

$$k_v = 30 \text{ s}^{-1}, k_i = 0 \text{ ms}, \quad k_{fn} = 100\%.$$

Контролируемые данные:

- заданное значение входе регулятора положения (CNTSsetPI), cnts/ms;
- актуальное значение положения (CNTSact), cnts/ms;
- актуальное значение тока I_{qact} , А.

Заданное воздействие:

- заданное значение на регуляторе положения в виде Чирп-сигнала (CNTSset), cnts/ms;
- частота 0-250 Гц;
- амплитуда – 2,5% от номинального значения скорости ЭД.

Время измерения:

- зависит от длины Чирп-сигнала (при длине 2048 точки получаем 2048 мсек);
- период съема данных 1 ms.

Результат настройки:

- контролировать актуальное значение тока I_{qact} , чтобы он не превышал максимального значения тока ЭД;
- после преобразования Фурье контролируемых данных получаем ЛАЧХ и ЛФЧХ. Определяем полосу пропускания регулятора по уровню -3дБ и запас по фазе на этой частоте.

Получаем: полоса пропускания регулятора по уровню -3дБ, $F = 100$ Гц и запас по фазе на этой частоте равен $180^\circ - 140^\circ = 40^\circ$.

Обращаем внимание на то, что имеется подъем ЛАЧХ на +1,7дБ в диапазоне частот 1-40 Гц.

На рис.3.30. изображена предварительная ЛАЧХ и ЛФЧХ регулятора положения ЭП. Предварительная настройка K_v -фактора без предупреждения.

Установить параметры регулятора положения:

- K_v – пропорциональный коэффициент (p502);
- K_i – интегральный коэффициент (p503);
- K_{ffw} - Коэффициент предупреждения (p504);

$$k_v = 30 \text{ s}^{-1}, k_i = 0 \text{ ms}, \quad k_{fn} = 0\%.$$

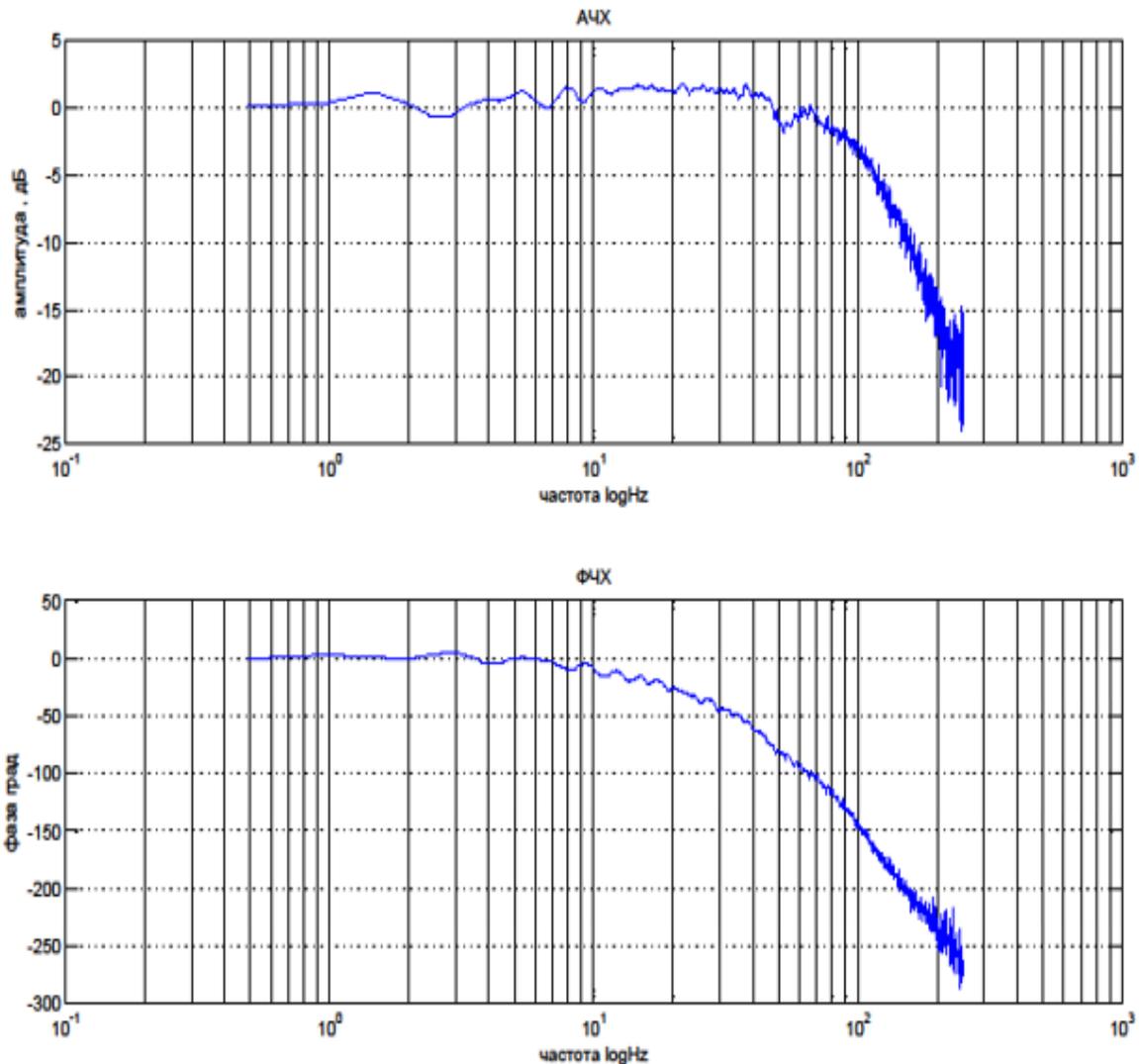


Рис. 3.30. Предварительная ЛАЧХ и ЛФЧХ регулятора положения ЭП

Контролируемые данные:

- заданное значение на регуляторе положения ($CNTS_{setPI}$), cnts/ms;
- актуальное значение положения ($CNTS_{act}$), cnts/ms;
- Рассогласование по положению (FE), cnts;
- актуальное значение тока I_{qact} , А.

Заданное воздействие:

- ступенчатый наброс заданного положения на входе регулятора положения ($CNTS_{set}$), cnts/ms;
- амплитуда – 5% от номинального значения скорости ЭД;
- период наброса заданного значения – 500 мсек;
- длительность заданного значения – 250 мсек;
- количество повторений – 1.

Время измерения:

- период съема данных 1 ms.

Результат настройки:

- увеличивая K_v -фактор, добиться минимального времени переходного процесса без перерегулирования;
- контролировать актуальное значение тока I_{qact} , чтобы он не превышал номинального значения тока ЭД.

Ниже приведены графики при:

$k_v = 30 \text{ s}^{-1}$, $k_v = 100 \text{ s}^{-1}$, $k_v = 133 \text{ s}^{-1}$. Выбираем $k_v = 100 \text{ s}^{-1}$.

На рис. 3.31 представлен ступенчатый наброс заданного положения на входе регулятора положения (CNTSset) при $k_v = 34 \text{ s}^{-1}$. На рис. 3.32 изображен ступенчатый наброс заданного положения на входе регулятора положения (CNTSset) при $k_v = 144 \text{ s}^{-1}$. На рис. 3.33 показан ступенчатый наброс заданного положения на входе регулятора положения (CNTSset) при $k_v = 133 \text{ s}^{-1}$.

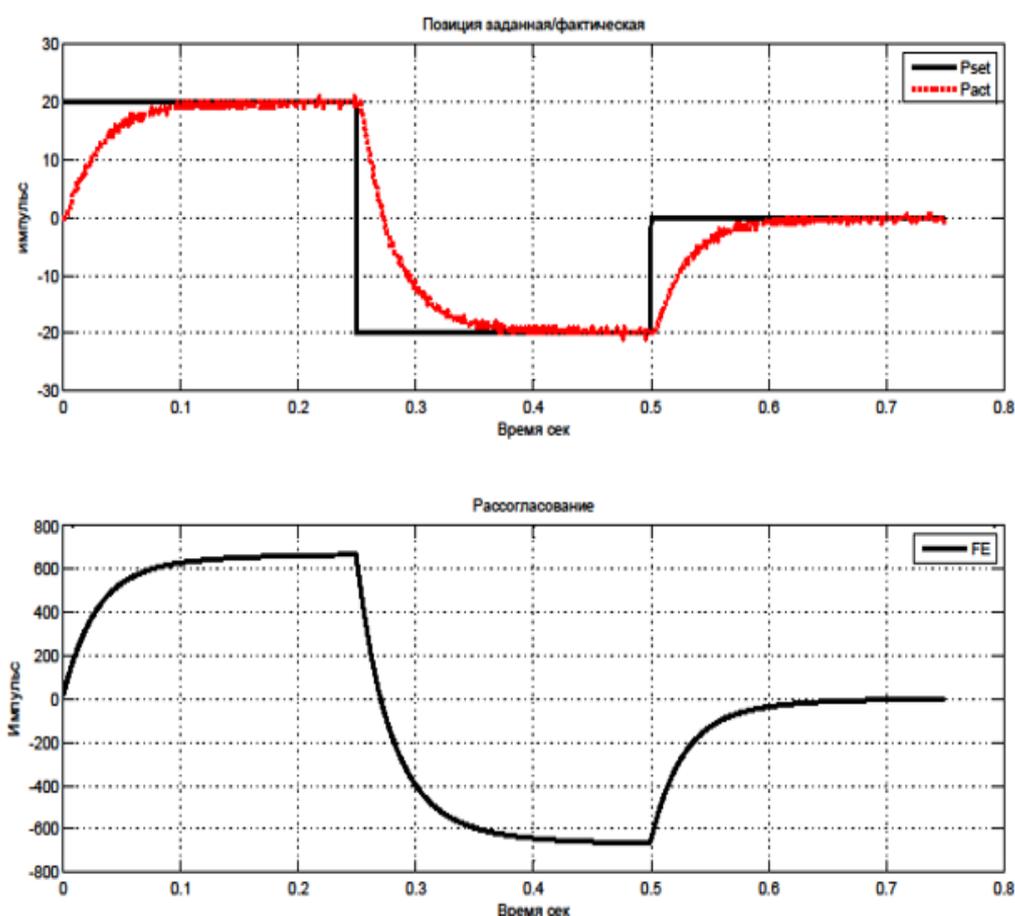


Рис. 3.31. Ступенчатый наброс заданного положения на входе регулятора положения (CNTSset) при $k_v = 34 \text{ s}^{-1}$

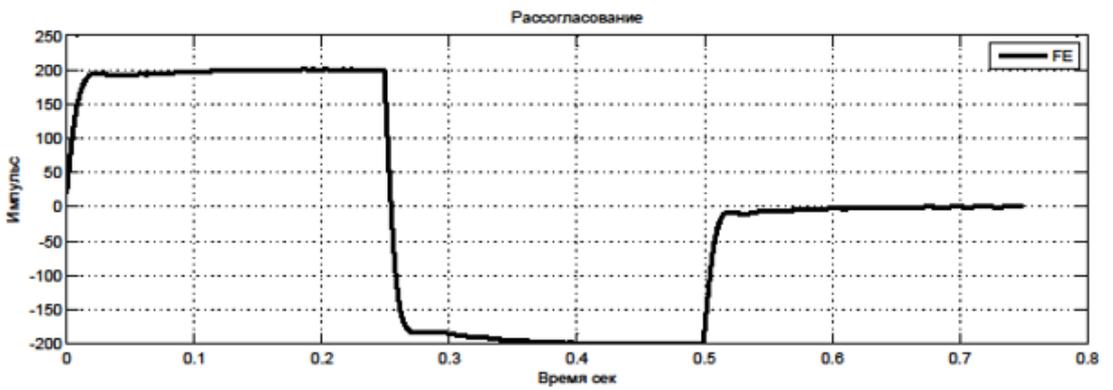
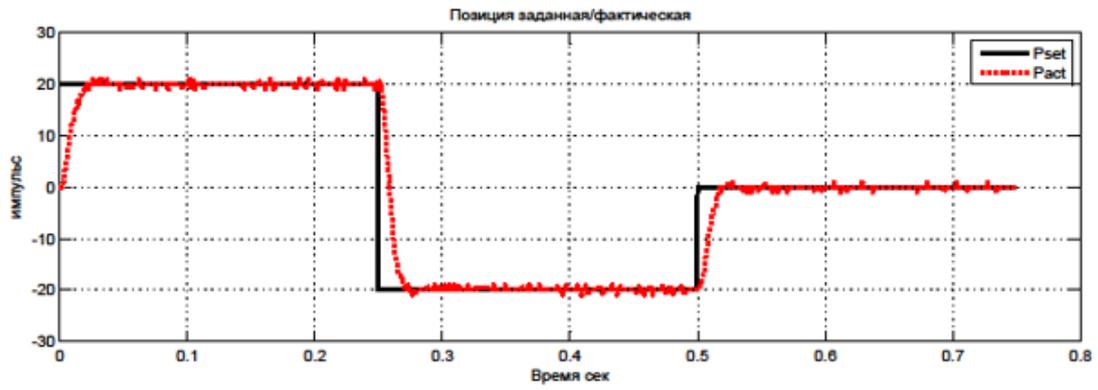


Рис. 3.32. Ступенчатый наброс заданного положения на входе регулятора положения (CNTSset) при $k_v = 144 \text{ s}^{-1}$

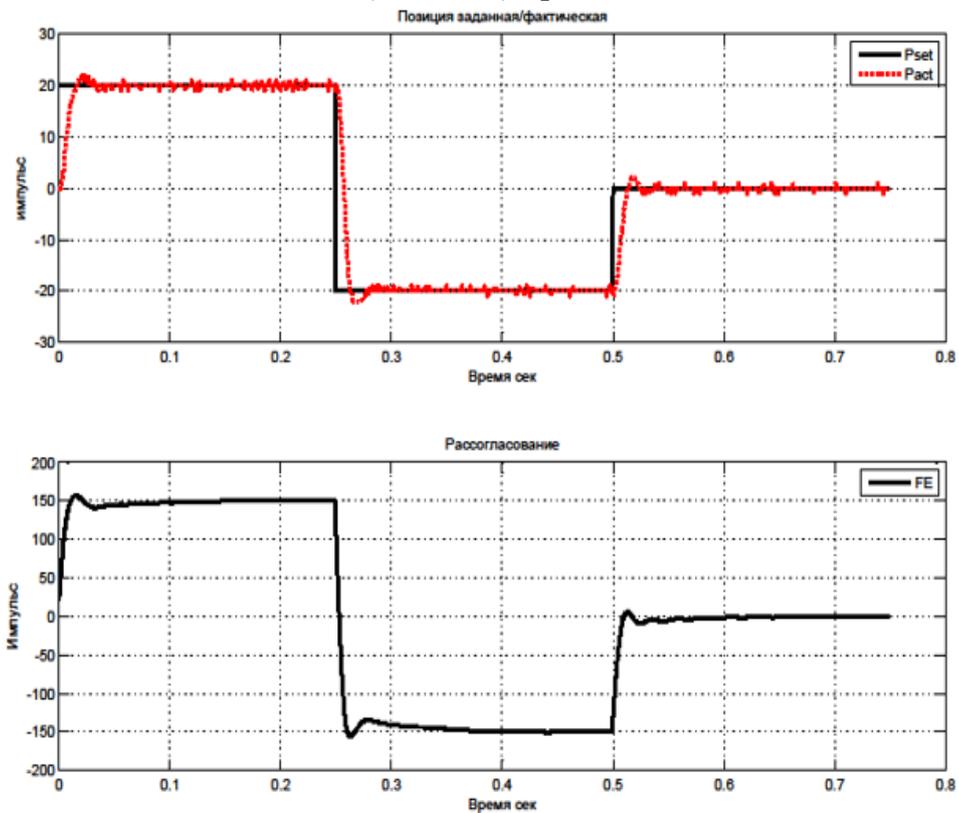


Рис. 3.33. Ступенчатый наброс заданного положения на входе регулятора положения (CNTSset) при $k_v = 133 \text{ s}^{-1}$

Установить Kv-фактор=0.

Контролируемые данные:

- заданное значение на регуляторе положения (CNTSsetPI), cnts/ms;
- актуальное значение положения (CNTSact), cnts/ms;
- рассогласование по положению (FE), cnts;
- актуальное значение тока I_{qact} , А.

Заданное воздействие:

- ступенчатый наброс заданного положения на входе регулятора положения (CNTSset).

cnts/ms:

- амплитуда – 5% от номинального значения скорости ЭД;
- период наброса заданного значения – 500 мсек;
- длительность заданного значения – 250 мсек;
- количество повторений – 1.

Время измерения:

- период съема данных 1 ms.

Результат настройки:

- увеличивая K_{ffw} , добиться отсутствия перерегулирования при выходе в заданную позицию.

Ниже приведены графики при $k_{fn} = 100\%$, $k_{fn} = 60\%$.

Выбираем $k_{fn} = 60\%$.

На рис. 3.34 представлен ступенчатый наброс заданного положения на входе регулятора положения (CNTSset) при $k_{fF} = 14\%$. На рис.3.35. изображен ступенчатый наброс заданного положения на входе регулятора положения (CNTSset) при $k_{fF} = 64\%$.

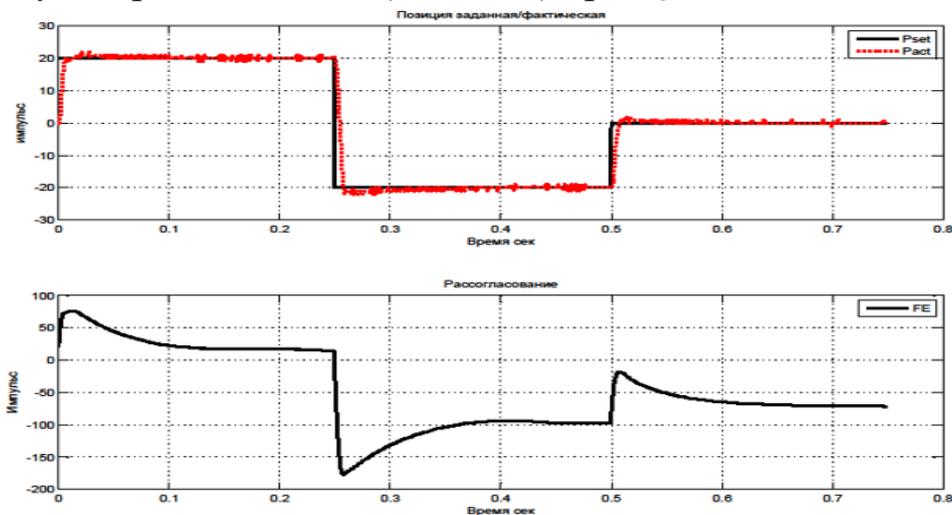


Рис. 3.34. Ступенчатый наброс заданного положения на входе регулятора положения (CNTSset) при $k_{fF} = 14\%$

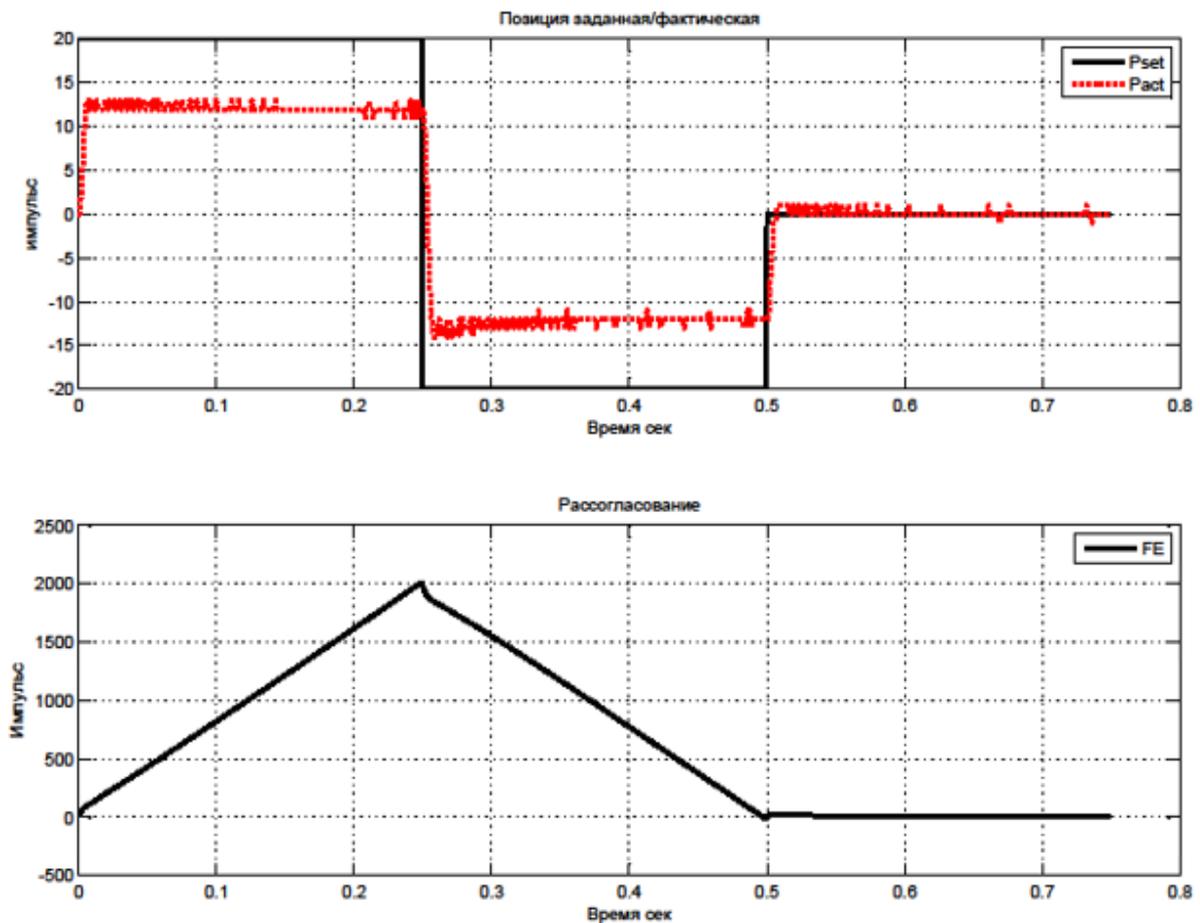


Рис. 3.35. Ступенчатый наброс заданного положения на входе регулятора положения (CNTSset) при $k_{fF} = 64 \%$

Настройка Kv-фактора с предупредлением

Установить Kv-фактор, определённый в п.2.4.2. и Kffw в п.2.4.3:

$$k_v = 100 \text{ s}^{-1} \quad k_{fn} = 60\%$$

Контролируемые данные:

- заданное значение на регуляторе положения (CNTSsetPI), cnts/ms

- актуальное значение положения (CNTSact), cnts/ms

- Рассогласование по положению (FE), cnts

- актуальное значение тока I_{qact} , A

Заданное воздействие:

- ступенчатый наброс заданного положения на входе регулятора положения (CNTSset), cnts/ms

- амплитуда – 5% от номинального значения скорости ЭД
- период наброса заданного значения – 500 мсек
- длительность заданного значения – 250 мсек
- количество повторений - 1

Время измерения:

- период съема данных 1 ms

Результат настройки:

- изменяя K_{fw} , добиться отсутствия перерегулирования при

выходе в заданную позицию.

Ниже приведены графики при:

$$k_v = 100 \text{ s}^{-1} \quad k_{fn} = 60\% \text{ и } k_v = 100 \text{ s}^{-1} \quad k_{fn} = 40\%$$

Выбираем

$$k_v = 100 \text{ s}^{-1} \quad k_{fn} = 40\%$$

На рис.3.36 изображен ступенчатый наброс заданного положения на входе регулятора положения (CNTSset) при $k_v = 144 \text{ s}^{-1}$ $k_F = 64\%$.

На рис. 3.37 представлен ступенчатый наброс заданного положения на входе регулятора положения (CNTSset) при $k_v = 144 \text{ s}^{-1}$ $k_{FF} = 44\%$.

Окончательная ЛАЧХ и ЛФЧХ.

После изменения параметров по умолчанию необходимо ещё раз снять ЛАЧХ и ЛФЧХ.

Ниже приведены графики при параметрах регулятора положения:

$$k_v = 100 \text{ s}^{-1} \quad k_{fn} = 40\%$$

Получаем: полоса пропускания регулятора по уровню -3дБ $F = 60$ Гц и запас по фазе на этой частоте равен $180^\circ - 110^\circ = 70^\circ$.

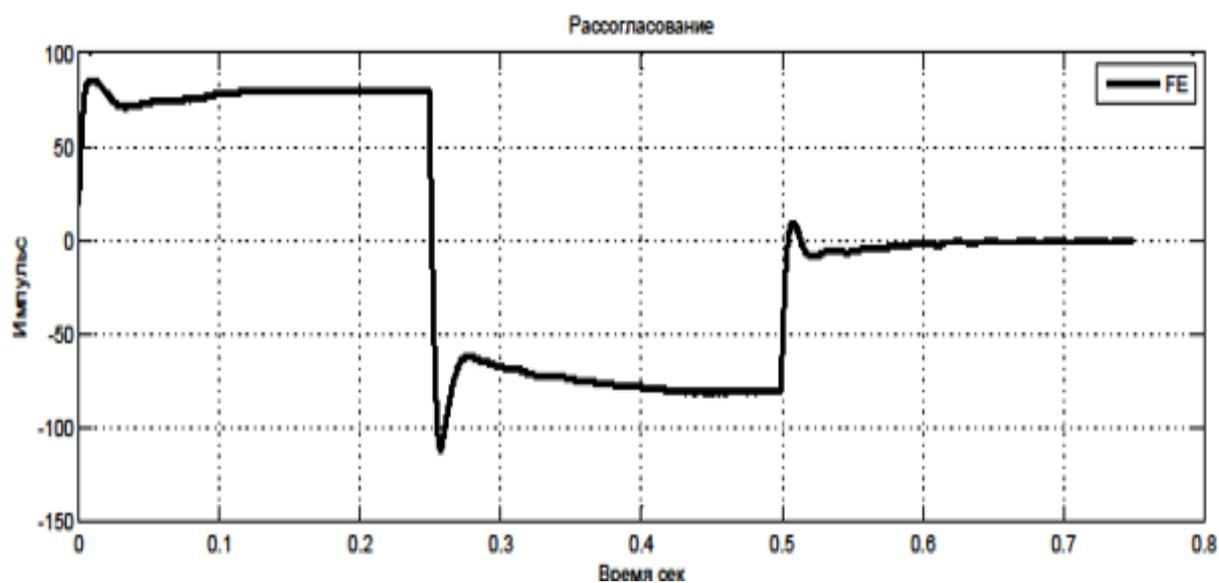
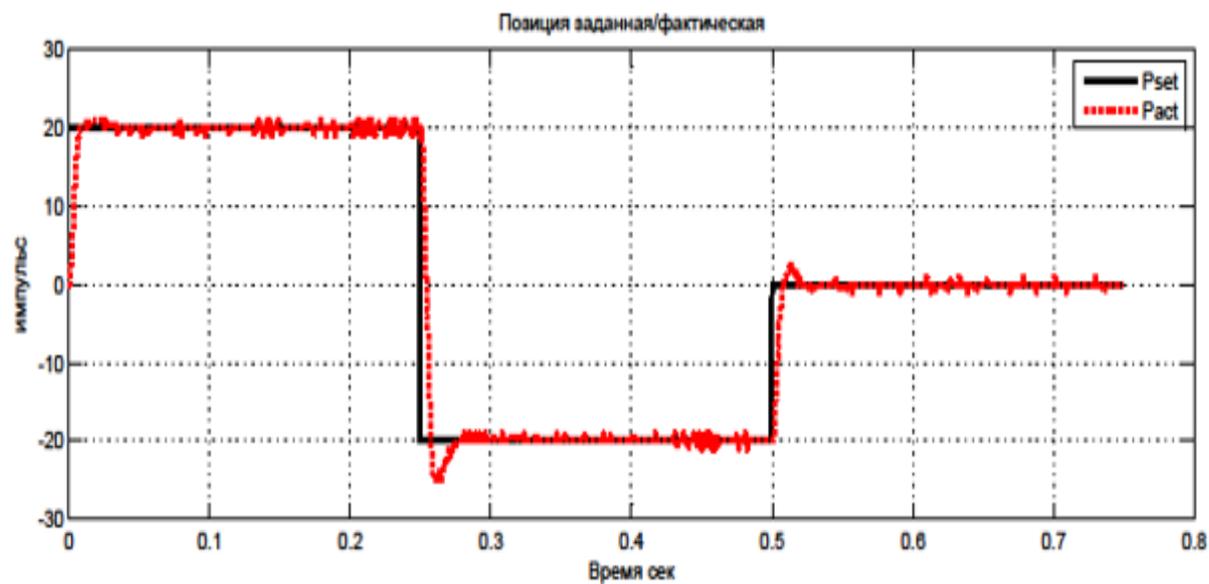


Рис. 3.36. Ступенчатый наброс заданного положения на входе регулятора положения (CNTSset) при $k_v = 144 \text{ s}^{-1}$ $k_F = 64\%$

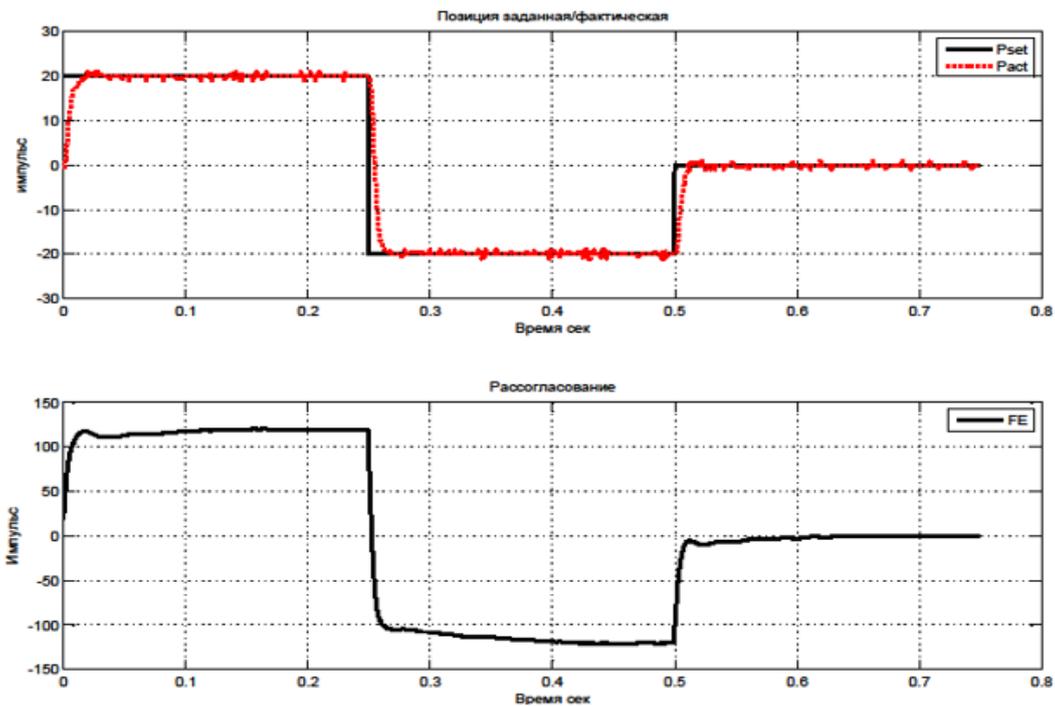


Рис. 3.37. Ступенчатый наброс заданного положения на входе регулятора положения (CNTSset) при $k_v = 144 \text{ s}^{-1}$ $k_{fF} = 44\%$

На рис.3.38 представлена окончательная ЛАЧХ и ЛФЧХ регулятора положения ЭП.

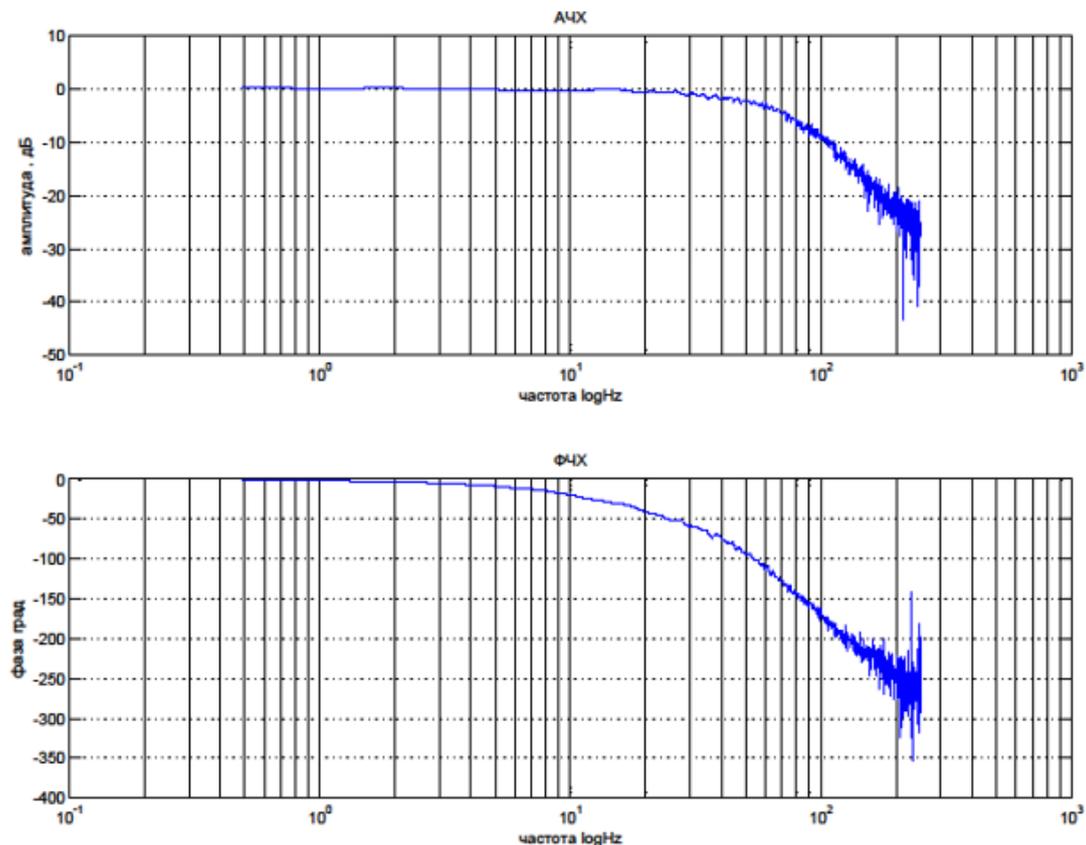


Рис. 3.38. Окончательная ЛАЧХ и ЛФЧХ регулятора положения ЭП

3.4.3. Настройка регулятора положения при работе от ЧПУ

Предполагается, что в качестве ЧПУ используется НС-XXX ф. Балт-Систем и аналоговым заданием на ЭП. Таким образом, в самом начале необходимо произвести балансировку ЭП и ЧПУ (устранить рассогласование в следящем режиме ЭП при отсутствии задания на движение – параметр ЭП "p58 Смещение аналогового задания").

Предварительная ЛАЧХ и ЛФЧХ

Установить параметры регулятора положения по умолчанию:

- K_v – пропорциональный коэффициент (3-й параметр в инструкции GM0 = xx);
- K_i – интегральный коэффициент (8-й параметр в инструкции FRC= xx);
- K_{fw} - Коэффициент предупредления (7-й параметр в инструкции FRC=xx).

$$k_v = 16.667 \text{ s}^{-1} \quad k_i = 0 \text{ ms} \quad k_{fn} = 0$$

Контролируемые данные:

- заданное значение входе регулятора положения, имп;
- актуальное значение положения, имп;
- актуальное значение тока I_{qact} , А.

Заданное воздействие:

- заданное значение на регуляторе положения в виде Чирп-сигнала, имп;
- частота 0-100 Гц;
- амплитуда – 2,5% от максимального значения рассогласования.

Время измерения:

- зависит от длины Чирп-сигнала (при длине 2048 точки получаем 4096 мсек);
- период съема данных 2 ms (1 tick).

Результат настройки:

- контролировать актуальное значение тока I_{qact} , чтобы он не превышал максимального значения тока ЭД;
- после преобразования Фурье контролируемых данных получаем ЛАЧХ и ЛФЧХ. Определяем полосу пропускания регулятора по уровню -3дБ и запас по фазе на этой частоте.

Получаем: полоса пропускания регулятора по уровню -3дБ $F = 2,7$ Гц и запас по фазе на этой частоте равен $180^\circ - 56^\circ = 124^\circ$.

Частота, на которой фаза равна -180° , равна 25 Гц и запас по амплитуде на этой частоте 18 дБ.

На рис 3.39 изображена предварительная ЛАЧХ и ЛФЧХ регулятора положения ЧПУ.

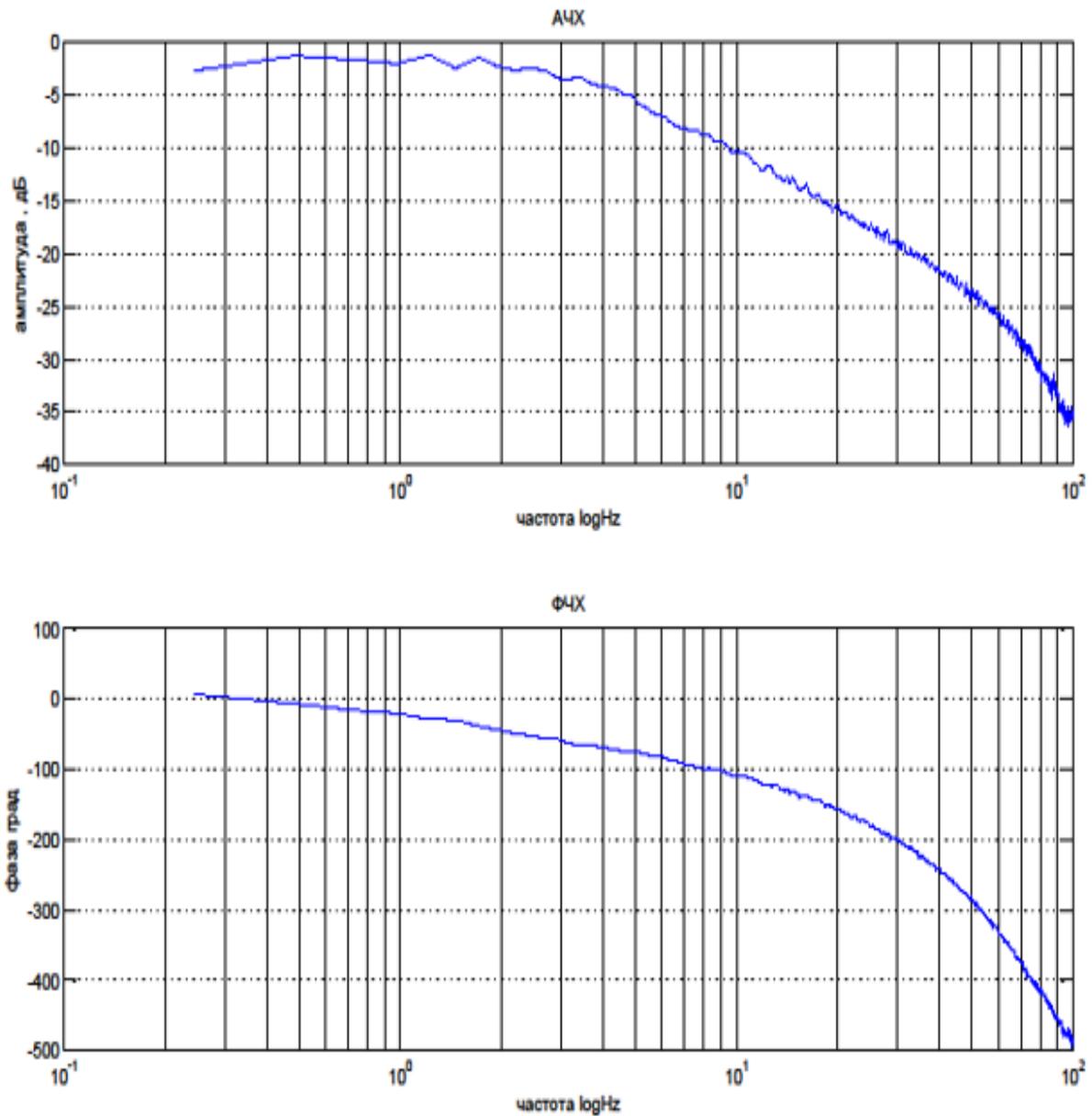


Рис. 3.39. Предварительная ЛАЧХ и ЛФЧХ регулятора положения ЧПУ

Предварительная настройка Kv-фактора без предупреждения

Установить параметры регулятора положения по умолчанию:

- K_v – пропорциональный коэффициент (3-й параметр в инструкции GM0 = xx);
- K_i – интегральный коэффициент (8-й параметр в инструкции FRC = xx);
- Kffw - Коэффициент предупреждения (7-й параметр в инструкции FRC = xx).

$$k_v = 16.667 \text{ s}^{-1} \quad k_i = 0 \text{ ms} \quad k_{fn} = 0 \text{ (UEP = 1)}$$

Контролируемые данные:

- заданное значение входе регулятора положения, имп;
- актуальное значение положения, имп;
- рассогласование, имп.

Заданное воздействие:

- ступенчатый наброс заданного положения, имп;
- амплитуда заданного положения 2,5% от максимального значения рассогласования;
- длительность заданного положения 250 мсек.

Время измерения:

- 500 мсек

Результат настройки:

- увеличивая K_v -фактор, добиться минимального времени переходного процесса без колебаний.

Ниже приведены графики при:

$$k_v = 16.667 \text{ s}^{-1} \quad k_v = 50 \text{ s}^{-1} \quad k_v = 66.667 \text{ s}^{-1}$$

Выбираем $k_v = 50 \text{ s}^{-1}$

На рис. 3.40. изображен ступенчатый наброс заданного положения на входе регулятора положения при $k_v = 16.66 \text{ s}^{-1}$.

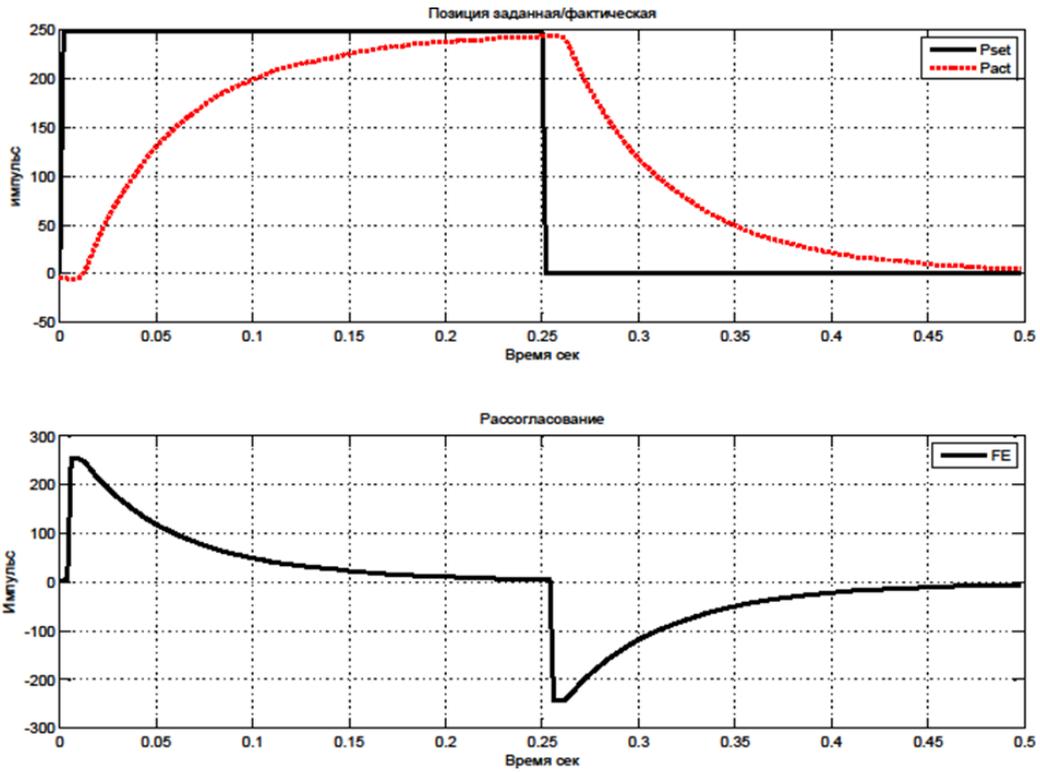


Рис. 3.40. Ступенчатый наброс заданного положения на входе регулятора положения при $k_v = 16.666 \text{ s}^{-1}$

На рис. 3.41 представлен ступенчатый наброс заданного положения на входе регулятора положения при $k_v = 16.666 \text{ s}^{-1}$.

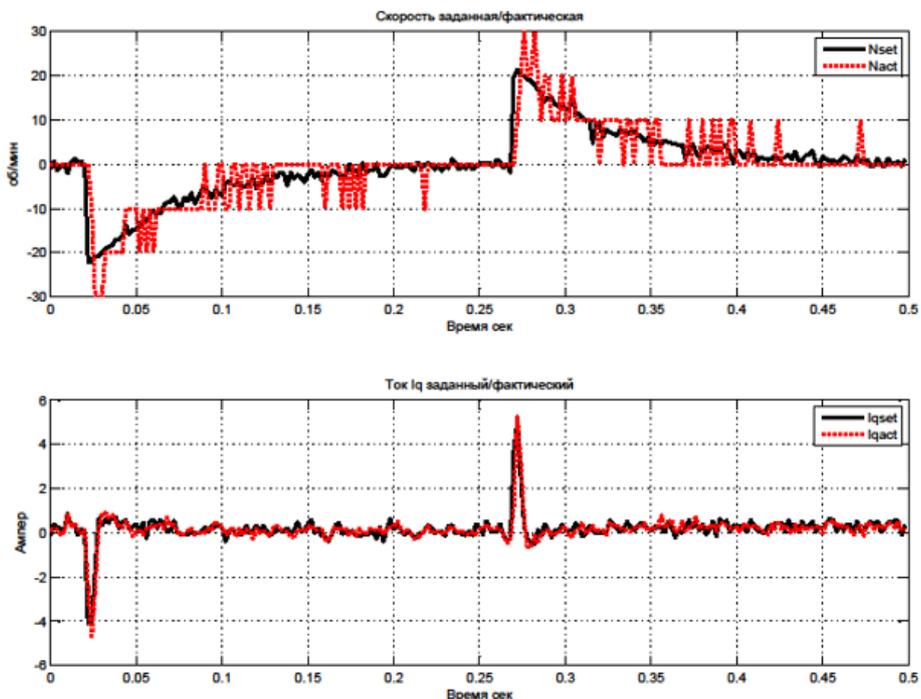


Рис. 3.41. Ступенчатый наброс заданного положения на входе регулятора положения при $k_v = 16.666 \text{ s}^{-1}$

На рис. 3.42 показан ступенчатый наброс заданного положения на входе регулятора положения при $k_v = 54.44 \text{ s}^{-1}$.

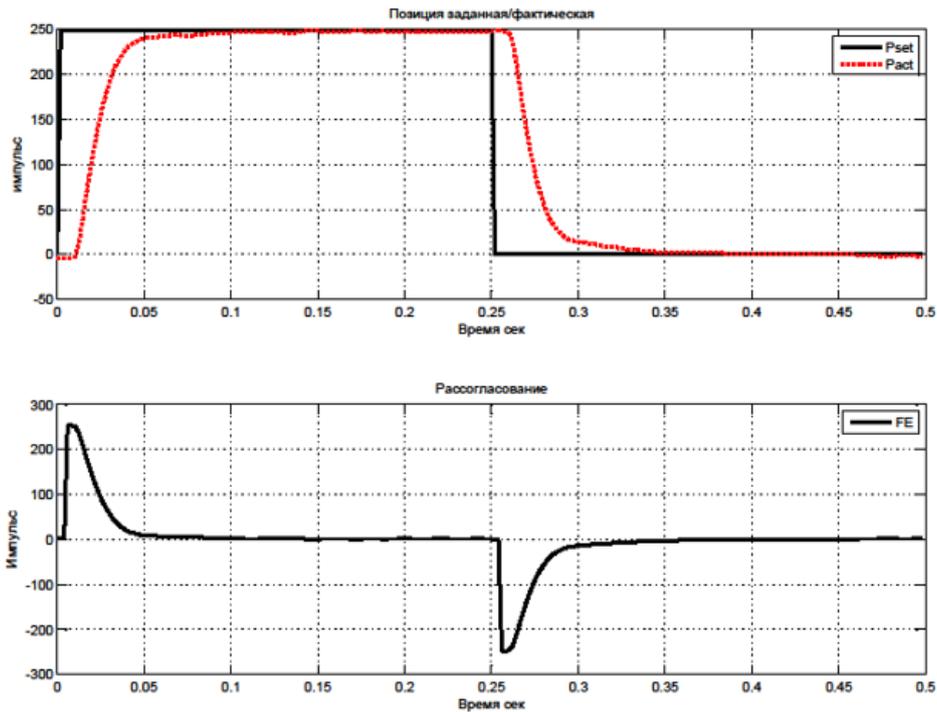


Рис. 3.42. Ступенчатый наброс заданного положения на входе регулятора положения при $k_v = 54.44 \text{ s}^{-1}$

На рис. 3.43 изображен ступенчатый наброс заданного положения на входе регулятора положения при $k_v = 54.44 \text{ s}^{-1}$.

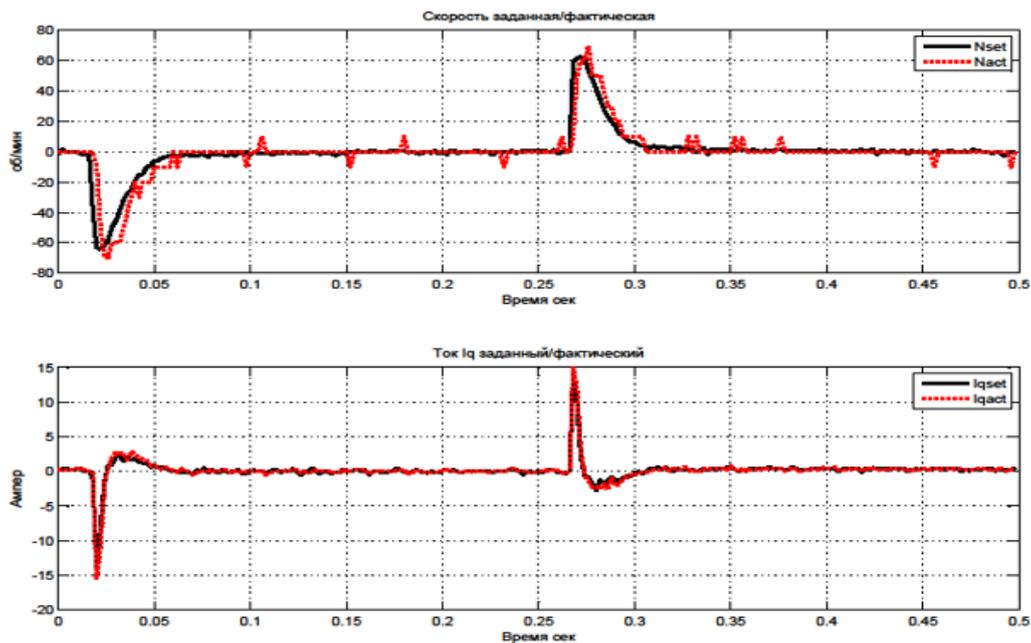


Рис. 3.43. Ступенчатый наброс заданного положения на входе регулятора положения при $k_v = 54.44 \text{ s}^{-1}$

На рис. 3.44 представлен ступенчатый наброс заданного положения на входе регулятора положения при $k_v = 66.66 \text{ s}^{-1}$.

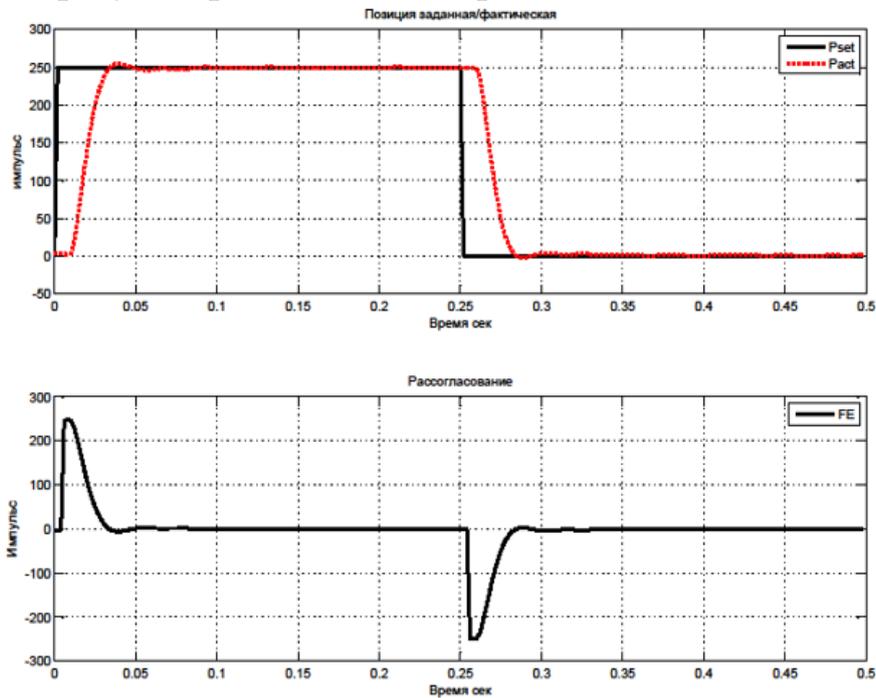


Рис. 3.44. Ступенчатый наброс заданного положения на входе регулятора положения при $k_v = 66.66 \text{ s}^{-1}$

На рис. 3.45. показан ступенчатый наброс заданного положения на входе регулятора положения при $k_v = 66.666 \text{ s}^{-1}$.

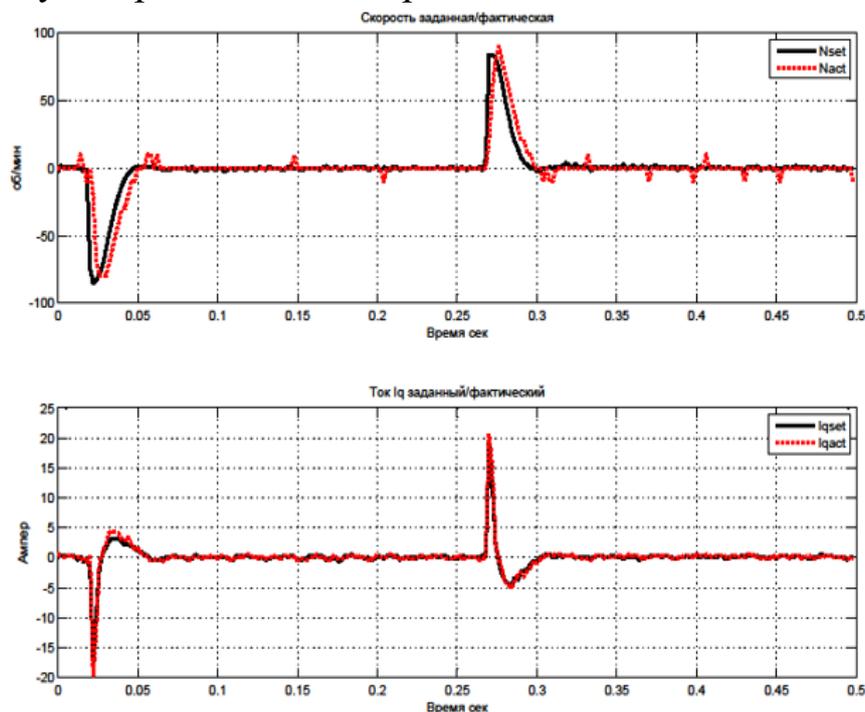


Рис. 3.45. Ступенчатый наброс заданного положения на входе регулятора положения при $k_v = 66.666 \text{ s}^{-1}$

Определение максимального ускорения при настройке S-образной характеристики

Активизируем инструкцию ACC=1,05 в секции 1 файла AXCFIL.

Устанавливаем параметры:

- K_v – K_v – фактор;
- K_{fw} - коэффициент предупреждения;
- A – ускорение на рабочей подаче (по умолчанию).

$$k_v = 50.0 \text{ s}^{-1} \quad k_{fn} = 1 \quad A = 1000 \text{ mm} * \text{s}^{-2}$$

Контролируемые данные:

- заданное значение входе регулятора положения, имп;
- актуальное значение положения, имп;
- рассогласование, имп;
- актуальное значение тока I_{qact} , А.

Заданное воздействие:

- наброс заданного положения по S-образной характеристике, имп;
- величина заданного положения – достаточная для достижения заданной скорости;
- заданная скорость – максимальная скорость подачи (может быть меньше скорости ускоренного хода).

Время измерения:

- 1-3 сек

Результат настройки:

- увеличивая ускорение, добиться достижения актуального значения тока I_{qact} максимального значения (ограничения), равного полученному в шаге 4 п.2.3.2 ($I_{q_lim_cont}$).

Ниже приведены графики при: $A = 1000 \text{ mm} * \text{s}^{-2}$ $A = 4400 \text{ mm} * \text{s}^{-2}$. Таким образом, максимальное ускорение равно $A = 4400 \text{ mm} * \text{s}^{-2}$

На рис.3.46. представлен наброс заданного положения по S-образной характеристике при $A = 144 \text{ 11} * \text{s}^{-2}$.

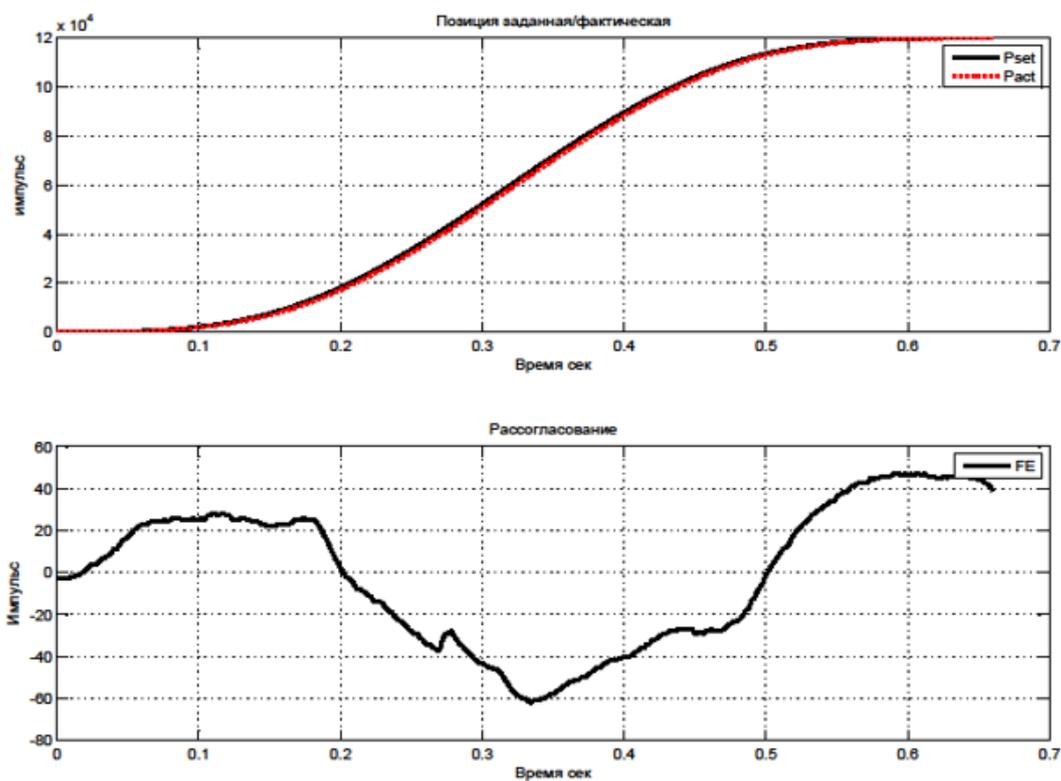


Рис. 3.46. Набор заданного положения по S-образной характеристике при $A = 144\ 11 * s^{-2}$

На рис. 3.47. изображен набор заданного положения по S-образной характеристике при $A = 444\ 11 * s^{-2}$.

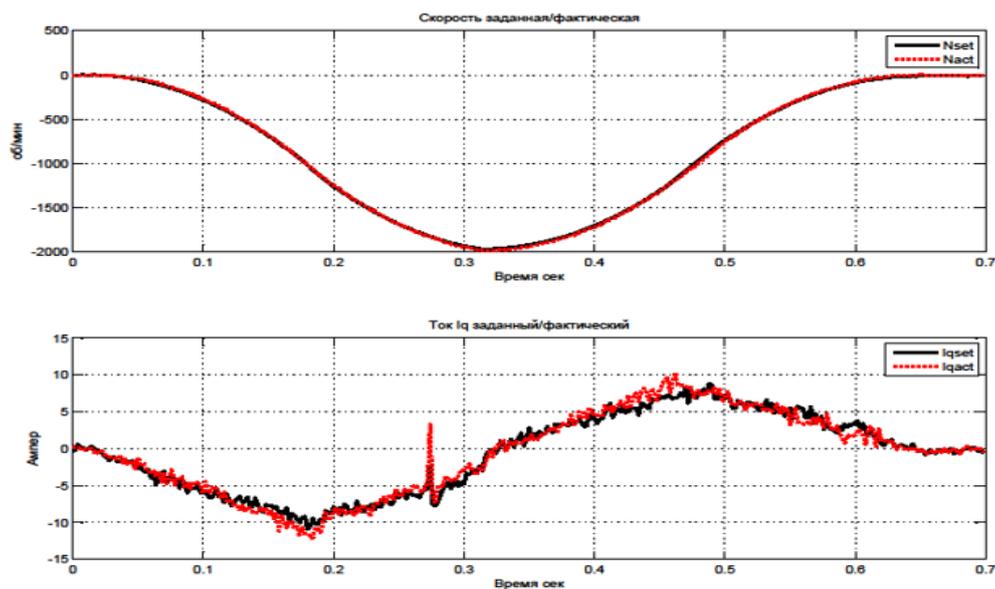


Рис. 3.47. Набор заданного положения по S-образной характеристике при $A = 444\ 11 * s^{-2}$

На рис.3.48. показан наброс заданного положения по S-образной характеристике при $A = 444\ 11 * s^{-2}$.

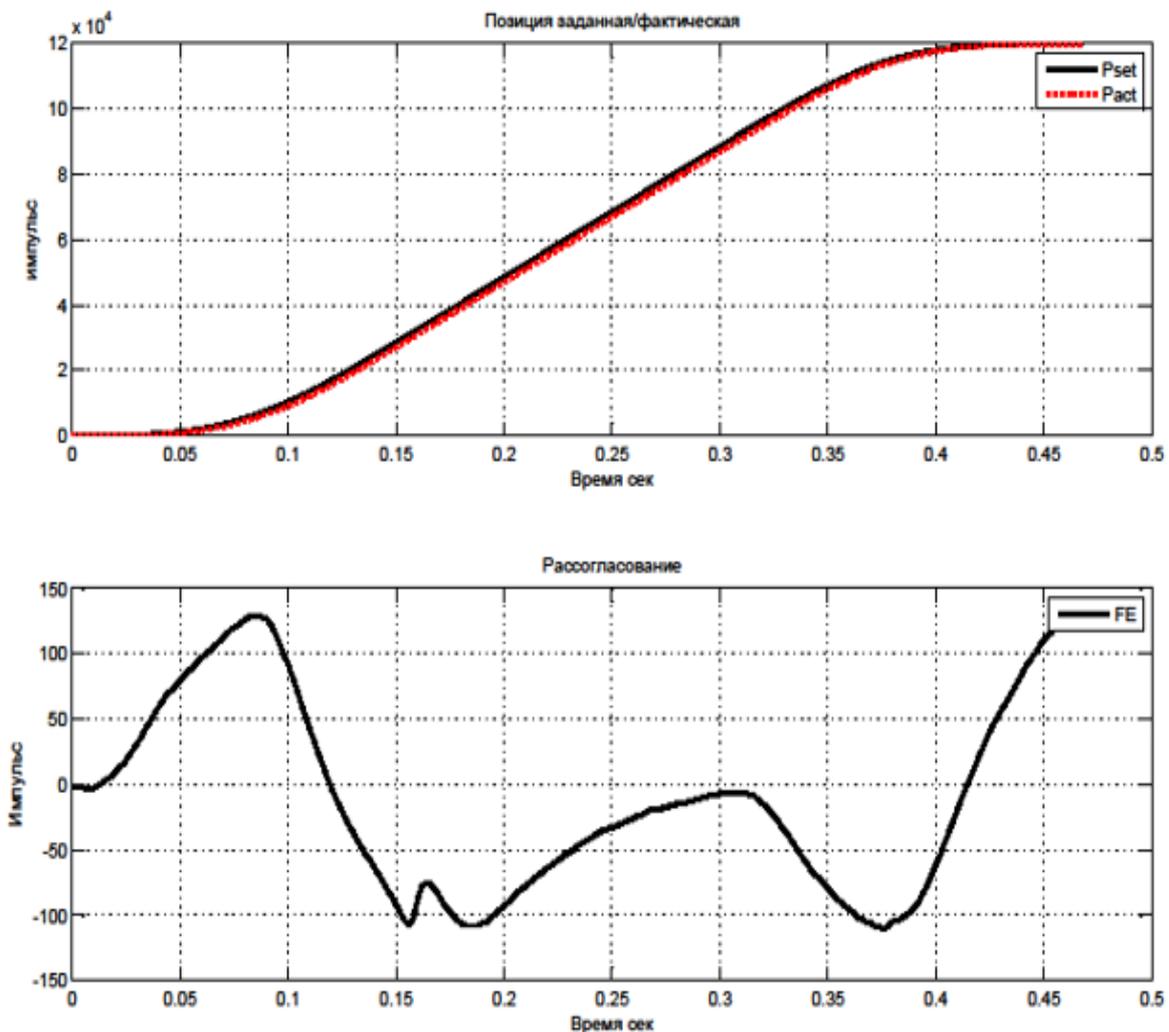


Рис. 3.48. Наброс заданного положения по S-образной характеристике при $A = 444\ 11 * s^{-2}$

3.5. Наладка мехатронной системы металлорежущих станков

Наладка современных металлорежущих станков с ЧПУ как мехатронной системы является одним из ответственных этапов их эксплуатации. Правильная наладка способствует повышению производительности труда, качества продукции и сохранению долговечности оборудования. Наладка станка с ЧПУ включает в себя подготовку режущего инструмента и технологической оснастки, размещение рабочих органов станка в исходном положении, пробную обработку первой

детали, внесение корректив в положение инструмента и режим обработки, исправление погрешностей и недочетов в управляющей программе. Важным этапом наладки является базирование и закрепление заготовок. При определении схемы базирования крайне важно знать конструктивные особенности настраиваемого оборудования в частности элементов, обеспечивающих базирование приспособления или заготовки. Для токарных станков с ЧПУ выбор схемы базирования сводится к выбору используемого приспособления для закрепления заготовок (различные зажимные патроны), а также к выбору наладочных элементов выбранного приспособления (к примеру, обычные или сырые кулачки). Важно заметить, что для станков сверлильно-фрезерно-расточной группы возможны различные схемы базирования:

- непосредственно на столе станка с ЧПУ;
- в приспособлении, которое установлено на столе станка;
- в приспособлении, установленном на координатной плите;
- непосредственно на координатной плите.

Непосредственно на столе станка устанавливают заготовку, имеющую большие размеры, хорошую опорную поверхность и удобные поверхности для закрепления. Вместе с тем, объём выпуска должен быть сравнительно небольшим, а трудоемкость обработки сравнительно высокой (к примеру, обработка малых партий корпусных деталей на фрезерных и многоцелевых станках при высокой концентрации операций). При этом процент времени, затрачиваемого на установку будет незначительным. В случае если деталь имеет небольшие размеры, отсутствуют удобные поверхности для закрепления, повышается объём выпуска, сокращается концентрация операций и как следствие возникает крайняя важность сокращения времени на переустановку заготовок, то целесообразно применять приспособления. При этом приспособление должно быть установлено на столе станка или на координатной плите. Координатная плита позволяет повысить точность установки приспособления и его быстроту. Существует несколько вариантов расположения приспособлений на станках с ЧПУ.

- Приспособление может занять единственно возможное положение. В этом случае не требуется его выверять. Пример – крепление токарного патрона к шпинделю станка, установка вращающегося центра в пиноль задней бабки.

- Произвольное расположение приспособления вдоль осей координат, допускаемое управляющей программой. Характерно для фрезерных, сверлильных и расточных станков в том случае если обработка ведется с одной стороны. Приспособление должно быть выверено в угловом направлении относительно линейных координат.

- Приспособление должно занять относительно рабочих органов единственно допустимое управляющей программой положение. Примером является наладка станка на обработку детали с нескольких сторон при повороте стола станка. Приспособление должно быть выверено в угловом направлении относительно линейных координат, а также в линейном направлении по отношению к оси поворота.

Для правильной установки приспособления имеют соответствующие базовые элементы (шпонки, пальцы), которые соответствуют базовым элементам стола станка (пазы, центральное отверстие). Совмещая указанные базовые элементы добиваются правильного размещения приспособления в координатах станка. В случае если такие элементы отсутствуют или требуется более точная установка приспособления применяют мерные оправки. При этом мерная оправка закрепляется в шпинделе станка, перемещая стол в нужном направлении добиваются касания оправки базовых элементов приспособления, в случае если это крайне важно используют набор мерных плиток. Важно заметить, что для совмещения оси шпинделя и центра детали применяют оптический или индикаторный центроискатели.

Наладка режущего инструмента на размер

В современном производстве возможно определение положения вершины резца при помощи специальных приборов. Такие приборы имеют подставку, имитирующую присоединительные поверхности станка, подвижную каретку, измерительное устройство (микроскоп, проектор, индикатор). Установив режущий инструмент на подставке, при помощи каретки перемещают его до нужного положения, отслеживая все перемещения на измерительном устройстве. Полученную информацию заносят в автоматическом или ручном режиме в УЧПУ станка. Такие устройства позволяют, кроме того, проверить правильность и точность исполнения режущей части. Сегодня существуют системы, позволяющие автоматически распознавать инструмент. Для этого используются модульные инструментальные блоки, которые

оснащают носителем информации виде электронного чипа. В память инструмента заносят код инструмента, а также различную технологическую информацию, кроме того такой чип может использоваться для записи статистической информации и ходе технологического процесса, что обеспечивает обратную связь между технологической службой и непосредственным исполнением техпроцесса. Система имеет специальные устройства, позволяющие считать эту информацию, передать ее в ЭВМ склада, УЧПУ, технологам. Современные устройства ЧПУ позволяют автоматически осуществлять "привязку" инструмента к координатной системе станка. Для этого система должна иметь специальный цикл, а также устройство, позволяющее отследить местоположение режущей кромки инструмента. Оператору достаточно установить инструмент и задать соответствующую команду с пульта оператора. В случае отсутствия указанных систем "привязка" инструмента осуществляется оператором методом пробных проточек. Для этого оператору крайне важно в ручном режиме осуществить проточку заготовки на небольшую длину, отвести инструмент, от заготовки не перемещая его по фиксируемой координате. Произвести замер, включить режим привязки инструмента, записать измеренную информацию в УЧПУ. Такую процедуру крайне важно провести по всем координатам.

Режимы работы станков с ЧПУ. Станки с ЧПУ могут работать в нескольких режимах: автоматический, полуавтоматический, ручной ввод, ручной, режим привязки инструмента. В автоматическом режиме осуществляется отработка управляющей программы безостановочно до одной из вспомогательных команд. В полуавтоматическом режиме осуществляется покадровая отработка управляющей программы. После чего выполнение программы приостанавливается до нажатия клавиши "Пуск". В режиме ручного ввода оператор имеет возможность откорректировать управляющую программу или создать новую, а также ввести константы (параметры) станка. В ручном режиме оператор имеет возможность перемещать рабочие органы, задавать технологические команды (пуск-останов шпинделя, включение охлаждения, смена инструмента, установка рабочего подачи), выполнять простейшие переходы (проточить диаметр, подрезать торец). В режиме привязки инструмента вводится информация о фактическом положении

режущего инструмента в системе координат станка, а также вводится коррекция на износ инструмента.

Органы управления. Для работы оператора в ручном режиме предусмотрены следующие органы управления: кнопки включения и отключения шпинделя, зажима-отжима инструмента и шпинделя, смены инструмента, клавиши или манипулятор типа джойстик управления перемещениями рабочих органов вдоль координатных осей на рабочей подаче или ускоренном ходу, штурвал для дискретных перемещений рабочих органов, кнопка возврата рабочих органов в "Нуль" станка. Почти на всех станках с ЧПУ имеются корректоры рабочей подачи, а на станках с регулируемым приводом и частоты вращения шпинделя в пределах от 0-120%.

Органы сигнализации. Органы сигнализации можно разделить на три группы: оперативные сигнальные группы, оперативные сигнальные лампы, диагностические сигнальные лампы, устройство цифровой индикации.

Оперативные лампы сигнализируют о готовности к выполнению цикла соответствующими агрегатами: включение станка в сеть, включение выбранного режима и др. В качестве диагностических лам, т.е. свидетельствующих о неисправности или некорректной работе обычно используются те же. Современные УЧПУ немислимы без дисплея, на который выводится полная информация о местоположении рабочих органов, и протекании технологического процесса. Также на экран монитора может выводиться управляющая программа.

Управление точностью. Одним из неперемных условий, обеспечивающих получение требуемой точности детали при обработке на станках, работающих в автоматическом цикле, является соответствие фактических размеров, размерам, заданным в управляющей программе. Выполнение этого условия зависит от сохранения положения режущих кромок инструмента и баз станка относительно начала отсчета. Для этого крайне важно компенсировать погрешности статической наладки, развивающиеся в результате изнашивания режущего инструмента и температурных деформаций системы СПИД, а также в результате замены инструмента. Для решения этой задачи используются автоматические системы, обеспечивающие коррекцию точности статической наладки в сходном положении. Коррекция точности статической наладки в исходном положении необходима при переналадке

станка непосредственно перед обработкой первой детали очередной партии. Именно на этом этапе погрешность составляет наибольшее значение. Автоматическую коррекцию наладки можно выполнять также непосредственно в процессе обработки партии деталей, после одного или нескольких циклов обработки. Такая коррекция позволяет уменьшить влияние систематически действующих факторов. Современные станки с ЧПУ имеют специальную систему управления точностью.

Рассмотрим систему автоматической коррекции для токарного станка с ЧПУ. Это устройство фиксирует отклонения вершины режущей кромки инструмента вследствие изнашивания, температурных деформаций или замены пластины. Отклонение положения вершины резца измеряется в двух перпендикулярных направлениях, соответствующих образованию линейных и радиальных размеров детали. Процесс измерения осуществляется по определенной программе системы ЧПУ. По команде системы ЧПУ револьверная головка выводится в определенное положение, при котором резец устанавливается в измерительной позиции. Далее происходит установочное перемещение револьверной головки до касания режущей кромкой измерительного наконечника датчика. Далее револьверная головка возвращается, в измерительную позицию, после чего установочное перемещение осуществляется для другой координаты. На основании результатов измерения производится автоматическая коррекция в блоке ЧПУ, позволяющая компенсировать изменение положения режущей кромки инструмента. Такую коррекцию целесообразно производить непосредственно перед чистовым проходом. Проверка и оценка новой управляющей программы. Весьма ответственным этапом работы является отладка новой УП. Этот этап наладки осуществляет чаще всего наладчик или наладчик совместно с технологом программистом. В ходе отладки УП проверяют ее оптимальность по параметрам производительности, качества обработки, отсутствия вибраций, стойкости инструмента, приемлемого схода стружки. По результатам обработки пробной детали УП редактируют. Наиболее высокий результат редактирования УП должна быть достигнут только с использованием теоретических знаний в области металлообработки, а также творческого подхода.

Работа наладчика станка начинается чаще всего с устранения ошибок, не позволяющих начать процесс обработки. Такие ошибки обычно сведены к минимуму при применении современных способов составления УП, который состоит в использовании средств автоматизированного проектирования САД и САМ. Чаще всего встречаются следующие ошибки первоначальной редакции:

- ноль программы выбран за пределами рабочей зоны;
- использованы технологические команды невыполняемые станком;
- инструменты при холостых перемещениях и сменах задевают за элементы станка, крепежную оснастку или обрабатываемую деталь.

Наибольшее внимание требует проверка вероятности наличия в программе третьего вида ошибок, которые могут привести к возникновению аварийной ситуации, поломке дорогостоящего инструмента. Новую программу целесообразно отрабатывать в полуавтоматическом режиме, проверяя каждый кадр программ перед его отработкой. Ситуация, связанная с нежелательными столкновениями инструмента с элементами станка могут возникнуть также при неправильном вводе информации о коррекции инструмента. По этой причине при пробной отработке УП следует также перед началом работы нового инструмента проверять правильность его "привязки". При первой отработке УП целесообразно снижать скорость перемещения рабочих органов, пользуясь регулятором подачи. При незапланированном контакте инструмента с заготовкой или другими элементами крайне важно остановить подачу при помощи соответствующего переключателя. При встрече препятствия инструментами во время его смены следует воспользоваться кнопкой аварийного отключения. В целях экономии материала, в случае больших деталей, отработку УП осуществляют с использованием более дешевого и легкообрабатываемого материала.

Для оценки оптимальности УП руководствуются принципами построения технологических процессов на станках с ЧПУ. Основная характерная черта – интеграция обработки, т.е. последовательное выполнение большого числа переходов, выполняемых различными инструментами. При этом характерен последовательный переход от черновой обработки к чистовой. Следующий этап проверки оптимальности УП – оценка правильного выбора режимов резания. При черновой обработке крайне важно достичь максимальной производительности, при этом

критерием выбора режима резания является экономическая стойкость инструмента. При чистовой обработке определяющую роль играют требования точности и шероховатости обработанной поверхности.

В процессе отладки программы крайне важно проверить соответствие заложенных режимов резания возможностям инструмента и станка, надежности закрепления заготовки. Особое внимание следует уделить возникновению вибраций, т.к. вибрации способствуют разрушению инструмента и повышенному износу узлов станка. Погасить вибрацию можно путем изменения скорости резания, подачи или глубины резания. Наиболее часто вибрации возникают при срезании тонких стружек, в связи с этим самый простой прием гашения вибрации – увеличение подачи на оборот. Возникновению вибраций способствует также очень острая кромка, при ее затуплении вибрации могут прекратиться самопроизвольно. Надежно гасит вибрации фаска на режущей кромке, притупляющая лезвие инструмента. Фаску выполняют на передней поверхности режущей части инструмента под углом -15° . Фаску можно выполнить при помощи алмазного бруска не снимая инструмент со станка.

При токарной обработке и сверлении существенным показателем правильно выбранных режимов резания является характер схода стружки. Сливная стружка представляет угрозу для инструмента т.к. не удаляется самостоятельно из зоны резания. Наилучшей по всем показателям является дробленая стружка. Решить проблему дробления стружки можно тремя способами:

- изменением движения рабочих органов;
- приданием передней поверхности инструмента соответствующей формы;
- режимами резания.

Изменение движения рабочих органов приводит к усложнению УП, а также к увеличению времени обработки. Наиболее перспективным является применение специальной заточки инструмента или применение инструмента с СМП с заложенными функциями стружкодробления. Также дробления стружки можно достигнуть увеличивая подачу и (или) снижая скорость резания. В ряде случаев, к примеру, при программировании сложного контура детали целесообразно выполнить прорисовку движения режущего инструмента при помощи программных средств.

При наладке станка с ЧПУ выбирают материал для пробной обработки и определяют режимы резания в следующей последовательности:

1. Устанавливают глубину резания (t) с учётом припуска и точности обработки.

2. Выбирают режущий инструмент, устанавливают его тип, размер, материал и геометрию заточки в зависимости от:

- вида обрабатываемых поверхностей;
- характера обработки;
- материала режущей части инструмента.

3. Выбирают рекомендуемую подачу (по справочнику) с учётом метода обработки, глубины резания, мощности станка, материала заготовки и режущей части инструмента, прочности инструмента, точности и шероховатости обрабатываемой поверхности. Рекомендуемую подачу необходимо уточнить по паспорту станка.

4. Выбирают период стойкости режущего инструмента в зависимости от типа и размера инструмента, характеристики заготовки и условий работы.

5. Рассчитывают по формулам скорость резания, как функциональную зависимость от ряда факторов:

$$V = F(C_v, T, t, S, D, B, Z, K_v), \quad (3.3)$$

где C_v – коэффициент на скорость резания, учитывающий материал заготовки и режущей части инструмента; T – период стойкости инструмента, t – глубина резания; S – подача; D – диаметр инструмента; B – ширина фрезерования; Z – число зубьев фрезы; K_v – поправочный коэффициент на скорость.

При другом методе скорость резания выбирают по таблицам:

6. Определяют частоту вращения либо заготовки, либо инструмента и сравнивают с имеющейся на станке:

$$n = 1000V/\pi d. \quad (3.4)$$

3. Определив расчётную частоту вращения, принимают действительную частоту вращения по паспорту станка, ближайшее к расчётному:

$$n_{ст} \approx n. \quad (3.5)$$

4. Рассчитывают фактическую скорость резания, соответствующую частоте вращения шпинделя станка:

$$V_{\phi} = \pi d n_{\text{ст}}/1000. (3.6)$$

5. Определяют составляющие силы резания, как функциональную зависимость от ряда факторов:

$$P_{\text{zyx}} = F(C_p, t, S, V, K_p). (3.7)$$

6. Определяют крутящий момент, как функциональную зависимость от ряда факторов:

$$M_{\text{кр}} = F(C_M, t, S, V, K_M). (3.8)$$

7. Определяют мощность процесса резания (в киловаттах):

$$N = P_z \cdot V/1020 \cdot 60. (3.9)$$

8. Сравнивают рассчитанную мощность процесса резания с мощностью станка. Если мощность станка меньше (недостаточна), то либо изменяют режимы резания, либо выбирают станок большей мощности.

3.6. Наладка мехатронной системы лазерного технологического комплекса

Особенности наладки лазерного технологического комплекса рассмотрим на примере автоматизированного комплекса лазерного термоупрочнения ЛК-5В, вид которого представлен на рис.1.11, а технические характеристики на листе 23. Комплекс предназначен для локального лазерного упрочнения путем перемещения пятна лазерного излучения относительно обрабатываемой детали. Значительные величины перемещений лазерного пятна позволяют производить поверхностное упрочнение быстроизнашивающихся поверхностей крупногабаритных дорогостоящих деталей.

Рабочий стол комплекса грузоподъемностью до 2000 кг обеспечивает свободную установку и базирование спутников-паллет, а комплект системы ЧПУ Sinumerik 840Di позволяет производить управление пятью осями на станке. Конструкция рабочего стола обеспечивает свободную установку и четкое базирование спутников-паллет, приспособлений и устройств с обрабатываемыми деталями, исключая случайное смещение деталей по координатам X, Y и Z и от горизонтального положения.

Конструкция крепления и юстировки зеркал (СТФИ) исключает возможность произвольной разъюстировки. Конструкция технологического поста, его систем, узлов и элементов обеспечивает эксплуатационную надежность с наработкой на отказ не менее 600 часов машинного времени.

Пульт управления технологическим постом является центральным пультом управления лазерным комплексом. САУ принимает и реагирует на следующие сигналы от системы управления лазером:

- числовое значение мощности излучения;
- числовое значение тока вкладки;
- превышение предельной температуры теплонагруженных узлов лазера (превышение – нет превышения).
- готовность лазера (готов – не готов);
- состояние холодильной машины (включена – не включена);
- состояние включенности накачки лазера (включен – выключен);
- аварийное состояние.

САУ обеспечивает вывод на внешний разъем следующих сигналов для СУ лазером:

- требуемое (задаваемое) числовое значение мощности;
- включение (отключение) излучения (накачки) лазера и автоматический переход в рабочий режим с малой выходной мощностью;
- переключение режима установленной мощности и минимальной мощности;
- включение (отключение) холодильной машины.

Работа устройства может осуществляться как в автоматическом, так и в ручном режиме.

Ручной режим предполагает управление системой транспортировки и фокусировки излучения (СТФИ) во всех плоскостях и управление устройствами манипулирования деталями (при необходимости), а также установку параметров лазера оператором непосредственно с пульта управления технологического поста.

Автоматический режим предполагает управление манипулятором луча (СТФИ) и устройствами манипулирования деталями (при необходимости), а также параметрами лазера программным путем.

Исходными данными для работы в автоматическом режиме являются заданная траектория обработки и параметры режима технологического процесса обработки (мощность, скорость обработки, точки включения и отключения излучения и т.д.)

Процесс обработки поверхности в автоматическом режиме (фактическая траектория движения пятна излучения) должен наглядно

отображаться на устройстве вывода информации (дисплее). Комплекс выполнен на современной элементной базе, что позволяет достичь высокой точности, высоких динамических показателей, и обеспечивает надежность и долговечность работы. Скорости быстрых перемещений 30 м/мин и ускорения 5 м/с² обеспечивают обработку с минимальным машинно-вспомогательным временем.

Сложность процесса лазерной термообработки и его недостаточная изученность в настоящее время не позволяют создать достаточно точные математические модели технологического процесса, которые учитывали бы все многообразие условий обработки. Поэтому при выборе режимов обработки очень часто руководствуются либо экспериментальными данными, либо используют приближенные закономерности, имеющие простую форму.

Максимальная глубина закаленного слоя – Z получается в том случае, если температура на поверхности обрабатываемого металла достигает температуры плавления - T_{пл}.

Для каждого материала главным фактором, определяющим глубину закаленного слоя, является *время действия лазерного луча - t*.

Если известна требуемая глубина закаленного слоя (например, из условия допустимого износа детали в процессе эксплуатации или с учетом допустимого числа перешлифовок и т.д.), то требуемое время действия лазерного луча - t определяется по формуле:

$$t = \pi \cdot Z^2 \cdot [T_{пл} / (T_{пл} - T_{зак})]^2 / 4 \cdot a, \text{ (сек)}, \quad (3.10)$$

где *a* - коэффициент температуропроводности материала, см²/с; T_{зак} – температура нагрева материала детали под закалку, °С; T_{пл} - температура плавления материала детали, °С.

Необходимая *эффективная плотность мощности - Q_{эф}* теплового источника определяется из выражения:

$$Q_{эф} = \lambda \cdot Z (T_{пл} - T_{зак}) / A, \text{ (Вт/см}^2\text{)}, \quad (3.11)$$

где *λ* – коэффициент теплопроводности обрабатываемого материала, Вт/(см·°С); *A* – коэффициент поглощения энергии лазерного излучения материалом детали.

Для закалки на требуемую глубину *радиус лазерного луча - r* на детали можно определить по формуле:

$$r = [\gamma \cdot A \cdot P_0 \cdot Z / \pi \cdot \lambda \cdot (T_{пл} - T_{зак})]^{1/2}, \text{ (см)}, \quad (3.12)$$

где γ – коэффициент, учитывающий долю энергии, распространяющейся вглубь обрабатываемого материала по нормали от его поверхности; P_0 – мощность лазерного излучения, Вт. Для определения *необходимой скорости луча* используется зависимость:

$$V_{\text{зак}} = 2 r / t = [8a \cdot (T_{\text{пл}} - T_{\text{зак}})^{3/2} / \pi \cdot T_{\text{пл}}^2 \cdot Z^{3/2}] \cdot (\gamma \cdot A \cdot P_0 / \pi \cdot \lambda)^{1/2}, \text{ (см/сек)}. \quad (3.13)$$

Получаемые значения режимов термоупрочнения носят ориентировочный характер и требуют дополнительного уточнения в конкретных производственных условиях, на конкретных лазерных комплексах. В таблице 3.1 приведены сведения о теплофизических свойствах материалов, используемые при расчетах режимов лазерного термоупрочнения, а в таблице 3.2 – расчетные коэффициенты.

Таблица 3.1

Теплофизические свойства обрабатываемых материалов

Материал	Плотность материала - ρ (г/см ³)	$T_{\text{плав}}$ (°C)	Кэф. теплопроводности λ Дж/(см·с·°C)	Удельная теплоёмкость - C Дж/(г·°C)	Кэф. температуропроводности - a , (см ² /с)
Углеродистые стали	7,86	1530	0,38...0,42	0,75	0,075...0,09
Нержавеющие стали	7,8	1450	0,3	0,65	0,083
Латунь	8,85	1050	1,17	0,4	0,34

Таблица 3.2

Расчетные коэффициенты для различных металлов и сплавов.

Материал	Средняя температура - t , °C	Кэф. теплопроводности - λ , Дж/(см·с·°C)	Объёмная теплоемкость C_p Дж/(см ³ ·°C)	Кэф. температуропроводности - a , см ² /с
Углеродистые и низколегированные стали	500...600	0,38...0,42	4,9...5,2	0,075...0,09
Нержавеющие аустенитные стали	600	0,25...0,33	4,7...4,8	0,053...0,07
Медь	400	3,7...3,8	3,85...4,0	0,95...0,96
Латунь	350...400	1,17	3,45	0,34
Алюминий	300	2,7	2,7	1,0
Технический титан	700	0,17	2,8	0,06

В таблице 3.3 представлены типовые материалы, используемые для назначения теплопоглощающих покрытий.

Таблица 3.3

Свойства водорастворимых полимерных покрытий.

<i>Марка покрытия</i>	<i>Основа</i>	<i>Цвет</i>	<i>Кэфф. поглощения- А</i>	<i>Упрочняемые материалы</i>
<i>МЦС- 510</i>	Силикат натрия и метилцеллюлоза	Белый	0,8	Железоуглеродистые сплавы
<i>СГ-504</i>	Силикат натрия	Темно-коричневый	0,9	Железоуглеродистые сплавы
<i>ФС-1М</i>	Алюмохромфосфат	Темно-зеленый	0,9	Алюминиевые сплавы

В таблице 3.4 представлены режимы термического упрочнения без оплавления некоторых сталей, полученные эмпирически на многоканальном CO₂ лазере.

Таблица 3.4

Режимы термического упрочнения

Сталь	Режим	Твердость, HRC	Глубина, мм
40X	P3500 V15 D15	60-62	1.1
50XH	P3500 V15 D15	55-58	1
38XH3MФА	P3000 V12,5 D15	54-56	1.5
ОХН3М	P3500 V12,5 D15	50-52	1.4
ШХ15	P3000 V20 D12	60-64	1.4
18ХГТ	P3500 V14 D12	40-44	1.3

Методика выбора режимов лазерного термического упрочнения, приведенная в предыдущем разделе, сводится к итерационному поиску необходимых параметров на базе алгебраических уравнений (3.10) - (3.13) с многократной проверкой на образце материала. В то же время, термоупрочнение – высоко динамичный процесс, скорость протекания которого и определяет получаемую структуру поверхностного слоя. Исходя из этого, при назначении режимов следует оценивать динамику процесса.

Закалка предполагает не только нагрев металла выше температуры фазового превращения $T_{\text{зак}}$, но и достаточно быстрое охлаждение. Для превращения аустенита в мартенсит скорость охлаждения должна быть больше критической скорости закалки, т. е. такой, при которой весь аустенит переохлаждается до температуры начала мартенситного превращения T_m . Степень закалки при различных законах изменения температуры металла от времени можно оценить из термокинетических диаграмм превращения аустенита. Из термокинетической диаграммы для данного металла можно найти исключающие распад аустенита значения времени охлаждения в диапазоне от температуры фазового перехода $T_{\text{зак}}$ до значений температуры T_i наиболее быстрого распада аустенита. Найденное таким образом время является максимальным временем воздействия лазерного теплового источника, при котором возможна полная самозакалка металла. Большую роль в процессах охлаждения играют форма и масса обрабатываемой детали. Известно, что кинетика превращений переохлажденного аустенита зависит от большого числа разнообразных факторов. Небольшие изменения состава металла, условий выплавки, разливки, раскисления, теплофизических констант, условий нагрева при закалке и т. п. существенно влияют на кинетику его превращения, поэтому диаграммы распада аустенита рассматриваются как ориентировочные. Указанные причины приводят к тому, что оценить используемые в приведенных расчетах значения времени охлаждения и соответственно необходимые для получения максимальной глубины закалки режимы можно только ориентировочно. Скорости нагрева и охлаждения металла определяются следующими уравнениями:

- скорость нагрева по времени и глубине z

$$v = \frac{\partial T(z, t)}{\partial t} = \frac{A_{\text{эф}} \cdot q_s}{\lambda_T} \cdot \left(\sqrt{\frac{\alpha}{t}} \cdot \text{ierfc} \left(\frac{z}{2\sqrt{\alpha t}} \right) + \frac{z}{2t} \cdot \text{ierfc} \left(\frac{z}{2\sqrt{\alpha t}} \right) \right). \quad (3.14)$$

- скорость нагрева на поверхности ($z=0$)

$$v = \frac{A_{ef} \cdot q_s}{\lambda_T} \sqrt{\frac{\alpha}{\pi \tau_i}} = \frac{q_s}{\sqrt{\lambda_T \cdot c \rho \cdot \pi \cdot t}} \quad (3.15)$$

- скорость охлаждения по времени

$$v = \frac{\partial T(0,t)}{\partial t} = \frac{A_{ef} \cdot q_s}{\sqrt{\lambda_T \cdot c \rho \cdot \pi}} \cdot \left(\frac{1}{\sqrt{t}} - \frac{1}{\sqrt{t - \tau_i}} \right) \quad (3.16)$$

Учитывая приближенный характер приведенных зависимостей, выбор параметров термоупрочнения целесообразно выполнять путем параллельных натурального и «машинного» экспериментов.

На рис.3.49 приведен алгоритм выполнения параллельных натурального и «машинного» экспериментов, который может использоваться при наладке комплекса. Для проведения экспериментов необходим датчик измерения температуры нагрева при воздействии лазерного луча на материал и программный продукт моделирования этого воздействия.

В качестве датчика температуры может быть использован оптический инфракрасный пирометр. Принцип действия инфракрасного пирометра основан на измерении абсолютного значения амплитуды электромагнитного излучения от объекта в инфракрасной части спектра и последующем преобразовании измеренного значения в температуру. Для выполнения поставленной задачи можно использовать пирометр фирмы Optris модель Optris СТ 1М/2М. ИК термометры Optris СТ 1М/2М - двухкомпонентные стационарные пирометры с электронным блоком, имеющим многофункциональный дисплей, кнопки для программирования и управления, предназначены для высокотемпературных измерений и применяются для измерений в спектральном диапазоне 1,0 мкм / 1,6. Миниатюрные размеры датчика (диаметр 14 мм, длина 28 мм) позволяют установку в труднодоступных местах. Работа при температуре окружающей среды до 125°C без охлаждения.

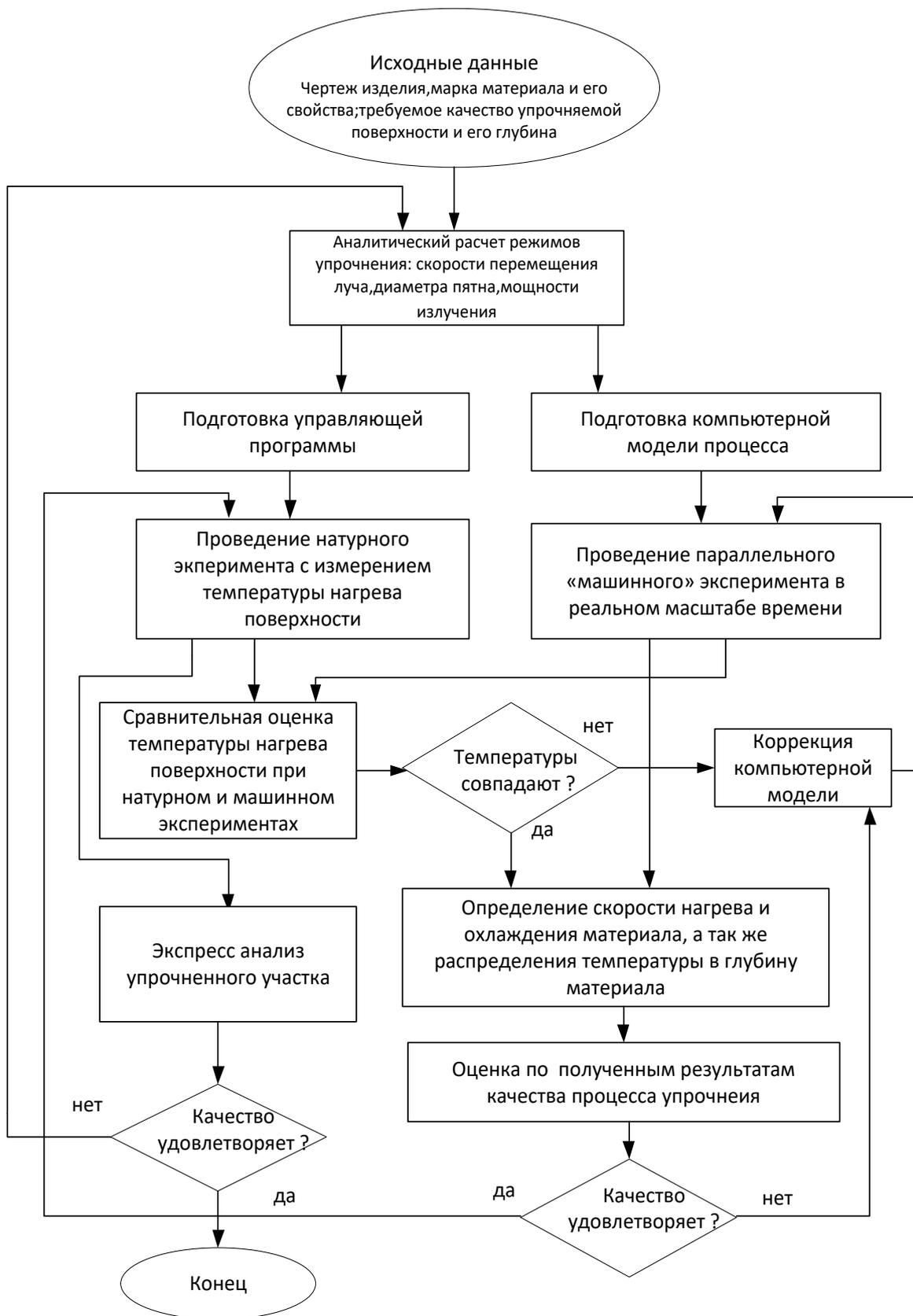


Рис. 3.49. Алгоритм выполнения параллельных натурального и «машинного» экспериментов

В соответствии с алгоритмом на рис. 3.49 и на основании исходных данных по выражениям (3.14) –(3.16) определяются приближенные режимы упрочнения. После этого разрабатываются управляющая программа для комплекса и программа компьютерного моделирования. При подготовке программы моделирования следует отобразить геометрические параметры и массу упрочняемого изделия, используя метод конечных элементов. Проводятся параллельные натурный и «машинный» (симуляция) эксперименты. На рис.3.50 представлена матрица температур нагрева поверхности стали 40Х.

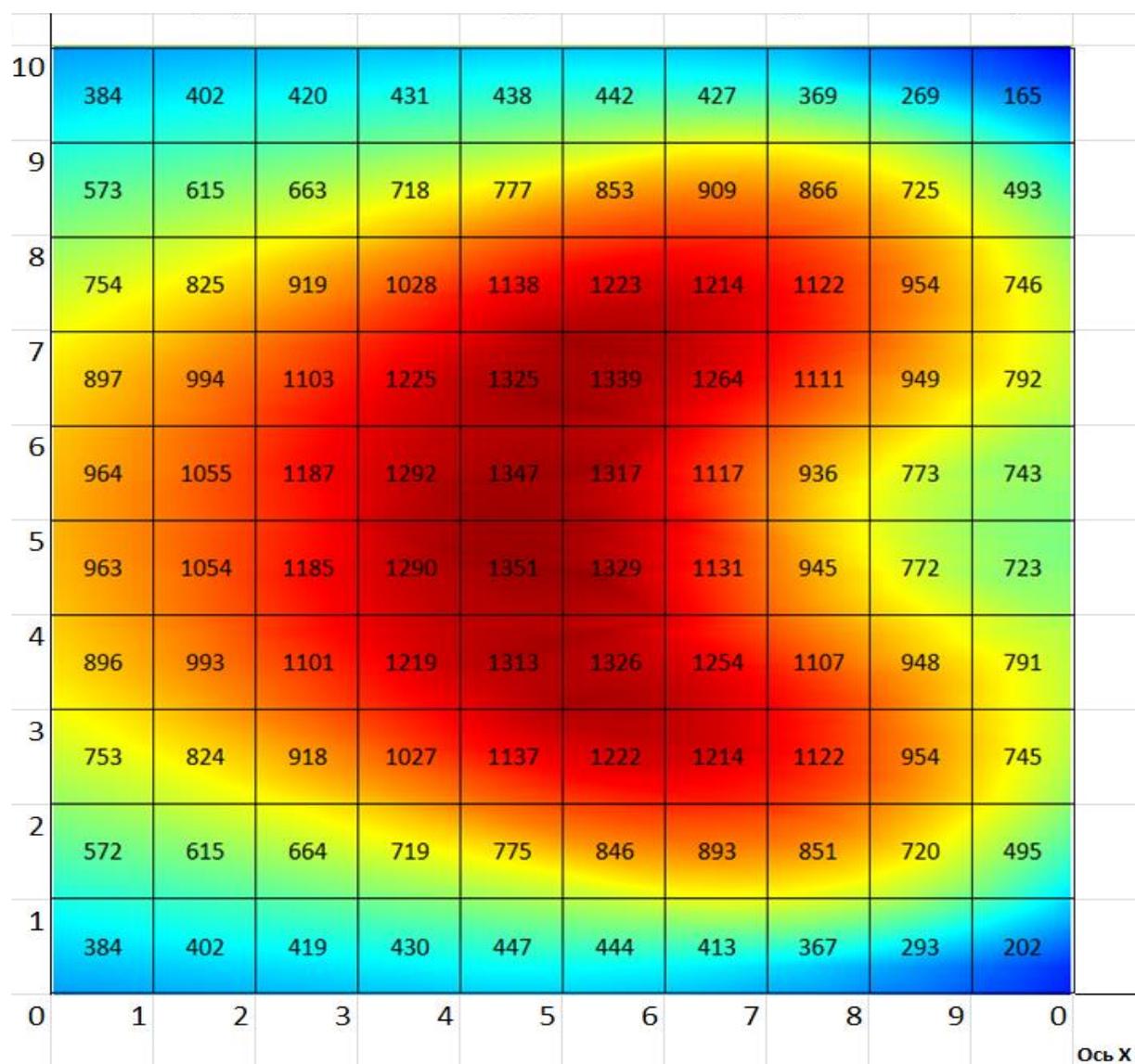


Рис. 3.50. Матрица температур модели нагрева поверхности изделия из стали 40Х

По модели оцениваются тепловые процессы в глубину материала. На рис.3.51 приведена свернутая 3х-мерная матрица температур нагрева указанного выше материала до глубины 4 мм в процессе движения пятна излучения. По этой матрице строятся графики изменения температуры во времени, вид которых до глубины 2мм представлен на рис. 3.52.

			Нагрев внутренней структуры во время движения лазера																													
Координаты секторов			Временные интервалы (в секундах)																													
Ось X	Ось Y		0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5	1,6	1,7	1,8	1,9	2,0	2,1	2,2	2,3	2,4	2,5	2,6	2,7	2,8	2,9	3,0
4	1	4	20	20	20	20	21	20	15	38	135	277	397	443	442	424	401	379	358	339	322	307	294	281	271	261	253	253	253	253	253	253
5	1	3	20	20	20	20	21	20	17	30	85	169	243	280	290	290	284	277	269	262	254	247	240	233	227	221	216	216	216	216	216	216
6	1	2	20	20	20	20	20	19	24	47	85	124	152	169	180	187	191	193	194	194	192	190	188	186	183	181	181	181	181	181	181	181
7	1	1	20	20	20	20	20	20	20	20	21	26	40	59	78	96	110	121	129	135	140	143	145	146	147	147	146	146	146	146	146	146
8	2	4	20	20	21	22	23	20	10	107	396	701	899	878	779	690	618	559	510	469	435	407	382	361	342	326	313	313	313	313	313	313
9	2	3	20	20	20	21	22	20	15	69	229	406	529	536	498	462	430	403	380	359	341	325	311	298	286	275	266	266	266	266	266	266
10	2	2	20	20	20	21	21	20	18	39	103	180	245	270	275	277	275	272	268	263	257	251	245	238	232	226	222	222	222	222	222	222
11	2	1	20	20	20	20	20	20	19	16	24	45	79	111	136	153	166	174	180	183	184	184	183	182	180	178	178	178	178	178	178	178
12	3	4	19	19	24	28	15	7	55	295	619	936	1178	1249	1126	963	832	733	655	592	541	499	464	433	407	384	366	366	366	366	366	366
13	3	3	19	19	22	25	18	5	38	171	356	543	694	755	708	634	572	524	484	450	422	397	375	356	339	323	311	311	311	311	311	311
14	3	2	20	20	21	22	19	14	26	78	155	242	321	370	378	370	359	349	338	327	315	305	294	284	274	265	258	258	258	258	258	258
15	3	1	20	20	20	20	20	18	14	17	32	59	95	136	170	193	207	216	220	222	222	220	217	214	210	207	207	207	207	207	207	207
16	4	4	18	20	29	26	5	6	152	440	709	930	1155	1320	1320	1171	996	863	764	687	623	570	526	489	456	428	407	407	407	407	407	407
17	4	3	19	20	25	23	5	6	91	252	409	546	688	801	824	762	680	614	563	521	484	453	425	401	379	360	345	345	345	345	345	345
18	4	2	19	20	22	22	14	14	45	110	180	250	327	397	434	435	421	405	390	376	361	346	332	319	307	295	286	286	286	286	286	286
19	4	1	20	20	20	20	21	19	14	12	22	43	72	107	149	190	220	238	247	252	252	250	247	243	238	233	228	228	228	228	228	228
20	5	4	19	18	26	34	2	10	167	502	693	749	984	1291	1369	1241	1072	935	827	739	667	609	560	519	483	452	429	429	429	429	429	429
21	5	3	19	19	23	28	10	10	100	287	403	451	597	786	854	806	729	663	607	559	518	483	452	425	401	380	363	363	363	363	363	363
22	5	2	20	19	21	23	16	11	49	124	181	220	296	392	448	459	449	435	419	402	385	368	353	338	324	311	301	301	301	301	301	301
23	5	1	20	20	20	20	21	20	14	12	27	55	81	110	153	198	232	253	264	268	269	266	262	257	251	245	240	240	240	240	240	240
24	6	4	19	18	26	34	2	10	168	524	709	758	969	1275	1364	1242	1073	935	827	739	668	609	560	519	483	452	429	429	429	429	429	429
25	6	3	19	19	23	28	10	10	100	299	412	455	589	778	851	807	730	663	607	559	518	483	452	425	402	380	364	364	364	364	364	364
26	6	2	20	19	21	23	16	11	49	128	184	221	293	390	448	459	450	436	419	402	385	369	353	338	324	311	301	301	301	301	301	301
27	6	1	20	20	20	20	21	20	14	11	26	55	82	111	153	198	232	253	264	269	269	266	262	257	251	245	240	240	240	240	240	240
28	7	4	18	20	29	26	5	19	150	433	706	928	1156	1333	1330	1173	997	863	765	688	624	571	527	489	457	429	407	407	407	407	407	407
29	7	3	19	20	25	23	5	6	90	249	407	545	689	808	829	763	680	614	563	521	485	453	426	401	380	360	346	346	346	346	346	346
30	7	2	19	20	22	22	14	14	45	108	179	250	327	399	435	435	421	406	391	376	361	346	332	319	307	295	286	286	286	286	286	286
31	7	1	20	20	20	20	21	19	15	12	22	43	72	107	149	190	220	238	248	252	252	251	247	243	238	233	229	229	229	229	229	229
32	8	4	19	19	24	28	16	4	54	297	631	925	1172	1245	1122	963	832	734	655	592	542	500	465	434	408	385	367	367	367	367	367	

Рис. 3.51. Свернутая 3х-мерная матрица температур нагрева в глубину материала

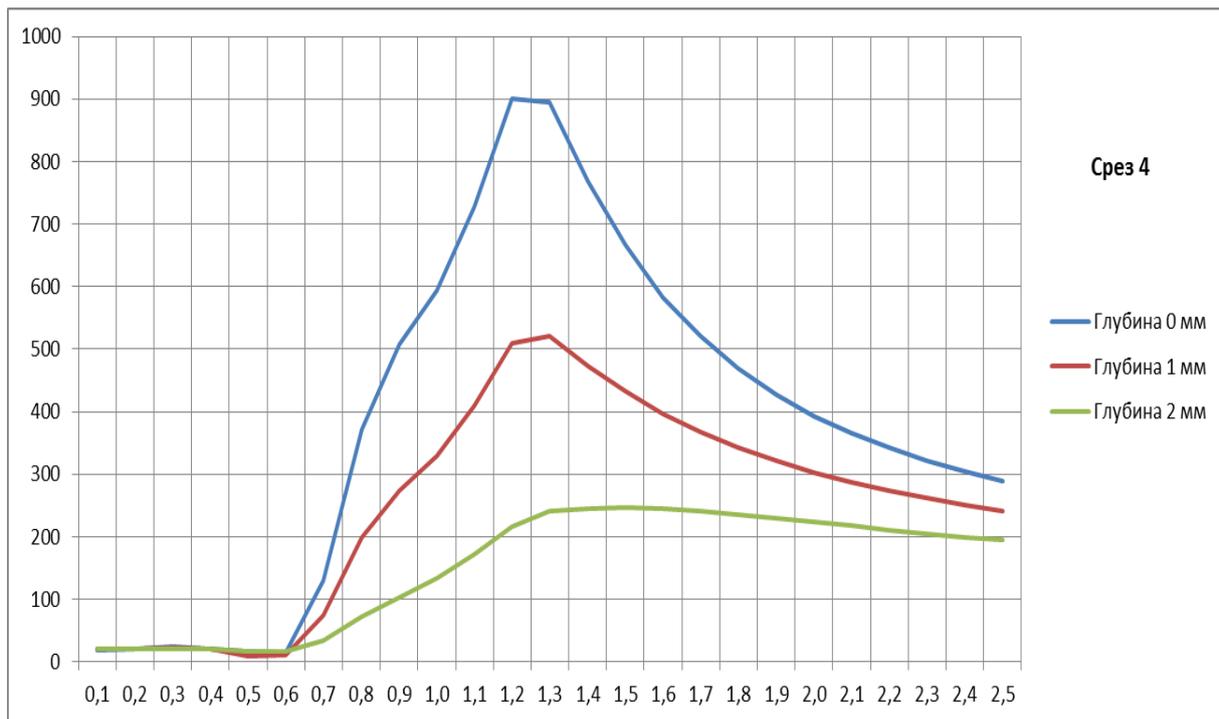


Рис. 3.52. Графики изменения температуры до глубины 2мм

По графикам рис.3.52 не сложно установить средние скорости нагрева и охлаждения материала в глубине и оценить его структурные преобразования. При получении неудовлетворительного результата корректируются режимы упрочнения (скорость движения луча и мощность излучения). Скорректированные параметры режимов вводятся в программу для ЧПУ и проводится натурный эксперимент.

Процесс подготовки программ обработки деталей на лазерном технологическом комплексе обычно включает следующие основные действия:

- оценка возможности проведения лазерной термической обработки на конкретной детали с учётом её формы и материалов, из которых она изготовлена;
- выбор режима лазерной термической обработки с учётом опыта, полученного при обработке изделий схожей формы и материала или опираясь на вновь проведённый эксперимент на отладочном изделии;
- измерение и описание геометрии обрабатываемой детали (при отсутствии её модели);
- разработка плана обработки детали на лазерном технологическом комплексе;

- разработка управляющей программы лазерного термоупрочнения для лазерного технологического комплекса;
- компиляция программы либо набор с пульта в систему управления.

Ручное программирование возможно использовать при обработке сравнительно простых по конфигурации деталей, когда трудоемкость подготовки программ вручную соизмерима с трудоемкостью подготовки исходных данных для расчетов на ЭВМ. Для автоматизированного программирования с использованием ЭВМ систему автоматизированной подготовки управляющих программ упрочнения изделий лазерный технологический комплекс необходимо оснастить датчиком-измерителем, способным предоставлять для ЭВМ данные, необходимые для составления геометрической матрицы поверхности объекта с требуемой точностью измерения, программой-процессором и программой-постпроцессором для преобразования геометрической матрицы поверхности объекта в его 3-D модель, а так же программный код, воспринимаемым УЧПУ лазерного технологического комплекса. В качестве измерителя предлагается использовать лазерный датчик-дальномер семейства бинокулярных триангуляционных лазерных датчиков серии ЛД2, которые способны работать в режиме 3-D сканера для построения геометрической матрицы поверхности детали.

Бинокулярные триангуляционные датчики серии ЛД2 поставляются с программным обеспечением для ЭВМ/ПК, которое способно не только строить геометрическую матрицу поверхности сканируемого объекта, но и преобразовывать её для последующей обработки постпроцессором в 3-D модель.

Предлагается процесс подготовки программы в режиме обучения выполнять с следующей последовательности:

1. Сканирование объекта.
2. Составление геометрической матрицы поверхности сканируемого объекта.
3. Построение 3-D модели детали на основе геометрической матрицы поверхности сканируемого объекта.
4. Выбор на 3-D модели поверхностей или участков поверхностей, подлежащих термоупрочнению с использованием ПК.
5. Генерация постпроцессором программного кода.

6. Сохранение созданной управляющей программы упрочнения обрабатываемой детали в памяти УЧПУ и/или ПК.

Задание режимов обработки (требуемой мощности и скорости движения).

Алгоритм работы лазерного технологического комплекса, оснащенного бинокулярным триангуляционным лазерным датчиком ЛД2 в режиме обучения по осям X и Y приведен на рис.3.53.

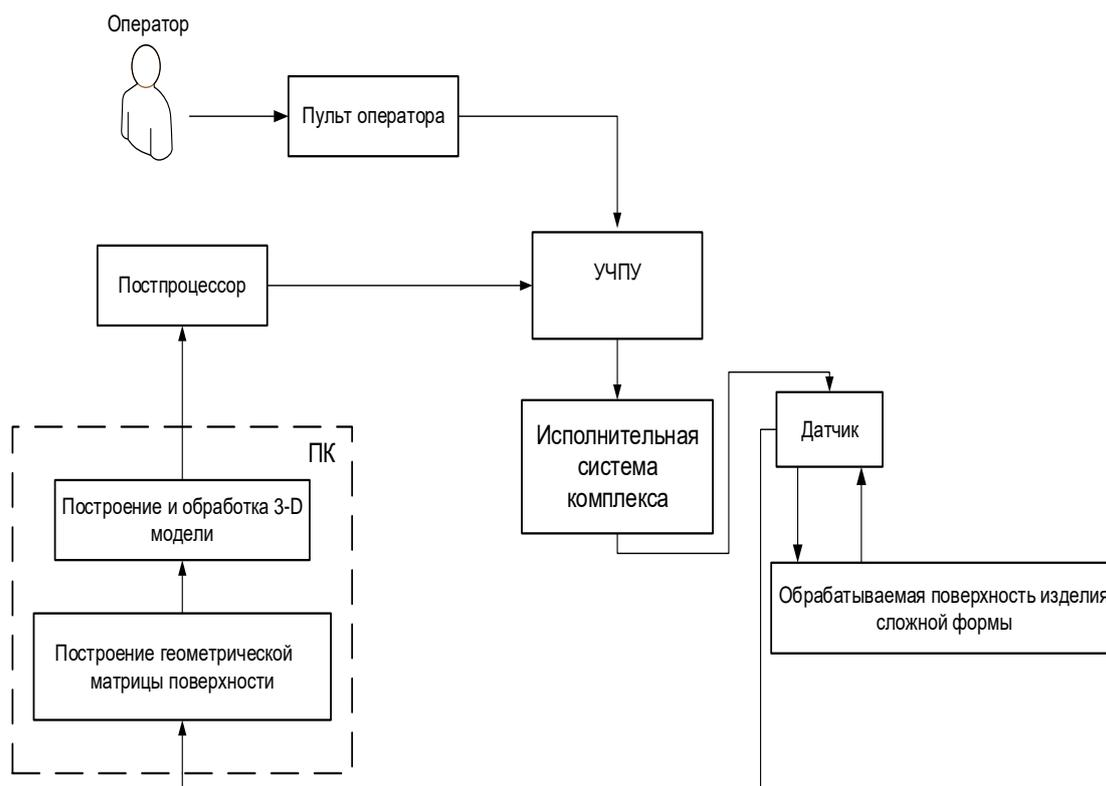


Рис. 3.53. Алгоритм работы лазерного технологического комплекса в режиме обучения

Вопросы для самопроверки

1. Как осуществляется контрольная наладка мехатронных и робототехнических систем?
2. Как осуществляется выборка зазоров в подшипниковых узлах?
3. Как осуществляется выборка зазоров в зубчатых передачах и механизмах?
4. Как осуществляется выборка зазоров в передачах винт – гайка?

5. Какова последовательность наладки пневмогидрооборудования?
6. Какие работы нужно выполнить перед пуском пневмопривода?
7. Какие работы нужно выполнить перед пуском гидропривода?
8. Как производится настройка давления в пневмо и гидро системах?
9. Как производится наладка гидрораспределителей?
10. Как производится наладка пневмораспределителей?
11. Как производится наладка пневмо и гидро клапанов?
12. Порядок действий при недостаточном усилии на штоке пневмо или гидро цилиндра.
13. Назовите общие методы сокращения времени наладки и выявления неисправностей.
14. В чем заключаются особенности метода обратной последовательности?
15. Какие приборы используются при наладке электрооборудования?
16. Как регулируют выдержку времени в реле времени?
17. Как выполняется контрольная наладка системы управления промышленного робота?
18. Как выполняется наладка робота по тестовой программе?
19. Как выполняется наладка микропроцессорных систем управления?
20. Как выполняется наладка информационных систем?
21. Как выполняется наладка информационных систем восприятия внешней среды?
22. Как выполняется проверка правильности настройки системы светозащиты?
23. Какова роль моделирования в наладке системы программного управления робототехнического устройства или мехатронной системы?
24. Задача настройки электроприводов робототехнического устройства или мехатронной системы.
25. Что настраивается в электроприводах робототехнического устройства или мехатронной системы?
26. Приведите типовую структурную схему регулируемого электропривода.

27. Как производится настройка привода по его модели с использованием пакета Matlab?
28. Приведите порядок практической настройки регулируемого электропривода.
29. Как выполняется практическая настройка параметров регулятора тока в электроприводе?
30. Как выполняется практическая настройка параметров регулятора скорости в электроприводе?
31. Как выполняется практическая настройка параметров регулятора положения в электроприводе?
32. Назовите последовательность галадки мехатронной системы металлорежущего станка.
33. Как производится наладка режущего инструмента в станке по размеру?
34. Назовите режимы работы станков с ЧПУ.
35. Как производится управление точностью металлорежущего станка?
36. Как производится исправление программы ошибок при наладке металлорежущего станка с ЧПУ?
37. Как назначаются режимы резания для металлорежущего станка?
38. Назовите режимы работы лазерного технологического комплекса.
39. Какие параметры задаются при наладке лазерного технологического комплекса?
40. Роль выполнения параллельных натурального и «машинного» экспериментов при наладке лазерного технологического комплекса.
41. Каково содержание процесса подготовки программ обработки деталей на лазерном технологическом комплексе?
42. Охарактеризуйте процесс подготовки управляющей программы для лазерного технологического комплекса в режиме обучения.

Глава 4. МЕТОДЫ И СРЕДСТВА ИСПЫТАНИЙ И ДИАГНОСТИКИ РОБОТОВ И МЕХАТРОННЫХ СИСТЕМ

4.1. Виды и общие требования к испытаниям промышленных и мобильных роботов

При проведении испытаний промышленных роботов (ПР) следует рассматривать их как машины широкого назначения, отличительными признаками которых являются:

- способность к переналадке для выполнения действий, отличающихся последовательностью, скоростью, величиной и точностью перемещений исполнительных органов;
- способность к взаимодействию с объектами внешней среды, в том числе способность сохранения динамических параметров процесса манипулирования при изменении свойств (например, массы) перемещаемых объектов; адаптация к изменению окружающей среды и т. п.;
- особенности динамики исполнительных органов, являющихся пространственными механизмами со многими степенями подвижности и незамкнутой кинематической цепью;
- небольшая жесткость исполнительных устройств в сравнении с обслуживаемым оборудованием и напряженные динамические режимы работы (скорости до 1,5 м/с при относительно небольших перемещениях, интенсивные разгоны и торможения).
- соответствие функциональных возможностей ПР и его систем технологическому назначению робота, который может относиться к группе производственных, подъемно-транспортных или универсальных ПР;
- соответствие требований техники безопасности предполагаемой области применения.

При проведении любых видов испытаний следует предусматривать проверки, отражающие все перечисленные особенности ПР.

ПР могут подвергаться всем видам испытаний, регламентированных ГОСТ 16504-81.

Вид испытаний обуславливает совокупность определяемых показателей ПР и осуществляемых проверок, метод их определения и проведения, а также необходимые измерительные средства.

Классификация и определение видов технического контроля и испытаний ПР принимаются в соответствии с ГОСТ 16504-81. В зависимости от этапа разработки и стадии освоения производства ПР должны подвергаться различным видам испытаний (табл. 4.1).

Таблица 4.1

Образец для испытаний	Виды испытаний ПР							
	Доводочные	Приемосдаточные	Исследовательские	Предварительные	Приемочные	Аттестационные	Периодические	Типовые
Опытный	+	+	+	+	+	+	—	—
Из установочной (первой промышленной) серии	+	+	+	—	—	+	—	—
При серийном производстве	—	+	+	—	—	+	+	+

Общие требования к испытаниям ПР

Требования к условиям проведения испытаний. На месте проведения испытаний должны быть исключены резкие колебания температуры, шум, вибрации, помехи, наличие вредных газов, паров и т. п., превышающие нормативные значения и затрудняющие проведение испытаний или влияющие на их результаты. Испытания ПР следует проводить при нормальных значениях факторов внешней среды по ГОСТ 15150-69. Для ПР, рассчитанных на работу в условиях высоких температур, запыленности, загазованности и влажности окружающей среды, испытания следует проводить в эксплуатационных условиях или в климатической камере, обеспечивающей имитацию перечисленных условий. Порядок проведения испытаний регламентируется п. 4 и 5 ГОСТ 15.001-73. При этом приемочные испытания проводят, как правило, на заводе-изготовителе опытного образца ПР. В необходимых случаях испытания проводят в эксплуатационных условиях на заводе-потребителе. По согласованию с заинтересованными организациями и предприятиями допускается проводить приемочные испытания и в других

местах. Место проведения исследовательских и типовых испытаний определяется разработчиком или организацией (предприятием), которые проводят данные испытания.

Требования к испытываемым образцам ПР и их количество устанавливаются согласно ОСТ 2 Н02-3-76.

ПР должны передаваться для испытания в пригодном для эксплуатации состоянии, с полным комплектом принадлежностей, перечень которых оговорен в сопроводительной документации на ПР или изготовление которых предусмотрено техническим заданием (для приемочных испытаний, в том числе с комплектом принадлежностей, поставляемых за отдельную плату). Испытуемые образцы должны быть отрегулированы в соответствии с руководством по эксплуатации до той степени, которая исключала бы возможность изменения их свойств во время испытаний. Требование неизменности свойств образцов во время испытаний не распространяется на испытания на надежность. При одновременном испытании нескольких образцов их установка должна исключать взаимное влияние друг на друга, а также влияние на средства измерения. При проведении приемочных испытаний для проверки исполнения технологических команд, а также с целью контроля всех предусмотренных устройств, обеспечивающих технику безопасности и безаварийную работу, вспомогательные (подъемно-транспортные) ПР должны испытываться с технологическим и вспомогательным оборудованием или со специальными стендами, имитирующими работу оборудования. Технологические (производственные) ПР должны быть оснащены всеми необходимыми устройствами для осуществления технологического процесса (сварки, окраски, сборки и т. д.).

Требования к подготовке ПР к испытаниям. Для проведения испытаний ПР должен быть установлен в помещении, обеспечивающем его нормальную работу. Установка должна производиться в соответствии с требованиями, изложенными в руководстве по эксплуатации. Испытуемый образец должен быть заполнен эксплуатационными жидкостями и подсоединен к источникам энергии. На месте проведения испытаний должно быть обеспечено выполнение правил техники безопасности. Участок для проведения испытаний должен быть огражден, а в проходе установлены предупредительные надписи, запрещающие вход на участок посторонним лицам. На полу красной полосой шири-

ной не менее 100 мм должна быть отмечена граница рабочего пространства ПР (если указанное пространство не ограничено другими средствами). В рабочем пространстве не должны находиться посторонние лица, предметы и оборудование, препятствующие или ограничивающие движения ПР. Оборудование и приборы, применяемые при испытаниях, должны быть заземлены. Должно быть обеспечено удобство визуального контроля за ПР, а обслуживание и наладка ПР должны производиться только лицами, прошедшими обучение и инструктаж по технике безопасности.

При работе в автоматическом режиме у пульта управления должен находиться оператор. При первых же признаках неполадок и сбоях ПР должен быть немедленно выключен; повторное включение допускается после выявления причин неисправностей и их устранения.

Требования к средствам измерений. Средства измерения, применяемые для проверок и исследований ПР, должны быть аттестованы в установленном порядке и иметь соответствующий паспорт. При установлении результатов измерения должны вноситься поправки, учитывающие погрешность примененных средств измерений в соответствии с паспортными данными. Жесткость оправок, стоек и державок должна быть такой, чтобы деформации их под действием измерительного усилия и веса измерительного прибора были пренебрежимо малы по сравнению с допуском на проверяемый параметр. Средства измерения, применяемые для проверки точностных свойств ПР, должны соответствовать общим требованиям, изложенным в ГОСТ 8-82. Проверки, выполняемые при приемочных испытаниях, следует осуществлять, по возможности, простейшими измерительными средствами. В качестве регистрирующей аппаратуры рекомендуется использовать аналоговые регистраторы промышленного типа, а также измерительно-вычислительные системы и комплексы. При выборе датчиков рекомендуется принимать уровень максимально допустимой погрешности измерений не более 1-6 %.

Оформление результатов испытаний. Результаты приемочных испытаний оформляют актом и протоколом приемки по формам, приведенным в ОСТ 2 Н02-3-76. Оценка результатов испытаний производят в соответствии с требованиями, приводимыми в методиках испытаний конкретных моделей ПР. В разделах протокола приводят только основные результаты испытаний. Таблицы, графики, схемы и т. п.

оформляют в виде приложений к протоколу. Протокол должен содержать перечень неполадок и неисправностей, выявленных в процессе испытаний. Результаты исследовательских испытаний оформляют в виде отчетов, утверждаемых руководством организации или предприятия, проводившего испытание. Результаты аттестационных испытаний оформляют в виде документов по формам, приведенным в инструкциях о порядке аттестации продукции предприятий соответствующих отраслей. Результаты периодических испытаний оформляют протоколом по форме, приведенной в ГОСТ 15.001-73. Результаты типовых испытаний оформляют протоколом, утверждаемым руководством предприятия-изготовителя.

Требования к проведению отдельных видов испытаний. Предварительные, приемочные и аттестационные испытания проводят по единым программам и методикам. Приемо-сдаточные испытания проводят по программе, представляющей собой выборку из программы приемочных испытаний. *Объем приемочных испытаний* должен быть минимальным, но достаточным для получения результатов, позволяющих оценить технико-экономический уровень ПР и сделать вывод о его пригодности к серийному производству. Приемочные испытания следует проводить при наиболее неблагоприятном сочетании определяемых параметров, допускаемом технической документацией (максимальные скорости и вылеты исполнительных устройств, номинальная грузоподъемность и т. д.). Основными этапами приемочных испытаний являются проверка соответствия состава и комплектности опытного образца документации и соответствия показателей ПР требованиям стандартов, техническим условиям и руководству по эксплуатации; испытание на холостом ходу; испытание под нагрузкой; проверка соответствия опытного образца нормам точности; проверка качества изготовления базовых деталей, качества сборочно-монтажных работ и внешней отделки; испытание всех принадлежностей и приспособлений; сравнительные испытания на производительность.

Особое внимание следует обращать на действие блокировок и устройств, обеспечивающих безопасную и безаварийную работу, в том числе невозможность присутствия человека в зоне работы ПР; надежность захватывания и удержания объекта манипулирования, в том числе при внезапном отключении источника энергии; правильность взаимодействия ПР с технологическим оборудованием; ограничение

максимальных перемещений исполнительного устройства. Проверку осуществляют не менее чем пятикратным включением блокировок. Грузоподъемность проверяют путем переноса в автоматическом режиме на наибольших скоростях заготовок номинальной массы. Число циклов - не менее 10. Цикл работы должен включать максимальные перемещения по всем координатам при наиболее неблагоприятном сочетании переносных движений. Визуально контролируются возможность осуществления всех движений, отсутствие выпадания и проскальзывания заготовок, отсутствие поломок и неисправностей исполнительного устройства. Средние и максимальные скорости перемещений проверяют при работе в автоматическом режиме путем фиксирования:

- при определении средних скоростей- времени двойного хода (вперед-назад, вверх-вниз, по часовой стрелке - против часовой стрелки) при максимальных перемещениях с заготовкой номинальной массы без выдержек времени в конце ходов. Число двойных ходов по каждой степени подвижности - не менее пяти;

- при определении максимальных скоростей - времени перемещения на отрезке пути после окончания разгона и перед началом торможения.

Исходя из замеренного времени перемещений рассчитывают средние максимальные скорости.

Погрешность позиционирования проверяют одним из следующих методов:

- путем установки вала, удерживаемого захватом, в неподвижную втулку с горизонтальной или вертикальной осью. Разность диаметров вала и втулки должна соответствовать паспортной погрешности позиционирования. На валу и втулке не допускается наличие фасок;

- определением погрешности позиционирования в двух взаимно перпендикулярных плоскостях с помощью индикаторов часового типа, установленных в точках позиционирования. Погрешность позиционирования в каждой из плоскостей, определяемая по разности показаний индикаторов, не должна превосходить паспортного значения. По обоим из указанных методов погрешность позиционирования должна определяться для одной из точек рабочего пространства. Координаты точки указываются в методиках испытаний конкретных ПР. Проверка осуществляется в автоматическом цикле с заготовкой номинальной массы при наибольших паспортных скоростях. Программа должна

включать движение по всем координатам и остановку в конце цикла на время, необходимое для снятия показаний (для второго метода).

Проверки норм точности следует выполнять после испытания на холостом ходу и в работе в соответствии с внутривзаводскими приемосдаточными нормами. При указанных проверках отклонения от прямолинейности при осуществлении движений измеряют в двух взаимно перпендикулярных плоскостях. В зависимости от исследуемых показателей программа *исследовательских испытаний ПР* включает: статические испытания, динамические испытания, испытания на надежность, прочие испытания (по усмотрению разработчика). При проведении испытаний на надежность исследуют свойства ПР, предусмотренные ГОСТ 27.002-83 (безотказность, долговечность, ремонтпригодность и др.). *Периодические испытания* проводят с целью сравнения качества серийных образцов, выпущенных в разное время. Периодическим испытаниям подвергают образцы, выдержавшие приемосдаточные испытания. Периодические испытания выполняют по программе приемочных испытаний, изложенной выше. Рекомендуемая периодичность испытаний - не реже одного раза в 2-3 года. *Аттестационные испытания* должны, как правило, совпадать с проведением ближайших по сроку периодических испытаний. *Типовые испытания* проводят с целью оценки эффективности изменений, внесенных в серийные образцы. Их проводят по программам и методикам, разработанным в соответствии с требованиями приемочных и исследовательских испытаний в объеме, необходимом для проверки функциональной работоспособности измененной составной части ПР и оценки влияния этой части на работу ПР в целом. Типовые испытания не проводят, если внесенные изменения не меняют функциональной работоспособности ПР (например, изменение конструкции крышки, замена комплектующего изделия на равноценное и т. п.). Общие правила приемки и методы испытаний ПР регламентируются ГОСТ 26053-84.

Испытания мобильных роботов для работы в экстремальных условиях проводятся по проходимости и постоянству скорости перемещения в соответствии ГОСТ Р60.6.3.9 – 2019.

Наземные роботы для работы в экстремальных условиях должны обеспечивать проходимость рельефа местности с разными видами препятствий. Требования по проходимости включают преодоление тре-

щин, барьеров, лестниц, уклонов, перемещение по разным видам поверхностей полов и почвы, а также по ограниченным проходам. Кроме того, к дополнительным требованиям к проходимости роботов относят способность двигаться с максимальной поддерживаемой скоростью и возможность буксировки. Стандартные методы испытаний необходимы для оценки соответствия этим требованиям испытываемых роботов. Испытательный комплект по проходимости обеспечивает количественную оценку рабочих характеристик наземных мобильных роботов, действующих в экстремальных условиях. Заказчики испытаний могут применять весь испытательный комплект или его часть, основываясь на своих технических требованиях. Результаты испытаний должны в совокупности представлять общую оценку проходимости наземного робота для работы в экстремальных условиях. Эти данные могут быть использованы при выборе роботов или при проведении приемочных испытаний роботов, предназначенных для работы в экстремальных условиях. Заданием для данного метода испытаний, состоящего в передвижении мобильного робота с максимальной поддерживаемой скоростью по ровной поверхности с твердым покрытием, является перемещение робота из исходной позиции по заданному маршруту обратно на исходную позицию, обеспечивая при этом возможность последовательного повторения испытательных попыток. По умолчанию маршрут должен иметь форму восьмерки вокруг двух стоек. Робот должен постоянно следовать вдоль заданной линии маршрута, поддерживая постоянно некоторую часть мобильного шасси на этой линии. Выполнение данного задания характеризует способность робота перемещаться по поверхности данного типа с поддерживаемой скоростью. Требуемое число успешных попыток выполнения задания в зависимости от общего числа попыток определяют на основании заданных заказчиком испытаний статистической надежности и доверительной вероятности данной способности робота. Полученная в результате испытаний средняя расчетная скорость считается скоростью, которую способен поддерживать данный робот. Для испытаний робота должно быть использовано телеуправление из указанного руководителем рабочего места оператора с помощью операторского пульта управления. Рабочее место оператора должно быть расположено и оборудовано так, чтобы изолировать оператора от прямого визуального и звукового контакта с испытательным оборудованием и роботом. Оператор

может провести тренировку до начала испытаний. Он также может отказаться от проведения испытаний до их начала. В ходе испытания не должно быть общения между оператором и руководителем испытаний, кроме команды начать испытание и сообщений о неисправностях робота или нарушении мер безопасности. Оператор несет полную ответственность за определение того, завершил ли робот и когда завершил очередную попытку, и за уведомление об этом руководителя. Решение о выполнении очередной попытки принимает только руководитель испытаний. Показателем для данного метода испытаний является полнота отработки заданного маршрута, успешно преодоленного за заданное число последовательных попыток. Кроме того, затраченное время на успешное перемещение по маршруту или расчетная скорость в метрах в минуту является показателем эффективности робота, простоты использования операторского пульта управления и уровня мастерства оператора. Поэтому данный временной аспект является вторым показателем, и его значение должно быть зафиксировано в протоколе испытаний. Средняя расчетная скорость, полученная в результате испытаний, принимается за скорость, которую способен поддерживать данный робот.

4.2. Определение технических характеристик ПР при испытаниях

К основным характеристикам, исследуемым при испытаниях ПР, относятся: грузоподъемность, быстродействие, быстроходность, зона обслуживания, погрешность позиционирования или воспроизведения заданной траектории, инерционные нагрузки. Первые пять из них являются взаимозаменяемыми, что учтено при построении методики. В частности, грузоподъемность робота, которая характеризуется максимальной массой груза, перемещаемого захватным устройством, существенно зависит от заданных точности позиционирования и быстроходности, а также от вылета руки, т.е. геометрии.

Грузоподъемность определяется путем измерения установленной в захватном устройстве массы груза при заданной быстроходности и мощности привода, допустимой нагрузке на детали механизмов и обеспечении требуемой точности позиционирования. Зависимость грузоподъемности от быстроходности часто отражается в паспортных

данных путем указания грузоподъемности при нормальной и пониженной скоростях.

Быстродействие робота, характеризуемое временем движения рабочего органа на заданную величину хода, определяется:

1) по измерениям величин скорости, ускорения и малых перемещений в конце хода;

2) по измерениям непосредственно временных интервалов.

В первом случае характерные участки движения, определяемые по измерениям параметра скорости, уточняются по измерениям величин ускорений и малых перемещений. Быстродействие зависит не только от скорости, задаваемой приводом, но и от величины и направления перемещения, грузоподъемности и сил демпфирования. От величины этих параметров зависит время, затрачиваемое на доведение до заданного уровня колебаний в конце хода. Допустимые амплитуды колебаний определяются требованиями технологического процесса (операции), выполняемого роботом, условиями захватывания перемещаемой детали и т.п. Допустимый уровень ускорений руки при захвате объекта ограничивается в случаях перемещения сосудов с жидкостью и при захвате нежестких деталей, когда возникающие инерционные нагрузки могут привести к повреждению зажимаемых деталей, и в других подобных случаях.

Быстроходность является производной характеристикой. Она рассчитывается по быстродействию с учетом заданной величины перемещения. При оценке этой характеристики необходимо определить допустимый диапазон изменения средних скоростей рабочего органа с учетом факторов, влияющих на него в наибольшей степени. На быстроходность и быстродействие наиболее сложное влияние оказывают характер изменения скорости движения и колебание узла после окончания его перемещения. Сокращение общего времени перемещения приводит не только к повышению быстродействия, но и к понижению точности работы робота и возрастанию динамических нагрузок. Для каждой конструкции при испытаниях необходимо находить наилучшее соотношение составляющих времени, позволяющих не допустить динамических перегрузок и снижения точности.

Зона обслуживания робота характеризуется рабочим объемом, который ограничивается траекторией движения между конечными

точками всех возможных поступательных и вращательных перемещений рабочего органа, всех его длин ходов и углов поворота для региональных движений. При экспериментальном определении обслуживаемого пространства ПР вначале производится оценка паспортного значения допустимой длины хода и угла поворота по всем степеням подвижности. Величины ходов исполнительных механизмов, предусмотренные конструкцией робота, в ряде случаев не могут быть полностью реализованы при некоторых соотношениях грузоподъемности и быстроходности из-за возникновения сильных колебаний руки, препятствующих выполнению заданной операции. В случае не достижения при максимальных вылетах рабочего органа заданной точности позиционирования следует определить, при каком вылете руки (радиусе поворота) и данной нагрузке погрешности снижаются до допустимых. Таким же образом для нескольких значений нагрузок получают данные для расчета действительного объема зоны обслуживания.

Для предупреждения столкновения с периферийным оборудованием при определении зоны обслуживания необходимо оценить и неиспользованную зону, зависящую от конструктивного исполнения ПР. При этом величина отношения объема зоны обслуживания к объему неиспользуемой зоны может служить показателем, который характеризует эффективность применения испытываемой конструкции ПР для данного техпроцесса.

Погрешность позиционирования является одной из основных характеристик ПР, определяющей их точностные свойства. Под погрешностью позиционирования δ_D понимается отклонение действительного положения исполнительного органа ПР X_i от запрограммированного $X_{\text{прог}}$ при его многократном двухстороннем позиционировании в различных точках по пути перемещения по каждому из направлений движения. Погрешность позиционирования формируется всем комплексом - механической частью и системой управления ПР и зависит от погрешности блоков и элементов системы управления, погрешности привода, жесткости руки, жесткости и динамических свойств механизмов позиционирования, сил демпфирования и других факторов. Погрешность позиционирования должна определяться в общем случае для различных положений рабочего органа в зоне обслуживания при заданных соотношениях грузоподъемности и быстроходности (с учетом прогиба руки манипулятора), которые изменяются в зависимости от

значений масс объектов манипулирования и перемещений рабочего органа в радиальном направлении.

В связи с тем, что при расчете погрешности позиционирования приходится иметь дело со случайными величинами, меняющими свое значение при каждом испытании, для оценки погрешности позиционирования необходимо использовать методы статистического анализа. При этом величина δ_D определяется следующими статистическими показателями:

а) алгебраической разностью наибольшего и наименьшего (во всем диапазоне перемещений) средних арифметических значений отклонений фактических положений рабочего органа от запрограммированных $X_{\text{прог}}$. Этот показатель характеризует накопленное отклонение;

б) значением рассеяния отклонений Dx при многократном подходе рабочего органа к запрограммированному положению (отклонение рабочего органа от заданного положения). Этот показатель характеризует среднее квадратическое отклонение.

Накопленное отклонение $\Delta\bar{X}$ представляет собой разницу средних значений действительных позиций рабочего органа, образующуюся при подходе его к заданной координате на оси различных направлений (с правого $\bar{X}_{\text{пр}}$ и левого $\bar{X}_{\text{л}}$ направлений). Данная величина позволяет определить среднее отклонение рабочего органа, проявляющееся при позиционировании запрограммированного положения.

Среднее квадратическое стандартное отклонение Dx характеризует диапазон отклонений координат рабочего органа от средней действительной координаты, возникающей при подходе к запрограммированной заданной координате с правой ($Dx_{\text{пр}}$) или левой ($Dx_{\text{л}}$) стороны. Эта величина позволяет установить, в каком диапазоне ожидаются отклонения действительных координат рабочего органа от средней действительной координаты, если заданная координата позиционируется в одном направлении.

При сокращенных испытаниях погрешность позиционирования рассчитывают для одной из точек зоны обслуживания. Выбор метода определения погрешности позиционирования зависит от типа системы управления, которой оснащен ПР. Для ПР с позиционной системой управления погрешность позиционирования оценивается по величине

погрешности, подвода захвата в заданную точку при многократном повторении цикла. Для этого в заданную точку рабочего пространства устанавливается измерительный прибор для определения малых перемещений и снимается серия замеров при подходе руки робота к заданной точке. При измерениях применяются контрольные тела, закрепляемые на фланце захватного устройства или в самом захватном устройстве. Используются контрольные тела, имеющие форму шара, куба, цилиндра, призмы, линейки, и сложные тела, позволяющие более точно определить угловые смещения. Число приборов или датчиков перемещения и зависимости от задач измерений изменяется в пределах 1÷6. Измерения проводятся для движений руки по всем программируемым координатам в нескольких точках рабочего пространства. Для последующей статической обработки целесообразно, чтобы каждая серия измерений включала не менее 10 замеров. Обработка результатов измерений производится статистическими методами в предположении, что случайные отклонения от заданного положения подчиняются закону нормального распределения Гаусса. Замеры производятся в автоматическом режиме работы ПР.

Для ПР с контурной системой управления задача контроля точности отличается большей сложностью и заключается в следующем. В процессе обучения ПР задаваемая вручную пространственная траектория воспроизводится автоматически. Требуется определить отклонения заданной траектории от фактической δ_r , воспроизведенной ПР. Данная величина характеризуется:

- а) отклонением действительной средней траектории от запрограммированной заданной (погрешность траектории);
- б) колебанием (разбросом) действительной траектории вокруг средней (погрешность перемещения).

Оба эти значения объединяются понятием отклонения заданной траектории от фактической.

Используются различные методы и схемы измерительных устройств для решений этой задачи. При использовании метода контроля точности воспроизведения пространственной кривой, основанного на использовании специальной измерительной головки, головка оснащена двумя индуктивными датчиками малых перемещений и крепится к рабочему органу ПР. Во время обучения измерительная головка перемещается на определенном расстоянии вдоль проверяемой

линии. Это перемещение регистрируется системой управления. При автоматическом воспроизведении траектории производят сравнение (с помощью ЭВМ) фактического и запрограммированного перемещений. С целью упрощения метода на практике проверка осуществляется путем перемещения головки вдоль призматического бруска, расположенного диагонально в пространстве. Рассмотренный метод, требующий специального измерительного стенда, может применяться, как правило, при лабораторных испытаниях ПР.

Для измерения значений отклонения заданной траектории от фактической можно использовать и датчик малых перемещений, который устанавливается в рабочем органе и перемещается по проверяемой пространственной траектории.

Для промышленных роботов, выполняющих технологические операции (например, сварочных ПР), важное значение имеет *обеспечение и оценка устойчивости перемещения* их исполнительных механизмов. Поэтому при испытаниях целесообразно определить степень и характер влияния различных факторов и параметров на неравномерность перемещения исполнительных механизмов ПР.

Оценка неравномерности перемещения исполнительных механизмов ПР, выполняющих технологические операции, в период установившегося движения может проводиться с помощью коэффициента неравномерности K_v или K_w . Значение коэффициента K_v или K_w зависит от конструкции, жесткости, качества изготовления, регулировки, смазки механизма, качества обработки и состояния направляющих, определяющих нелинейность характеристик трения. Поэтому при условии получения достаточного количества экспериментальных данных для их статистической обработки коэффициент K_v или K_w может использоваться в качестве критерия как для сравнения различных вариантов конструкции, так и для выявления дефектов изготовления и регулировки механизмов ПР.

Неравномерность движения исполнительных механизмов ПР может быть оценена также с помощью коэффициента неравномерности ускорения k_v^y или k_w^y .

Для исследования указанных выше характеристик достаточна регистрация скорости, ускорения и малых перемещений руки в конце хода. Эти параметры целесообразно регистрировать одновременно при движении по каждой координате в обоих направлениях (вверх-вниз,

вперед-назад, по часовой стрелке, против часовой стрелки). В этом случае время позиционирования связывается с заданным уровнем колебаний. Испытания проводятся в автоматическом режиме работы ПР.

При сокращенных испытаниях варьируются следующие параметры:

1. Масса груза m . Испытания проводятся на холостом ходу ($m = 0$) и при значениях массы груза $m = 0,5m_{\max}$; $m = m_{\max}$, где m_{\max} - максимальная грузоподъемность ПР.

2. Величины перемещений по каждой степени подвижности;

а) для механизмов линейного позиционирования руки рекомендуются интервалы $0,2L_{\max}$; $0,6L_{\max}$; $1,0L_{\max}$, где L_{\max} - максимальный ход;

б) для механизмов углового позиционирования рекомендуются интервалы $0,2\psi_{\max}$; $0,6\psi_{\max}$; $1,0\psi_{\max}$, где ψ_{\max} - максимальный угол поворота.

3. Скорости перемещений и закон движения - для тех ПР, у которых это предусмотрено конструкцией. При этом величины скоростей перемещений по каждой степени подвижности рекомендуется варьировать в следующих интервалах:

а) для механизмов линейного позиционирования от $0,5v_{\max}$ до $1,0v_{\max}$, где v_{\max} - максимальная линейная скорость;

б) для механизмов углового позиционирования от $0,5w_{\max}$ до $1,0w_{\max}$, где w_{\max} - максимальная угловая скорость.

Для повышения достоверности результатов обработки каждое измерение целесообразно проводить не менее трех раз.

Значения временных интервалов, характеризующих длительность составляющих цикла и весь процесс в целом, можно определить, измеряя электрические сигналы в цепи управления (например, в соленоидах, реле и др.), причем наиболее просто найти время циклов. Для измерения других временных интервалов (например, времени разгона и торможения) необходимо получить информацию о моментах прохождения исполнительным устройством робота отдельных точек его хода. С этой целью вводят в схему измерения дополнительные первичные преобразователи, но это усложняет испытания и увеличивает их трудоемкость.

Временные интервалы можно получить и путем измерения скорости v (или w) исполнительного устройства робота. В этом случае характерные точки начала и конца отдельных временных интервалов уточняются по ускорениям a (или e) и малым перемещениям D в конце хода исполнительного механизма робота, которые регулируются вместе с его скоростью. При этом определяются:

1. Время разгона t_p (как обычно, интервал времени с момента $v = 0$ до момента $v = 0,95 v_{\max}$, где v_{\max} - максимальная скорость движения).

2. Время установившегося движения $t_{уст}$.

3. Время торможения t_T (интервал времени от конца установившегося движения до момента, когда $v = 0$).

4. Время успокоения колебаний $t_{усп}$. (интервал времени от конца торможения до момента, когда амплитуда колебаний исполнительного устройства робота уменьшится до заданной величины (например, до паспортного значения погрешности позиционирования)).

5. Максимальные линейные v_{\max} и угловые w_{\max} скорости

$$v_{\max} = \frac{L}{L_n} \cdot h; \quad w_{\max} = \frac{\Psi}{\Psi_n} \cdot h$$

где L и Ψ - заданные линейное и угловое перемещение исполнительного устройства робота; L_n и Ψ_n - линейное и угловое перемещения, определяемые путем интегрирования измеряемой скорости движения исполнительного устройства робота; h - максимальная ордината измеряемой скорости.

6. Наибольшие величины ускорений при разгоне a_p и торможении a_T .

7. Амплитуда A и период T колебаний рабочего органа по измерениям параметров малых перемещений в конце исполнительного устройства робота.

С помощью параметров, определяемых экспериментально, рассчитываются:

1. Время движения t_{π} без учета времени колебаний в конце хода

$$t_{\pi} = t_p + t_{уст} + t_T.$$

2. Общее время движения T_{π} с учетом времени колебаний в конце хода

$$T_{\pi} = t_{\pi} + t_{усп}.$$

3. Средние линейные и угловые скорости без учета (v_{cp0} , w_{cp0}) и с учетом (v_{cp} , w_{cp}) колебаний в конце хода

$$v_{cp0} = \frac{L}{t_n}; v_{cp} = \frac{L}{T_n};$$

$$w_{cp0} = \frac{\Psi}{t_n}; w_{cp} = \frac{\Psi}{T_n}.$$

4. Угловое ускорение для механизмов углового позиционирования

$$\varepsilon_p = \frac{a_p}{R}; \varepsilon_T = \frac{a_T}{R}$$

где R - радиус установки линейного датчика ускорения.

5. Инерционные нагрузки по максимальным величинам масс ведомых звеньев M или их моментов инерции j .

$$P_{ip} = Ma_p; P_{iT} = Ma_T; M_{ip} = je_p; M_{iT} = je_T.$$

6. Частота колебаний f по намеренным величинам периода колебаний T

$$f = \frac{1}{T}$$

7. Логарифмический декремент δ затухания колебаний определяется по результатам измерения амплитуд двух последовательных колебаний A_i и A_{i+1}

$$\delta = \ln \frac{A_i}{A_{i+1}}$$

($i = 1, 2, \dots, n$ - номер измерения).

На основании полученных данных строятся графики зависимостей между основными характеристиками ПР: $v_{cp} = f(L)$; $v_{cp} = f(m)$ и др.

8. Значения погрешности позиционирования по измерениям величин отклонения рабочего органа от заданного положения:

а) при одностороннем подходе к запрограммированной позиции (см. рис. 1) и нормальном распределении рассеяния можно определить по формулам

$$\delta_{\Delta} = (\bar{X}_{пр} - X_{прог}) \pm \Delta X_{пр};$$

$$\delta_{\Delta} = (\bar{X}_{л} - X_{прог}) \pm \Delta X_{л}$$

где $\Delta \bar{X}_{пр} = (\bar{X}_{пр} - X_{прог})$ и $\Delta \bar{X}_{л} = (\bar{X}_{л} - X_{прог})$ - накопленная погрешность при правом и левом подходе рабочего органа к заданной точке:

$$\bar{X}_{пр} = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m X_{iпр} \text{ и } \bar{X}_{л} = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m X_{iл}$$

- среднее арифметическое значение действительного положения рабочего органа ПР при многократном одностороннем соответственно правом и левом подходе; m - число измерений; $X_{\text{ипр}}$, $X_{\text{ил}}$, $X_{\text{прог}}$ - соответственно действительное при правом и левом подходе и запрограммированное положения рабочего органа ПР; $\Delta X_{\text{пр}} = \beta S_{\text{пр}}$; $\Delta X_{\text{л}} = \beta S_{\text{л}}$ - границы доверительных интервалов для принятой надежности и числа измерений m при правом и левом подходе рабочего органа:

$$S_{\text{пр}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^m (X_{\text{ипр}} - \bar{X}_{\text{пр}})^2}{m-1}}; S_{\text{л}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^m (X_{\text{ил}} - \bar{X}_{\text{л}})^2}{m-1}}$$

- средние квадратические отклонения от средних арифметических значений $\bar{X}_{\text{пр}}$ и $\bar{X}_{\text{л}}$ при правом и левом подходах; β - соответствующий коэффициент Стьюдента;

б) при подходе к запрограммированной позиции с двух направлений и нормальном распределении рассеяния:

$$\delta_{\Delta} = (\bar{X} - X_{\text{прог}}) \pm \left(X + \frac{\Delta U_x}{2} \right),$$

где $\Delta \bar{X} = (\bar{X} - X_{\text{прог}})$ - накопленная погрешность;

$$\bar{X} = \frac{\bar{X}_{\text{пр}} - \bar{X}_{\text{л}}}{2}; \bar{X}_{\text{пр}} = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m X_{\text{ипр}} \text{ и } \bar{X}_{\text{л}} = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m X_{\text{ил}}$$

- средние арифметические отклонения при подходе рабочего органа к заданной позиции соответственно с правой и левой стороны, которые учитывают несовпадение центра рассеивания и заданного в режиме обучения исходного положения.

$X_{\text{ипр}}$ и $X_{\text{ил}}$ - результаты отдельных замеров в серии при подходе рабочего органа к заданной позиции соответственно с правой и левой стороны;

m - число измерений в серии;

$\Delta X = \frac{\Delta X_{\text{пр}} + X_{\text{л}}}{2}$; $\Delta X_{\text{пр}} = \pm \beta S_{\text{пр}}$ и $\Delta X_{\text{л}} = \pm \beta S_{\text{л}}$ - границы доверительных интервалов для принятой надежности и числа измерений m , определяемые при подходе рабочего органа к заданной позиции соответственно с правой и левой стороны;

$$S_{\text{пр}} = \sqrt{\frac{1}{m-1} \sum_{i=1}^m (X_{\text{ипр}} - \bar{X}_{\text{пр}})^2} \text{ и } S_{\text{л}} = \sqrt{\frac{1}{m-1} \sum_{i=1}^m (X_{\text{ил}} - \bar{X}_{\text{л}})^2} - \text{сред-$$

ние квадратические отклонения, определяемые при подходе рабочего органа к заданной позиции соответственно с правой и левой стороны;

β - соответствующий коэффициент Стьюдента; $\Delta U_x = (\bar{X}_{пр} - \bar{X}_л)$ - зона нечувствительности, имеющая место при реверсе перемещения рабочего органа ПР.

9. Коэффициент неравномерности перемещения K_v или K_w :

$$K_v = 2 \frac{v_{\max} - v_{\min}}{v_{\max} + v_{\min}} \text{ или } \frac{K_v}{2} = \frac{v_{\max} - v_{\min}}{v_{\max} + v_{\min}} 100\%$$

$$K_w = 2 \frac{w_{\max} - w_{\min}}{w_{\max} + w_{\min}} \text{ или } \frac{K_w}{2} = \frac{w_{\max} - w_{\min}}{w_{\max} + w_{\min}} 100\%$$

Где v_{\max} , v_{\min} и w_{\max} , w_{\min} - соответственно максимальные и минимальные линейные и угловые скорости движения исследуемого механизма ПР.

10. Коэффициент неравномерности ускорения K_a или K_ε :

$$K_a = \frac{a_{\text{ср}}}{a_{\text{max}}} \text{ или } K_\varepsilon = \frac{\varepsilon_{\text{ср}}}{\varepsilon_{\text{max}}}$$

где $a_{\text{ср}}$, a_{max} и $\varepsilon_{\text{ср}}$, ε_{max} - средние и максимальные значения соответственно линейных и угловых ускорений испытуемых механизмов ПР.

Конфигурация робота при проведении испытаний должна быть подробно описана в протоколе испытаний, включая все подсистемы и компоненты с их характеристиками и функциональными возможностями. Конфигурация робота, при необходимости, должна быть проверена всеми методами испытаний, установленными заказчиком испытаний, чтобы обеспечить достоверное и всестороннее определение его рабочих характеристик. При любом изменении конфигурации робота необходимо проведение повторных испытаний.

4.3. Особенности испытаний мехатронных систем

Экспериментальные исследования занимают главенствующее место среди всех способов получения информации о внутренних взаимосвязях в мехатронных системах. Под *экспериментом* принято понимать совокупность действий, осуществляемую посредством материальных средств исследования с целью получения новой информации об изучаемом объекте путем построения информационной модели, характеризующей различные его стороны и проявления. Разновидностью экспериментов являются *испытания*, проводимые с целью контроля нахождения параметров объекта в допустимых пределах.

Испытания мехатронных систем, ярким представителем которых являются мехатронные модули металлорежущего станка с ЧПУ состоят из следующих этапов: испытания на холостом ходу и проверка паспортных данных; испытания под нагрузкой и в работе; испытания на точность; испытания на жесткость и виброустойчивость. Испытания на холостом ходу и проверку паспортных данных начинают включением минимальной скорости движения. Затем устанавливают другие скорости, включают подачу и ускоренный ход. Проверяют безотказность блокировок, действия системы смазывания, охлаждения, гидра и электрооборудования, уровень шума. При испытаниях под нагрузкой и в работе проверяют наибольшие силы (с кратковременной перегрузкой на 25%), наибольшие мощность и крутящий момент, убеждаются в безотказности действия под нагрузкой всех механизмов и систем, предохранительных устройств и тормозов.

Точность работы мехатронного модуля движения оценивают его погрешностью, т.е. разностью между действительным и расчетным положениями выходного звена. Основными причинами возникновения погрешности ММ являются погрешности системы управления и двигателя, кинематические погрешности, мертвый ход и упругие деформации элементов его преобразователей движения.

Погрешность системы управления и двигателя.

Погрешность системы управления и двигателя.

Погрешность системы управления и двигателя, приближенная к выходному звену преобразователя движения, может быть определена в виде:

$$\Delta q = \frac{\Delta \varphi_{дв}}{u}$$

u - передаточное отношение преобразователя движения; $\Delta \varphi_{дв}$ - погрешность угла поворота двигателя.

Погрешность, вызванная податливостью преобразователя движения.

Звенья преобразователя движения ММ не являются абсолютно жесткими. Под действием нагрузок они деформируются. Это приводит к изменению положения выходного звена, т.е. возникновению погрешности ММ.

$$\Delta q' = e_{п} Q$$

$e_{п}$ - приведенная податливость преобразователя движения ММ

$$Q = \begin{cases} F - \text{сила сопротивления (Н), при линейном перемещении выходного звена} \\ T - \text{момент сопротивления (Нм), при угловом перемещении выходного звена} \end{cases}$$

Погрешность мехатронного модуля.

Полную погрешность выходного звена ММ определяют в виде:

$$\Delta = \Delta q + \delta_{\Sigma} + J_{\Sigma} + \Delta q'$$

Δq – погрешность системы управления и двигателя

δ_{Σ} - кинематическая погрешность преобразователя движения

J_{Σ} - мертвый ход преобразователя движения

$\Delta q'$ - погрешность, вызванная податливостью преобразователя движения

Ошибки в мехатронных модулях движения могут быть обусловлены следующими причинами и факторами:

1) причины, связанные со схемой погрешностей, которые появляются при изготовлении механизмов (т. е. при применении схемы);

2) технологические причины, которые по линейным, т. е. геометрическим размерам разделяются на:

а) ошибки размера – отклонения размеров элементов у образца и теоретического прототипа от номинальной величины, а также ошибки между элементами, которые появляются при перемещении узлов, составляющих пару (кинематические пары);

б) ошибки формы у рабочих поверхностей тех же пар;

в) ошибки во взаимном расположении рабочих поверхностей узлов;) отклонения в шероховатости и волнистости от номинальных;

3) ошибки, вызванные силами в самом механизме (это силы деформации, трения, вибрации и прочие, а также воздействие динамических факторов (например, ударно-колебательное движение);

4) ошибки, связанные с нарушением температурного режима эксплуатации механизма, из-за изменения сопротивлений и линейных размеров в узлах.

Также выделяют следующие ошибки:

1) ошибка положения механизмов. Имеется в виду следующее: если взять два механизма, которые должны совершить некоторое согласованное действие, то несмотря на полное соответствие параметров ведущих звеньев, обнаруживается разница; эта разница и есть искомая ошибка. Эти механизмы можно себе представить как механизм действительный и его теоретический прототип, то есть под ошибкой имеется в виду несоответствие образца теоретическому прототипу;

2) ошибка перемещения механизмов: речь идет о несоответствии параметров ведомых узлов при тех же параметрах ведущих. Только теперь разница в перемещении, а не в положении ведомых узлов;

3) ошибка положения ведомого звена – имеется в виду та же ошибка, что и в (1), только теперь ее причина в неточности ведущих звеньев, последние часто являются последствиями неправильных вводных данных;

4) ошибка перемещения ведомого звена: то же самое, что и ошибка (2), только теперь причина в ведущих звеньях, но по той же причине, что и в (3);

5) ошибка передаточного отношения (имеется в виду разность между действительным (у образца) и теоретическим передаточными отношениями);

б) ошибка линейного передаточного отношения. Аналогично предыдущей ошибке, речь идет о разности между действительным и теоретическим линейными передаточными отношениями.

Методы определения ошибок мехатронного модуля движения

Аналитический метод – самый общий и распространенный метод обнаружения ошибок. Сопоставляются уравнения движения уже имеющегося механизма и его теоретического прототипа. Цель: получить зависимость, которая выражала бы разность движений ведомых узлов в этих механизмах, в зависимости от движения ведущего звена уже произведенного механизма. При этом значительную роль играет компьютерное моделирование с использованием динамических моделей. В итоге получается функция от ошибок схемы. Значение погрешности получают, разделив линейное перемещение нарушенного ΔS_m ведомого звена на чувствительность измерительного устройства R , и находят ошибку схемы, выраженную в:

$$\Delta S_{m \text{ изм}} = \frac{\Delta S_m}{R}$$

Экспериментальный метод применяют в том случае, когда использование предыдущего метода становится проблематичным из-за ряда причин, например, из-за плохого знания прибора, или же когда в приборах имеются упругие узлы, не позволяющие установить линейную зависимость между искомыми величинами. В случае обнаружения дефектов подвергают исследованию группы одинаковых приборов (механизмов). После определения ряда одинаковых параметров, для которых характерны общие по роду отклонения (для этого каждая единица прибора (механизма) исследуется многократно; в одних и тех же точках, где наблюдались отклонения, определяются средние значения

параметров для каждой единицы) находят среднее значение для всей исследуемой партии. После обработки полученных данных удается определить функцию от ошибки схемы прибора (механизма). Достоинством этого метода является следующее: функцию от ошибок схемы находят, например, методом наименьших квадратов, что значит уменьшение влияния ошибок каждого механизма на общую ошибку для всей группы. Если построить кривую для рядов найденных ошибок, то она будет отражать не только искомые ошибки схемы, но и систематические, которые были допущены при изготовлении или сборке приборов.

При проведении испытаний большое значение имеют условия, при которых производят измерения. Проверку необходимо проводить при температуре +20. °С; колебания температуры не должны превышать $\pm 0,5$. Объем испытания определяется соответствующими нормами точности, предусмотренными ГОСТом.

4.4. Методы и средства диагностирования роботов и мехатронных систем

Методы диагностирования мехатронных и робототехнических систем классифицируют по следующим признакам:

- степени информативности;
- видам диагностической информации;
- степени использования технических средств;
- стадиям эксплуатации;
- глубине диагностирования.

По степени информативности выделяют следующие методы:

- метод *временных интервалов*, применяемый для анализа простоев, определения показателей надежности, контроля работы системы управления, получения циклограмм;

- метод *эталонных модулей*, основанный на сравнении экспериментальных данных или рассчитанных значений и показателей качества;

- метод *эталонных зависимостей*, основанный на сравнении измеренных диагностических параметров с эталонными диагностическими параметрами;

- *спектральный метод*, основанный на измерении составляющих сложных вибрационных или акустических сигналов;

- корреляционный *метод*, применяемый для обнаружения отклонений в характере зависимости между диагностическими параметрами (взаимная корреляция) или изменении диагностических параметров во времени (автокорреляция).

По источнику информации выделяют тестовое и функциональное диагностирование.

При тестовом диагностировании на объект подаются тестовые воздействия от средств диагностирования. При функциональном на объект поступают только рабочие воздействия.

Методы диагностирования классифицируются **по типу физических процессов**, происходящих в объекте: механический, электрический, вибрационный, ультразвуковой, ударно-импульсный, тепловой, магнитный, фотометрический и др.

Механический метод заключается в измерении геометрических размеров частей механических объектов. Он используется при определении износа.

Электрический метод заключается в измерении электрических величин, основан на измерении электрических диагностических параметров: тока, напряжения, сопротивления, мощности.

Вибрационный метод заключается в измерении параметров вибрационных процессов – виброперемещения, виброскорости, виброускорения.

Ультразвуковой метод заключается в измерении отраженных от границ раздела двух сред направленных ультразвуковых колебаний. Он позволяет обнаруживать внутренние дефекты в крупногабаритных объектах с возможностью определения их места и размеров.

Метод ударных импульсов заключается в измерении механических ударных волн, возникающих при соударении твердых тел. Его применяют для определения состояния подшипников качения и смазки.

Тепловой метод заключается в измерении температуры объектов.

Магнитный метод заключается в измерении магнитных полей рассеивания, возникающих над дефектом, и в определении магнитных свойств диагностируемых объектов. Он используется для измерения толщины, для контроля структуры, механических свойств деталей. В

зависимости от способа измерения магнитных полей рассеивания разделяется на магнитопорошковый, магнитографический, феррозондовый, магниторезисторный, индукционный.

Фотометрический метод заключается в измерении освещенности. Используется для измерения линейных и угловых люфтов и зазоров в сопряжениях, загрязненности масел.

В настоящее время перспективными направлениями развития методов диагностирования являются приемы искусственного интеллекта, основанные на нечеткой логике, экспертных системах и нейронных сетях. Методы нечеткой логики позволяют значительно упростить описание модели объектов диагностирования, а также являются более простыми для аппаратной реализации. Экспертные системы позволяют принимать решения о состоянии объекта, если оценка состояния или поиска неисправности объекта является трудно формализуемой задачей. Нейронные сети используют для идентификации объектов, распознавания и прогнозирования состояния МС. Преимущества классификатора, построенного на основе нейронных сетей, перед традиционными оценочными методами заключается в следующих факторах: независимость от шумов, самообучаемость, возможность параллельной обработки.

Важным шагом в любом методе диагностирования является построение математической модели, дающей адекватную информацию о функционировании мехатронной и робототехнической системы.

При решении задачи моделирования в робототехнике и мехатронике возможно использование различных прикладных программ, пакетов и библиотек: Maple, Matlab, ProMechanic, AutoCad и других. Достаточно хорошие результаты при моделировании технических систем достигаются с помощью пакета Matlab. Пакет Simulink, входящий в состав системы Matlab, позволяет достаточно оперативно составлять исследуемые модели, изменять их структуру и регистрировать результаты моделирования, не прибегая к сложным программным процедурам. В последние версии пакета Simulink включена библиотека Sim Mechanics second generation, позволяющая выполнять моделирование движения различных механических систем в трехмерном пространстве в векторно-матричном виде, не прибегая к составлению сложных дифференциальных уравнений, а также библиотека Math Operations. Исходя из этого, предлагается использовать пакет Simulink в сочетании с

библиотекой Sim Mechanics second generation и Math Operations. Идеология составления блок - схем в библиотеке Sim Mechanics second generation существенно отличается от идеологии составления функциональных блок-схем библиотеки Simulink. В блок-схеме Sim Mechanics second generation отдельные блоки следует рассматривать как модели, имитирующие механическое движение одной части моделируемого механизма относительно другой. Входы и выходы блока фактически таковыми не являются, а имитируют «посадочное место» соответствующей части механизма. Линии соединения «входов» и «выходов» блоков имитируют жесткие соединения выходной части одного механизма с входной частью другого. Можно утверждать, что это соединение моделирует передачу силового воздействия между частями разных механизмов. Но поскольку в соответствии с третьим законом Ньютона сила действия равна силе противодействия, такую передачу силы нельзя рассматривать как однонаправленное воздействие. Поэтому в блок - схемах на линиях соединений механических блоков нельзя встретить изображений стрелок, указывающих направление воздействия. По той же причине графические изображения «входов» и «выходов» механических блоков имеют вид не стрелок, а квадратов с диагоналями.

«Входы» и «выходы» механических блоков нельзя рассматривать в качестве источников и приёмников, каких бы то ни было сигналов. К их соединительным линиям нельзя подсоединить обычные S-блоки, а потому нельзя и сформировать с помощью последних заданные воздействия или вывести информацию о получаемых в результате движениях механизмов (например, в обзорные окна или непосредственно в среду MATLAB). Но так как любое моделирование механизмов невозможно осуществить без указания нужных исследователю воздействий и без вывода результатов моделирования в среду MATLAB, такая идеология построения блок-схем механизмов требует включения в библиотеку блоков, осуществляющих прямую и обратную связь S-блоков с механическими блоками.

В состав библиотеки входит шесть разделов:

- Body elements (Тела) – содержит блоки, моделирующие твердые тела;
- Joints (Сочленения) – включает блоки имитации механических сочленений, обеспечивающих требуемые степени свободы одной части механизма относительно другой;

- Constraints (Связи) – состоит из блоков имитации ограничений на степени свободы механической системы;
- Frames and Transforms (система координат) – состоит из блоков систем координат;
- Utilities (Утилиты) – включает вспомогательные блоки, которые могут использоваться при создании модели механизма;
- Demos (Демонстрационные программы) – позволяет вызвать на исполнение демонстрационные модели.

При моделировании движения различных механизмов в пакете Sim Mechanics second generation предусмотрены источники сил и моментов сил (блок External Force and Torque), действием которых можно управлять в функции времени или переменных состояния механизма. В то же время исследование движения характерной точки механизма по заданной траектории с использованием указанного блока вызывает значительные затруднения. Исходя из этого, поставим задачу максимального приближения модели исполнительный системы робота к реальному объекту и представим моделируемую систему в виде, изображенном на рис. 4.1.

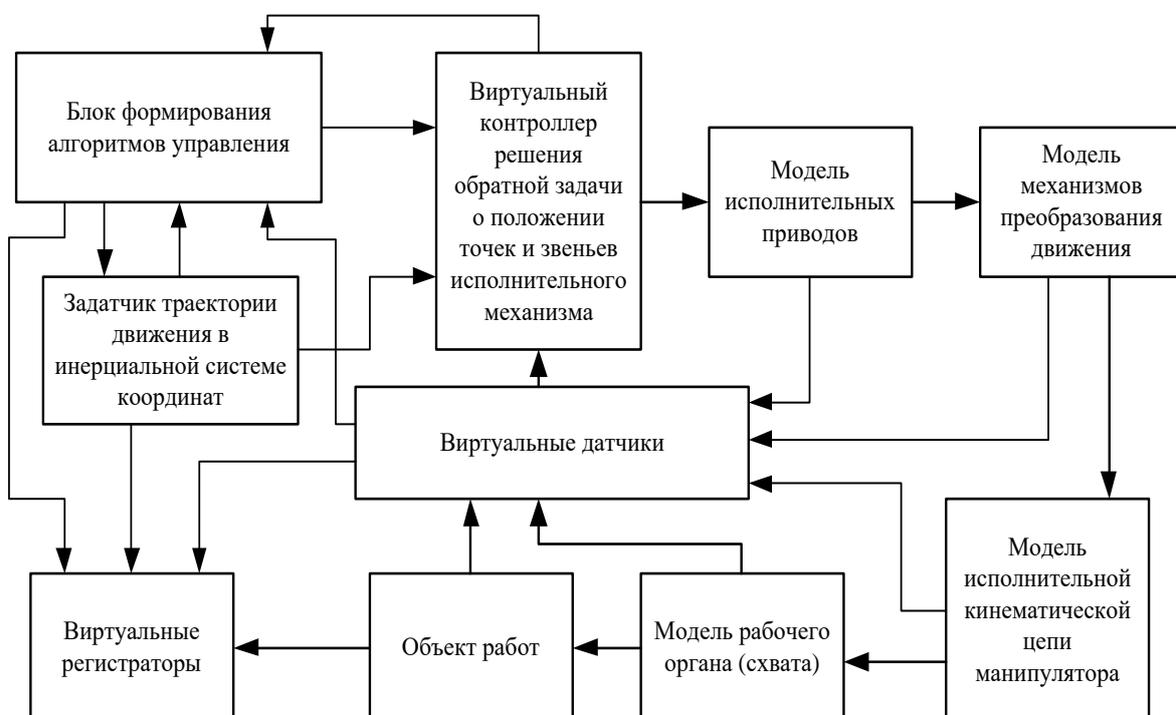


Рис. 4.1. Структурная схема модели исполнительный системы робота

Представленная структура позволит выполнить всесторонний анализ, как исполнительной системы, так и реализации различных алгоритмов управления движением манипуляторов в процессе выполнения рабочих операций. Поскольку на данном этапе выполнения работы многие параметры исполнительной системы выбираются априорно, ограничимся исследованием ее работы при движении по некоторой траектории в процессе перемещения объекта работ с позиции взятия на позицию установки. В качестве примера построения модели используем автономную исполнительную систему манипулятора, кинематическая схема которого приведена на рис.4.2.

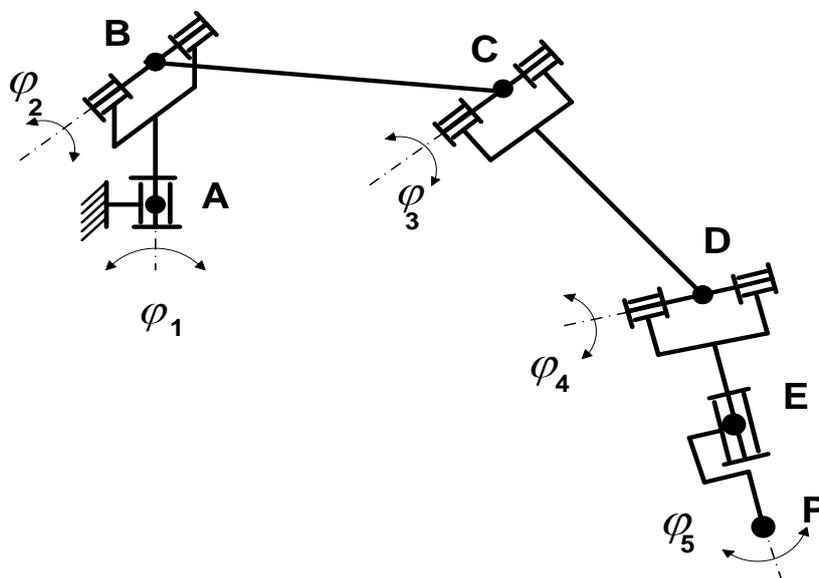


Рис. 4.2. Кинематическая схема манипулятора

При построении модели используем следующие блоки: World Frame, Solver Configuration, Mechanism Configuration, Solid, Revolute, Rigid Transform, Prismatic Joint, Transform Sensor, World Frame, Solver Configuration, Mechanism Configuration, которые являются обязательными при построении модели любого механизма. Они представляют собой неизменные точки основания (земли), неподвижные в абсолютном (инерциальном) пространстве. Движение отдельных частей механизма задаётся или определяется по отношению к системе координат, реализуемой этими блоками. На рис. 4.3. представлен вид подсистемы «Начало координат».

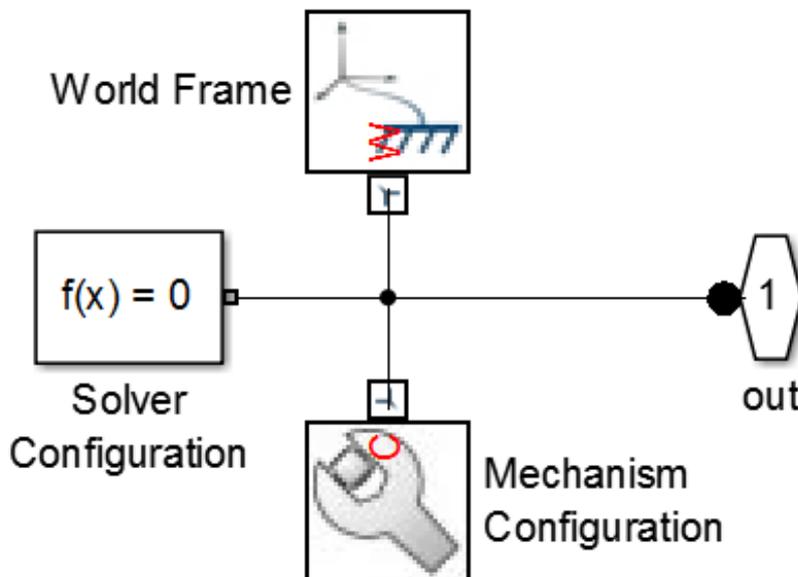


Рис. 4.3. Подсистема «Начало координат»

Блоки Revolute, Prismatic Joint, относящиеся к разделу Joints (сочленения), позволяют обеспечить возможность моделирования относительных движений тел, представленных отдельными блоками Solid, то есть необходимых степеней подвижности. Блок имеет два обязательных порта, с помощью которых он подсоединяется к двум блокам из раздела Body Elements. Порт, отмеченный индексом В (base - основной), предназначен для соединения с блоком Body, представляющим первое (основное) тело, порт с индексом F (follower - следующий) служит для подсоединения к следующему телу в связанной цепи тел, составляющих механизм. Solid - представляет отдельную часть механизма, рассматриваемую как твердое тело, движение которого моделируется. В окне настройки блока задаются масса, инерция, форма, размер и цвет объекта. Модель объекта можно импортировать из другой программы (например, «Компас»).

На рис. 4.4 представлен фрагмент построения модели из выше перечисленных блоков. Построение модели исполнительной кинематической цепи манипулятора производится в пространстве правой инерциальной системы координат XYZ. В состав модели входит 5 звеньев и 5 цилиндрических шарниров, при этом оси шарниров расположены вдоль осей Z относительных систем координат.

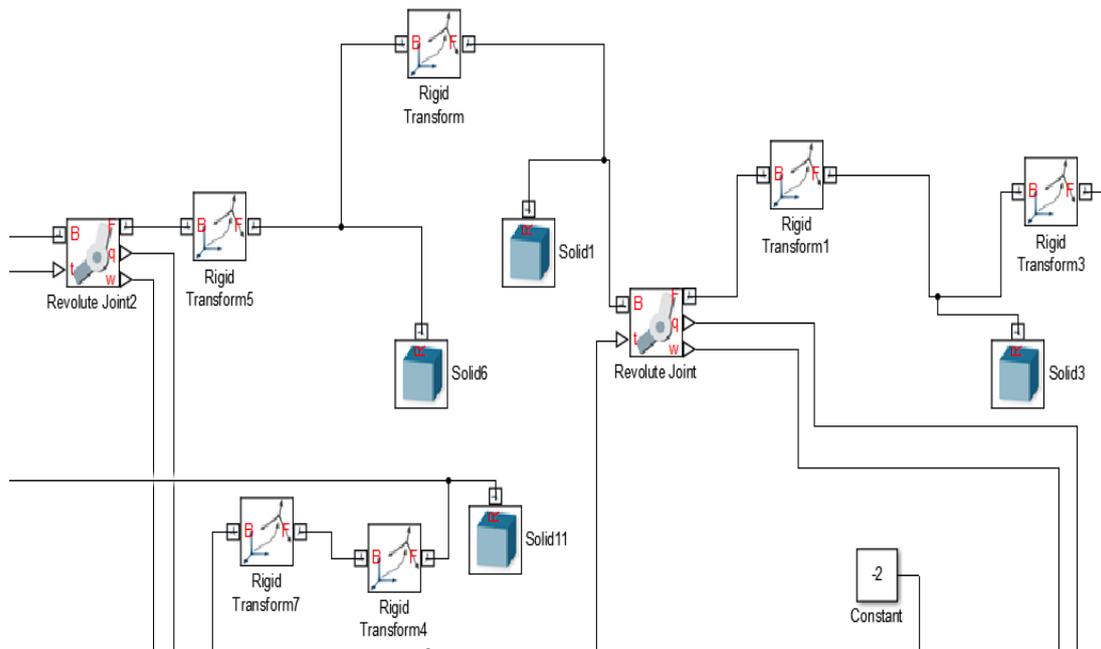


Рис. 4.4. Фрагмент построения модели

Величины масс звеньев примем в соответствии с выражением: $m_i = k \cdot m_r$, где m_i - масса i -го звена, считая от основания; k - коэффициент; m_r - грузоподъемность манипулятора. Значения коэффициента k равны 2; 6; 4,5; 3 и 2 соответственно. На рис. 4.5 приведена модель обобщенной исполнительной кинематической цепи манипулятора, построенная в соответствии с изложенным выше.

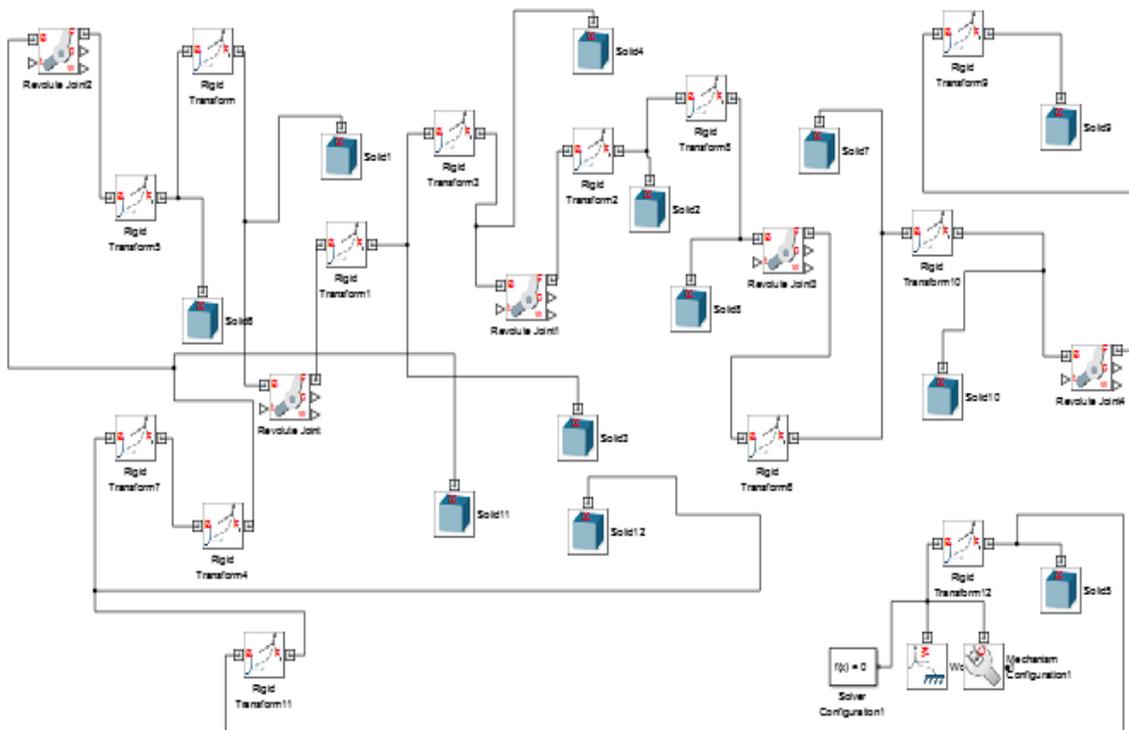


Рис. 4.5. Модель исполнительной кинематической цепи манипулятора

На рис. 4.6 представлена анимация модели обобщенной исполнитель-
тельной кинематической цепи манипулятора.

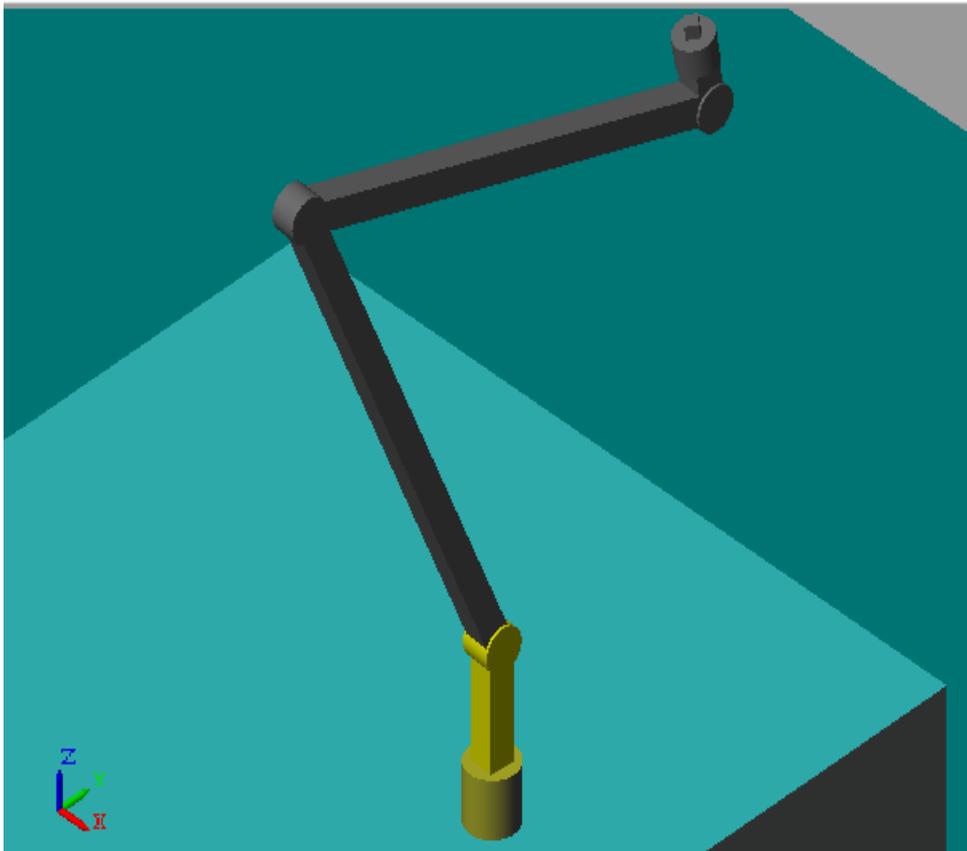


Рис. 4.6. Анимация модели исполнительной кинематической цепи манипулятора

В качестве рабочего органа манипуляторов выберем схват с плоскопараллельным движением губок, схема которого приведена на рис.4.7.

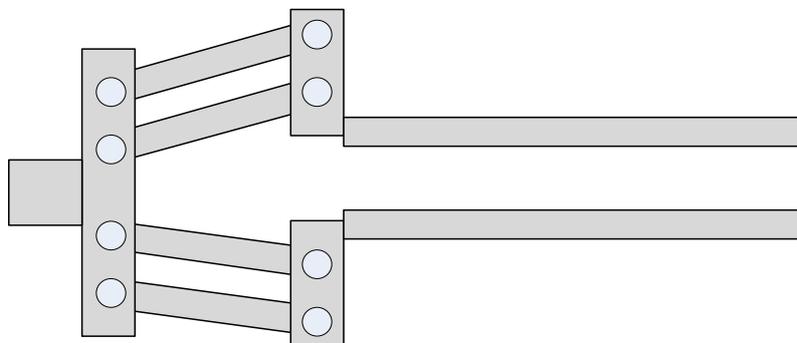


Рис. 4.7. Схема схвата

На рис. 4.8 представлена компьютерная модель механизма схвата, а на рис. 4.9 – ее анимация.

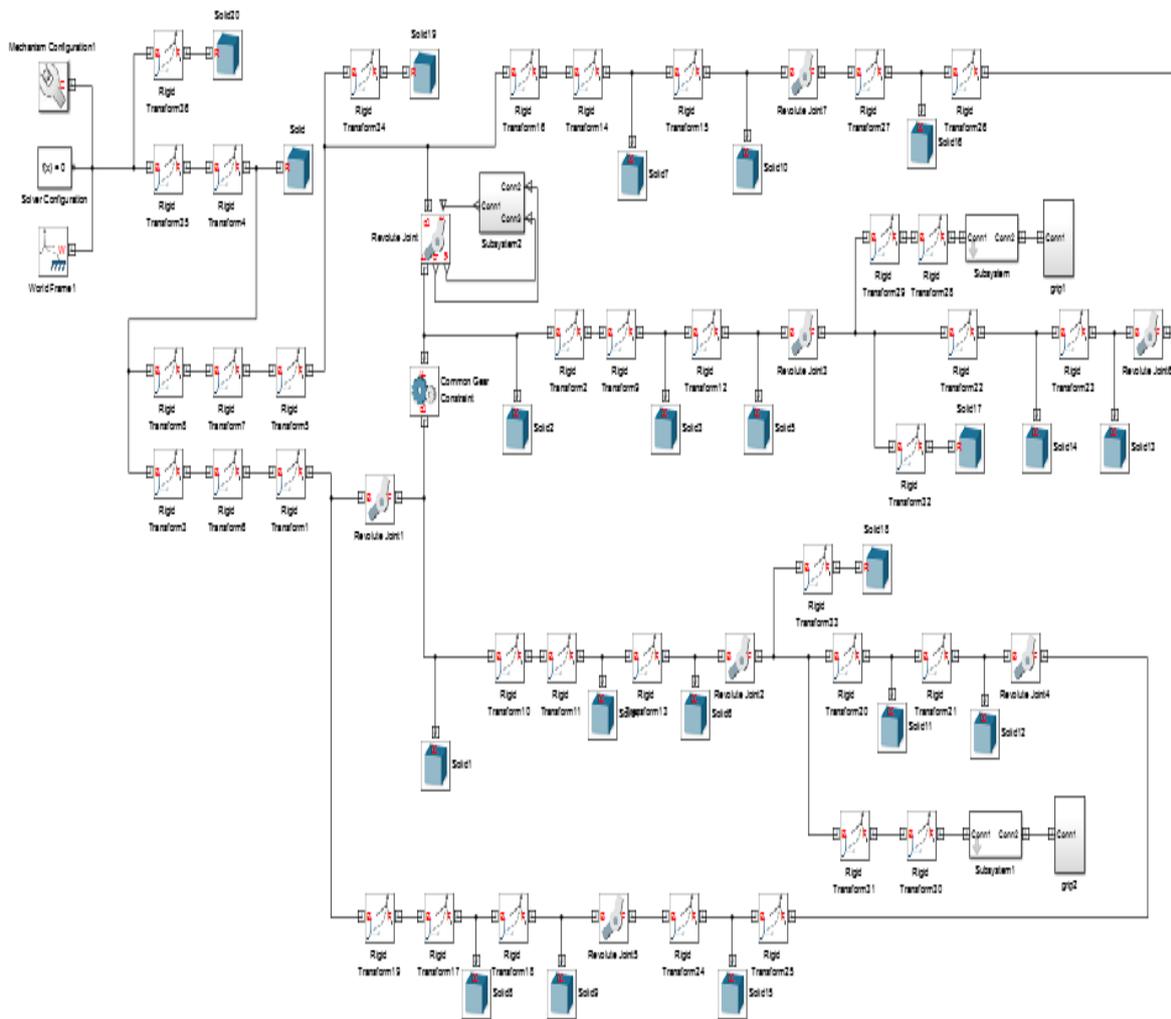


Рис. 4.8. Компьютерная модель механизма схвата

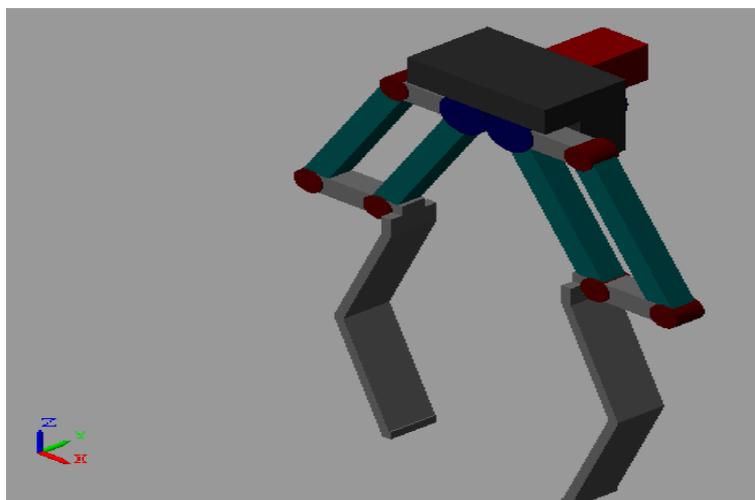


Рис. 4.9. Анимация модели механизма схвата

Процедура диагностирования объекта включает два этапа: проверку его работоспособности и поиск дефекта. Поэтому основной задачей технического диагностирования (ТД) является поддержание работоспособности объекта путем своевременного распознавания отказов и устранения причин их появления. По характеру взаимодействия объекта и технических средств можно выделить два метода ТД:

- функциональное диагностирование;
- тестовое диагностирование.

Первый метод основан на пассивном наблюдении за функционированием объекта и оценке его состояния по диагностическим признакам (например, уровень температуры, шумов или вибрации, величина потребляемой энергии, время выполнения цикла).

Второй метод предусматривает формирование специального воздействия, стимулирующего у объекта ответную реакцию, которая сравнивается с эталонной (активный эксперимент). Роль стимулирующего воздействия выполняют ступенчатые, импульсные, гармонические и другие сигналы.

В качестве диагностических показателей используются параметры динамических звеньев, коэффициенты уравнений, обобщенные параметры.

Типовой алгоритм системы поддержания работоспособности объекта (СПРО) имеет вид:

- сбор информации;
- оценка информации и выявление отклонений показателей от нормы;
- определение причины отклонения;
- принятие решения и выработка корректирующего воздействия (КВ);
- ввод КВ в систему с целью ликвидации отклонения.

Первые два этапа – операции контроля, третий – диагностирование.

Эксплуатируемый объект (система) подвержен как внезапным (случайным), так и постепенным (износ, старение) отказам. Если состояние объекта характеризовать обобщенным выходным параметром P_r , то в случае внезапного отказа P_r принимает лишь два значения: $P_r = P_n$ (норма) или $P_r = P_{от}$ (отказ) (рис. 4.10).



Рис. 4.10. Зоны работоспособности технической системы (объекта)

P_r – обобщенный показатель системы; $P_э$ – эталонное значение P_r ; $P_эр$ – то же в зоне риска; $P_пр$ – предельное значение P_r ; $P_от$ – значение P_r в зоне отказа.

В качестве параметра P_r используют различные технические характеристики: температуру, размер объекта, величину износа узла (или инструмента), сигнал конечного выключателя и т. п. В случае постепенных отказов можно реализовать мероприятия по предотвращению отказа, если вовремя зафиксирован переход параметра P_r от нормы в зону риска. В информационной структуре системы поддержания работоспособности объекта (рис. 4.11) можно выделить следующие подсистемы:

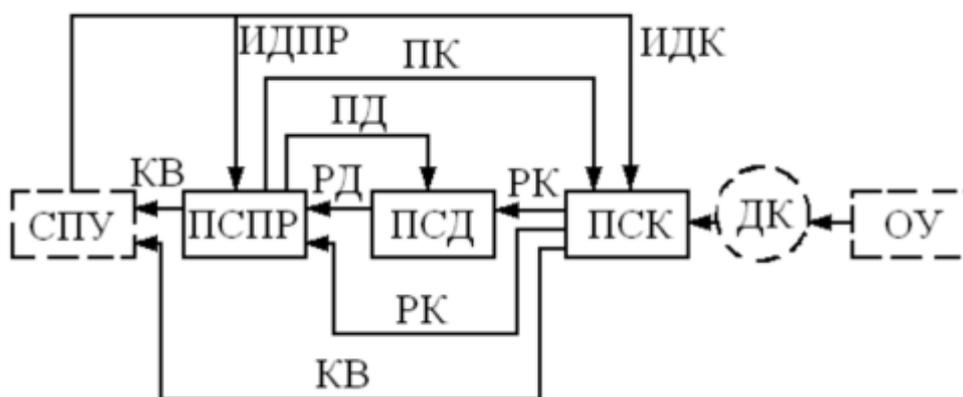


Рис. 4.11. Информационная структура системы поддержания работоспособности объекта

ПК, ПД - программы контроля и диагностирования, соответственно; РК, РД – результаты контроля и диагностирования; ИДК-исходные данные для контроля; ИДПР - исходные данные для принятия решений: контроля ПСК, диагностирования ПСД и принятия решений ПСПР.

Информация об объекте управления ОУ от датчиков контроля ДК поступает на вход ПСК, которая обрабатывает ее, рассчитывает значения обобщенного параметра P_r и сравнивает их с эталонным. По результатам сравнения ПСК формирует сигнал об отклонении P_r от нормы, который подается в зависимости от ситуации в систему программного управления СПУ или в ПСПР. В случае угрозы аварийной ситуации СПУ вырабатывает блокировочный сигнал останова системы для ремонта. При отсутствии угрозы аварии ПСПР вырабатывает корректирующее воздействие КВ, которое передается в СПУ для осуществления подналадки системы.

Средства диагностики технического оборудования служат для фиксирования и измерения величины диагностических признаков (параметров). Для этого применяют приборы, приспособления и стенды сообразно характеру диагностических признаков и методам диагностики. Значительное место среди них занимают электроизмерительные приборы (вольтметры, амперметры, осциллографы и др.). Они широко применяются как для непосредственного измерения электрических величин (например, при диагностике систем зажигания и электрооборудования автомобиля), так и для измерения неэлектрических процессов (колебаний, нагрева, давления), преобразованных при помощи соответствующих датчиков в электрические величины. Для этой цели электрические измерительные приборы снабжают датчиками. При диагностике механизмов наиболее часто используют: датчики сопротивления, концевые, индукционные, оптические и фотоэлектрические датчики, при помощи которых можно измерять зазоры, люфты, относительные перемещения, скорость и частоту вращения проверяемых деталей; термосопротивления, термопары и биметаллические пластины для изме-

рения теплового состояния деталей; пьезоэлектрические и тензометрические датчики для замера колебательных процессов давления, биений, деформаций и др. Одно из положительных качеств электроизмерительных приборов - удобство получения информации, а также в перспективе возможность ее анализа при помощи счетно-решающих устройств. В зависимости от полноты и степени механизации технологических процессов диагностику можно проводить выборочно, только для контроля технического состояния отдельных сборочных единиц, или комплексно для проверки сложных агрегатов, таких как двигатель, и, наконец, комплексно для диагностики машины в целом. В первом случае используются для отдельных измерений такие диагностические приборы как стетоскопы, манометры, тахометры, вольтметры, амперметры, секундомеры, термометры и другие переносные приборы. Во втором случае приборы комбинируют в виде передвижных стендов, в третьем случае – ими комплектуют датчики и пульта управления стационарных стендов. Основными требованиями к средствам диагностики являются: обеспечение достаточной точности замеров, удобство и простота использования при минимальной затрате времени. Помимо различных приборов, индикаторов узкого назначения, в систему диагностических средств включают комплексы электронной аппаратуры. Эти комплексы могут состоять из датчиков – органов восприятия диагностических признаков, блоков измерительных приборов, блоков обработки информации в соответствии с заданными алгоритмами и, наконец, блоков хранения и выдачи информации в виде запоминающих устройств для преобразования информации в удобный для использования вид.

4.5. Испытания мехатронной системы металлорежущего станка

В качестве примера проведения испытаний мехатронных систем приведем фрагменты процесса испытаний вертикально фрезерного станка с ЧПУ, вид которого представлен на рис. 4.12.

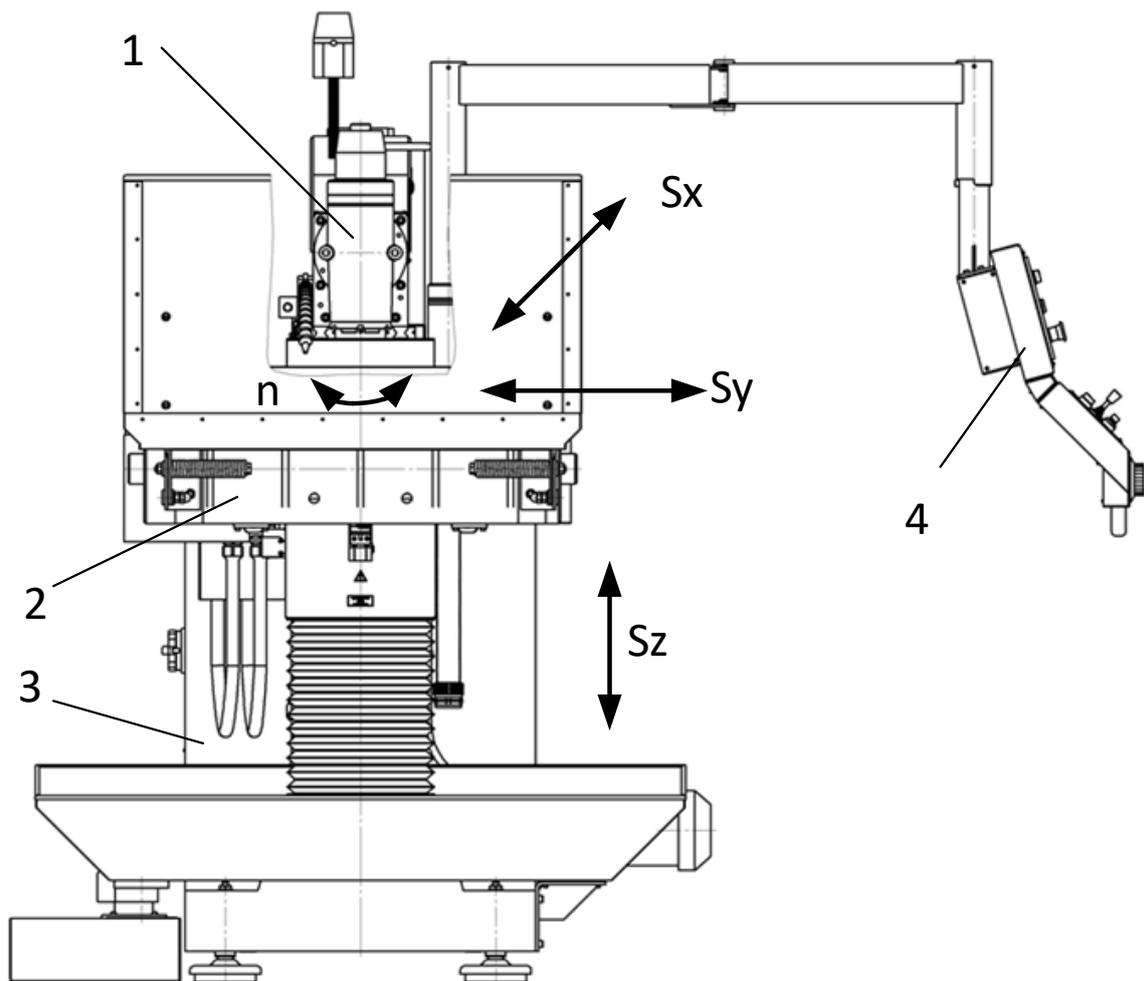


Рис. 4.12. Вид вертикально фрезерного станка с ЧПУ

Здесь обозначено: 1- шпиндельный узел; 2 – стол; 3 – станина; 4 – выносной пульт; n – частота вращения шпинделя; S_x - горизонтальное перемещение шпинделя; S_y – горизонтальное перемещение стола; S_z – вертикальное перемещение стола.

Испытание станка на холостом ходу

Проверку основных технических характеристик и испытание станка на холостом ходу проводится согласно таблице 4.2.

Таблица 4.2

Методы и результаты проверки

Что проверяется	Метод проверки	Результат проверки
1 Соответствие требованиям комплекта конструкторской документации	В процессе изготовления и приемки путем внешнего осмотра станка и его составных частей, сличения их с конструкторской документацией на станок и нормативно-техническими документами, указанными в документации и в настоящих технических условиях, и измерением размеров и других нормируемых параметров средствами и методами, обеспечивающими требуемую точность	Соответствие требованиям конструкторской документации на станок и нормативно-технической документации
2 Установка станка	Измерение проводить уровнем. Уровень рамный 200-0,02 устанавливать на середине стола параллельно и перпендикулярно его перемещению	Отклонение не более 0,04 мм/м
3 Разводка жгутов внутреннего монтажа	Внешним осмотром и сличением со схемой 49XXX.000.00.00.000ЭЗ и чертежом 49XXX.090.00.00.000СБ	Установка, закрепление, разводка и заделка соединений жгутов внутреннего и соединительного монтажа должны соответствовать требованиям схемы и чертежа
4 Наличие заземляющих винтов и знаков заземления по ГОСТ 21130	Визуально определить наличие заземляющих винтов и знаков заземления	Винты и знаки должны быть

<p>5 Наличие и исправность цепи заземления</p>	<p>Измерением сопротивления между шиной заземления, находящейся в электрошкафу 49XXX.061.00.00.000, и перечисленными ниже составными частями станка, на которых установлено электрооборудование и которые в результате пробоя изоляции могут оказаться под напряжением 42 В и выше:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1) суппортом; 2) станиной; 3) корпусом горизонтального шпинделя; 4) корпусом насоса центробежного; 5) корпусом гидростанции; 6) пультом управления. <p>Перед началом проверки провода, подключенные к миллиомметру, замкнуть накоротко и замерить их собственное сопротивление. Полученную величину собственного сопротивления при определении результата вычитать из замеренного. Измерение проводить миллиомметром Е6-18</p>	<p>Сопротивление не должно превышать 0,1 Ом для каждой проверяемой точки</p>
<p>6 Основные</p>	<p>Измерением:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1) штангенциркулем ШЦ Ш-400-01 – по п.п. 2, 4, 14, 16 и 26 таблицы 1.1; 2) штангенциркулем ШЦ Ш-800-01 – по п.п. 3, 5 и 14 таблицы 1.1; 3) линейкой 1000 – по п.п. 12, 13, 21 и 22 таблицы 1.1; 4) рулеткой ЗПК-2-5-АНП/1 – по п. 27 таблицы 1.1; 5) динамометром ДОСМ-3-2 – по п.п. 28 и 29 таблицы 1.1 	<p>Соответствие данным, указанным в настоящих технических условиях</p>
<p>7 Работа системы смазки</p>	<p>Наблюдением во время обкатки</p>	<p>Все точки смазки должны обеспечивать хороший доступ масла к смазываемым местам. Утечки не допускаются</p>

<p>8 Работа системы охлаждения</p>	<p>Наблюдением во время обкатки</p>	<p>Равномерная подача Течь из соединений не допускается</p>
<p>9 Работа органов управления</p>	<p>Пятикратным включением, переключением органов управления (кнопок, рукояток, переключателей и т.д.) на пульте станка</p>	<p>Утапливание кнопок, их возврат в исходное заданное положение переключателей должны осуществляться без заеданий и задержек, не должна происходить задержка в нажатом положении кнопок, не имеющих фиксации в этом положении</p>
<p>10 Соответствие действия органов управления символам, надписям и назначению</p>	<p>Включением, выключением и переключением органами управления всех движений и состояний станка</p>	<p>Действие органов управления должно соответствовать заданному движению подвижных органов или состоянию станка</p>
<p>11 Проверка частоты вращения шпинделя</p>	<p>В патроне шпинделя станка зажать оправку с центровым отверстием для измерения частоты вращения тахометром часовым специальным ТЧ-10-р. Сравнить показания тахометра с заданными потенциометром величинами частоты вращения в шести произвольных положениях, охватив весь диапазон регулирования</p>	<p>Допустимое отклонение частоты вращения шпинделя – не более 6 % (диапазон регулирования частоты вращения см п.п. 19 и 24 таблицы 1.1)</p>

<p>12 Проверка величин подач горизонтального и вертикального столов и корпуса горизонтального шпинделя</p>	<p>Включением перемещения горизонтального и вертикального столов и корпуса горизонтального шпинделя с заданными потенциометром величинами подач в шести произвольных положениях, охватив весь диапазон регулирования. Измерением секундомером СОПпр-2а-000 и линейкой 1000</p>	<p>Допустимое отклонение величин подач – не более 5 % (диапазон регулирования величин подач см. п.п. 15 и 17 таблицы 1.1)</p>
<p>13 Плавность, отсутствие рывков при перемещении столов и корпуса горизонтального шпинделя</p>	<p>Включением перемещения горизонтального и вертикального столов и корпуса горизонтального шпинделя</p>	<p>Перемещение столов и бабки горизонтального шпинделя должно быть плавным</p>
<p>14 Нагрев подшипников шпинделей</p>	<p>Измерением температуры вольтметром универсальным цифровым В7-27 в зоне передних подшипников шпинделя. Проверка проводится во время обкатки станка на холостом ходу не менее 30 минут на максимальных частотах вращения шпинделя при установившейся температуре</p>	<p>Избыточная температура на наружной поверхности бабки горизонтального шпинделя и корпусе головки вертикальной не должна превышать 55 °С</p>
<p>15 Напряжение радиопомех</p>	<p>По ГОСТ Р 51318.11 и ГОСТ Р 51320 измерителем радиопомех SMV 6,5 класса 1,0 фирмы RFT (Германия)</p>	<p>Не должно превышать значений п. 1.2.1</p>
<p>16 Электрическая прочность изоляции силовых цепей</p>	<p>Проверку проводить до начала отладочных работ с помощью универсальной пробойной установки УПУ-1М (или аналогичной, мощностью не менее 500 ВА) в следующей последовательности: 1) убедиться в наличии надежного заземления корпуса электрошкафа; 2) отключить кабель питающей электросети от вводных клемм ХТ1;</p>	<p>Пробоя и поверхностного перекрытия изоляции не должно быть. Положительные результаты испытания занести в соответствующие графы «Свидетельства о выходном контроле электрооборудования»</p>

<p>17 Сопротивление изоляции</p>	<p>3) соединить перемычками провода А, В и С на вводных клеммах ХТ1; 4) отключить силовые провода и разъемы управления от блоков питания и преобразователей приводов подач и шпинделя и все разъемы от УЧПУ; 5) отключить провода от двигателей насосов СОЖ и гидростанции; 6) отключить RS-фильтры от двигателей СОЖ и гидростанции; 7) отключить провода от трансформатора TV1; 8) установить перемычки на силовых контактах пускателей и включить автоматические выключатели; 9) подключить испытательное напряжение между корпусом электрошкафа и проводом А на вводной клемме ХТ1.</p> <p>С помощью универсальной пробойной установки постепенно поднимать напряжение, начиная с нуля, до 1500 В. Выдержать изоляцию при этом напряжении в течении 1 мин, а затем плавно снизить до нуля.</p> <p>Отключить установку.</p> <p>При положительном результате испытания восстановить схему, при отрицательном – отыскать место пробоя, устранить неисправность и повторить испытание.</p> <p>Аналогично проверить кабели двигателей</p> <p>Измерением мегаомметром М4100/3 при напряжении 500 В. Считывание показаний проводить при установившейся стрелки прибора.</p> <p>Измерение проводить в следующей последовательности:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1) подготовить схему по п. 16; 2) установить перемычки в зажимах цепей управления (ХТ4, ХТ8); 	<p>Не менее 1 МОм</p> <p>Положительные результаты испытания занести в соответствующие графы «Свидетельства о выходном контроле электрооборудования»</p>
----------------------------------	--	---

	<p>3) отключить общие провода (1, 2, 10) от шины заземления;</p> <p>4) замерить сопротивление изоляции), подключая выводы мегомметра:</p> <ul style="list-style-type: none"> – между зажимами силовых цепей и шиной заземления шкафа; – между зажимами цепей управления и шиной заземления шкафа; – между зажимами силовых цепей и зажимами цепей управления. <p>При положительном результате испытания восстановить схему, при отрицательном – отыскать место пробоя, устранить неисправность и повторить испытание.</p>	
18 Наличие специального замка с вынимающимся ключом и предупреждающего знака на двери электрошкафа	Визуально определить наличие замка и знака	Замок и знак должны быть
19 Надежность действия защитных устройств и блокировок	<p>1) Останов станка в аварийных ситуациях:</p> <ul style="list-style-type: none"> – действие аварийной кнопки «Стоп»; – действие аварийного ограничения хода; – авария преобразователей; – перегрузка электродвигателей; – визуальная проверка токов уставки автоматических выключателей. <p>2) Блокировка запуска цикла, если оси не отреферированы.</p> <p>3) Блокировка вращения шпинделя, если инструмент не зажат.</p>	<p>Станок останавливается, самозапуск станка после восстановления не происходит, на экране</p> <ul style="list-style-type: none"> – соответствующее сообщение. <p>Не действуют кнопки ускоренной подачи и запуска цикла.</p> <p>Разжатый шпиндель не запускается, разжим не действует при вращении шпинделя.</p>

Испытание станка под нагрузкой должно соответствовать таблице 4.3.

Таблица 4.3

Что проверяется	Метод проверки	Результат проверки
1 Испытание станка под нагрузкой	<p>При нагрузке станка образца-изделия в соответствии с режимами, указанными в таблице 4.3, горизонтальными и вертикальными шпинделями.</p> <p>Контроль частоты вращения шпинделя проводится тахометром часовым специальным ТЧ-10-р.</p> <p>Измерение момента проводится персональным компьютером, используя программу «COMBIVIS 5»</p>	<p>Безотказность работы</p> <p>Уменьшение частоты вращения шпинделя под максимальной нагрузкой должно быть не более 10 %.</p> <p>При этом момент на электродвигателе шпинделя не должен превышать его номинального значения</p>
2 Октавные и скорректированный уровни звуковой мощности (L_p ; L_{pA}), уровень звукового давления (L), уровень звука и эквивалентный уровень звука (L_A)	<p>Точным импульсным шумомером 00024 по методике согласно ГОСТ Р 51402 и ГОСТ ИСО 230-5 при работе станка на типовых режимах в соответствии с таблицей 4.3</p>	<p>Не должны превышать значений, указанных в таблице</p>
3 Уровни вибрации на рабочем месте	<p>По ГОСТ 12.1.012. Проверяются акустическим комплексом ВШВ-003 при работе станка на типовых режимах, приведенных в таблице 4.3</p>	<p>Не должны превышать значений, указанных в таблице</p>

Примечание: 1. Работа станка при силовом испытании должна продолжаться каждым шпинделем не менее 30 мин.

2. При силовых испытаниях режимы резания обеспечивают максимальную нагрузку привода.

Проверка точности станка (некоторые показатели).

Общие требования к условиям испытания станка на точность, методам и средствам измерения точности должны соответствовать ГОСТ 8 и ГОСТ 26016, схемы и способы измерений геометрических параметров – ГОСТ 22267.

Плоскостность рабочей поверхности стола:

- 1) горизонтального;
- 2) вертикального.

Средства измерения: линейка поверочная специальная, головка 2 ИГ.

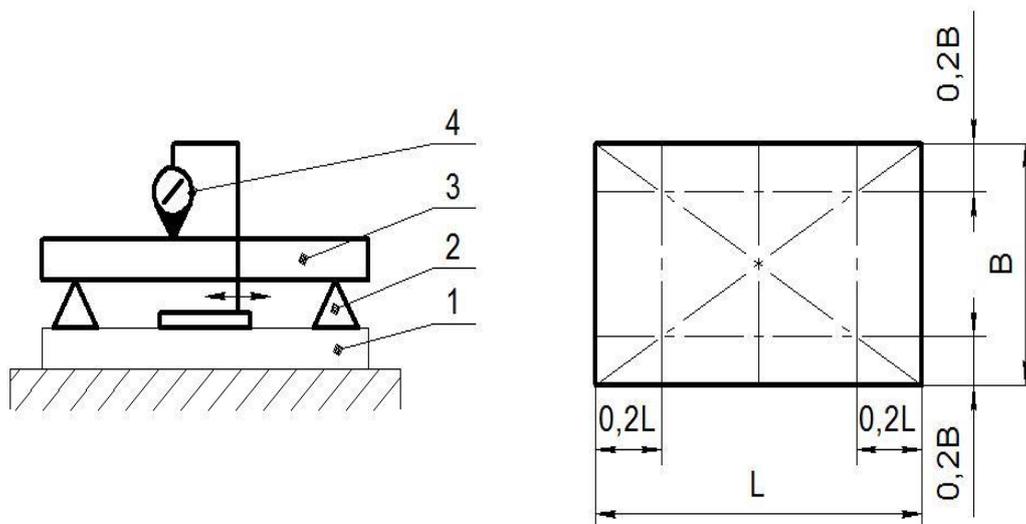


Рис. 4.13. Схема измерения

Допуск: 1) 16 мкм на длине 600 мм; 2) 20 мкм. Выпуклость не допускается.

Проведение измерения

На проверяемую поверхность стола 1 в двух точках заданного сечения установить две опоры 2, на которые рабочей поверхностью положить поверочную линейку 3 так, чтобы расстояние от проверяемой поверхности до рабочей поверхности линейки у ее концов были равны.

Головку 4 установить на проверяемую поверхность так, чтобы ее измерительный наконечник касался рабочей поверхности линейки и был перпендикулярен ей. Головку перемещать по проверяемой поверхности вдоль линейки.

Измерения проводить в двух продольных, трех поперечных и двух диагональных сечениях. Отклонение от плоскостности равно наибольшей алгебраической разности показаний головки во всех сечениях.

Параллельность рабочей поверхности вертикального стола траектории его продольного и вертикального перемещений.

Средства измерения: линейка поверочная специальная, головка 2 ИГ.

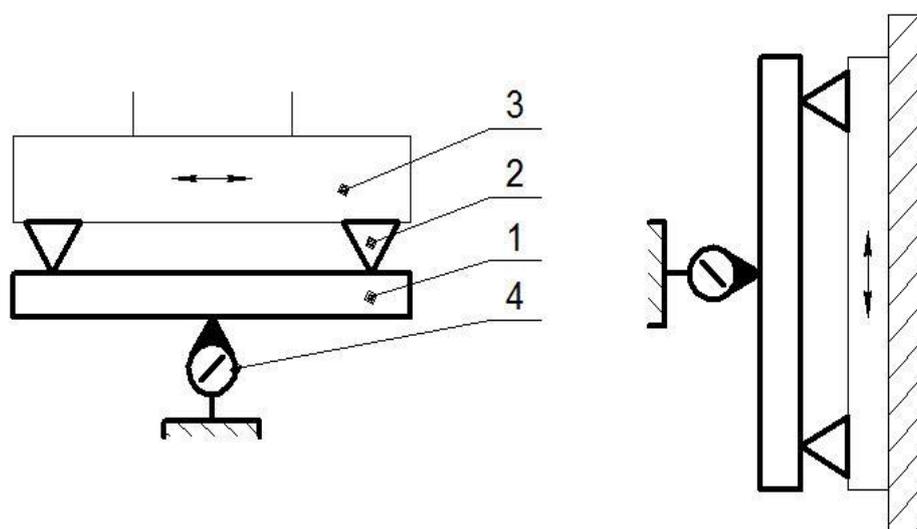


Рис. 4.14. Схема измерения

Допуск: 16 мкм на дине 400 мм. Наклон верхней кромки стола в сторону от станины не допускается.

Проведение измерения

Сушпорт установить в среднее положение в вертикальной плоскости при проверке параллельности траектории продольного перемещения, и вертикальный стол установить в среднее положение в горизонтальной плоскости при проверке параллельности траектории вертикального перемещения. Поверочную линейку 1 установить на опорах 2 на середине перемещаемого стола 3 вдоль направления его перемещения так, чтобы расстояние от плоскости стола до рабочей поверхности

линейки у ее концов были равны. Головку 4 установить на неподвижной части станка так, чтобы ее измерительный наконечник касался рабочей поверхности линейки и был перпендикулярен ей. Стол с линейкой перемещать на всю длину хода. Отклонение от параллельности проверяемой поверхности вертикального стола траектории его перемещения равно наибольшей алгебраической разности показаний на всей длине хода. В этом случае результаты измерения будут включать в себя отклонение от прямолинейности и параллельности траектории перемещения.

Параллельность рабочей поверхности горизонтального стола траектории его продольного перемещения

Средства измерения: линейка поверочная специальная, головка 2 ИГ.

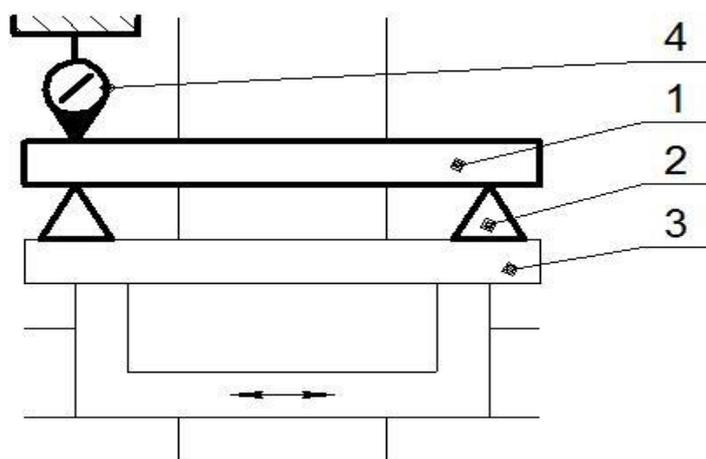


Рис. 4.15. Схема измерения

Допуск: 16 мкм на дине 400 мм.

Проведение измерения

Суппорт установить в среднее положение в вертикальной плоскости.

Поверочную линейку 1 установить на опорах 2 на середине перемещаемого стола 3 вдоль направления его перемещения так, чтобы расстояния от плоскости стола до рабочей поверхности линейки у ее концов были равны. Головку 4 установить на неподвижной части станка так, чтобы ее измерительный наконечник касался рабочей поверхности линейки и был перпендикулярен ей. Стол с линейкой перемещать на

заданную длину хода. Отклонение от параллельности проверяемой поверхности горизонтального стола траектории его продольного перемещения равно наибольшей алгебраической разности показаний головки на всей длине хода. В этом случае результаты измерения будут включать в себя отклонение от прямолинейности и параллельности траектории перемещения.

Параллельность рабочей поверхности горизонтального стола траектории перемещения корпуса горизонтального шпинделя

Средства измерения: линейка поверочная ЛЧ-0-320, головка 2 ИГ.

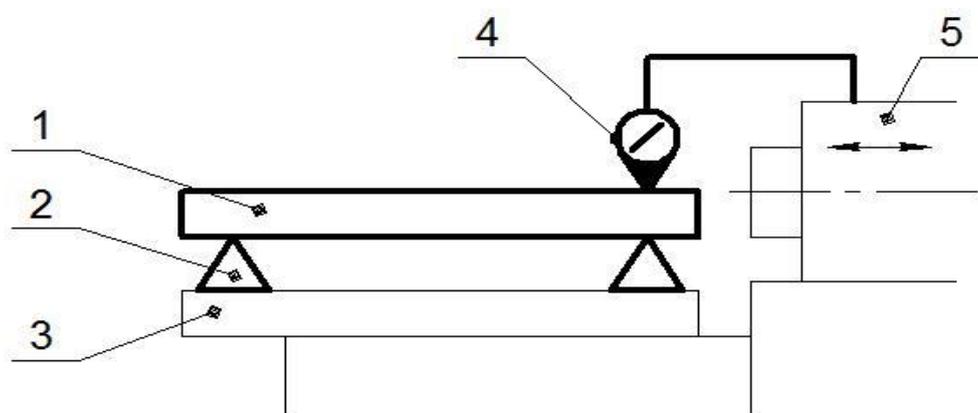


Рис. 4.16. Схема измерения

Допуск: 12 мкм. Наклон верхней кромки стола в сторону от станины не допускается.

Проведение измерения

Горизонтальный стол установить в среднее положение в вертикальной и горизонтальной плоскостях. Поверочную линейку 1 установить на опорах 2 на проверяемую поверхность горизонтального стола 3 вдоль направления перемещения корпуса горизонтального шпинделя так, чтобы расстояния от плоскости стола до рабочей поверхности линейки у ее концов были равны. Головку 4 установить на корпус горизонтального шпинделя 5 так, чтобы ее измерительный наконечник касался рабочей поверхности линейки и был перпендикулярен ей.

Корпус горизонтального шпинделя перемещать на всю длину хода. Отклонение от параллельности проверяемой поверхности горизонтального стола траектории перемещения корпуса горизонтального

шпинделя равно наибольшей алгебраической разности показаний головки на длине хода. В этом случае результаты измерения будут включать в себя отклонение от прямолинейности и параллельности траектории перемещения.

Параллельность боковых сторон направляющего паза вертикального стола и горизонтального стола траектории продольного перемещения

Средства измерения: индикатор мод. V253 фирма «TESA» (Швейцария), цена деления 2 мкм.

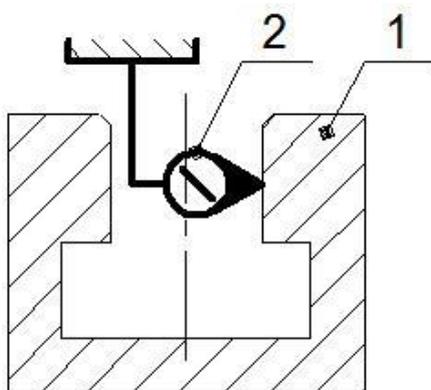


Рис. 4.17. Схема измерения

Допуск: 16 мкм на длине 400 мм.

Проведение измерения

Индикатор 2 установить на корпусе горизонтального шпинделя так, чтобы его измерительный наконечник касался проверяемой поверхности. Стол 1 перемещают на заданную длину. Параллельность измеряют по обеим боковым сторонам направляющего паза стола. Отклонение от параллельности траектории перемещения равно наибольшей алгебраической разности показаний индикатора на всей длине перемещения. Примечание. Для вертикального стола допускается проверять только нижнюю сторону паза.

Радиальное биение конического отверстия шпинделя:

1) горизонтального:

- у торца шпинделя;
- на длине 150 мм от торца шпинделя;

2) вертикального:

- у торца шпинделя;
- на длине 150 мм от торца шпинделя.

Средства измерения: головка 1 ИГ, оправка специальная контрольная цилиндрическая с радиальным биением не более 0,001 мм.

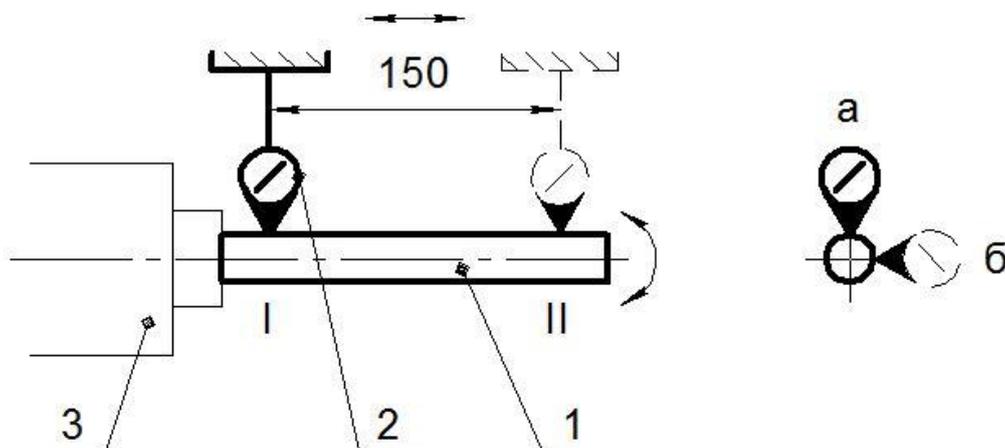


Рис. 4.18. Схема измерения

Допуск: 1) 6 мкм – 10 мкм; 2) 6 мкм – 10 мкм.

Проведение измерения

В коническое отверстие шпинделя 3 установить контрольную оправку 1. Головку 2 установить на неподвижной части станка так, чтобы ее измерительный наконечник касался образующей контрольной оправки и был перпендикулярен ее оси. При измерении шпиндель поворачивать не менее чем на два оборота. Для исключения из результатов измерения влияния неправильной посадки хвостовика контрольной оправки в отверстии шпинделя измерения в сечениях I и II проводить четыре раза. После каждого измерения оправку поворачивать вокруг оси вращения на 90° . При каждом измерении фиксировать показания головки с плоскостью а и б, по которым определяют наибольшую алгебраическую разность.

Вопросы для самопроверки

1. Назовите виды испытаний промышленных роботов.
2. Какие требования предъявляются к условиям проведения испытаний промышленных роботов?

3. Какие параметры измеряются при проведении испытаний промышленных роботов?

4. Какие параметры измеряются при проведении испытаний мехатронных систем?

5. Какие средства измерения используются при проведении испытаний роботов и мехатронных систем?

6. Как проверяют погрешность позиционирования робота?

7. Как проверяют жесткость конструкции робота?

8. Как проверяют грузоподъемность робота?

9. Как проверяют быстродействие робота?

10. Как проверяют проходимость мобильных роботов?

11. Как оценивается неравномерность движения узлов робота?

12. Как измеряются динамические характеристики робота?

13. Назовите особенности испытаний мехатронных систем.

14. Чем обусловлены ошибки в мехатронных модулях движения?

15. Назовите методы определения ошибок мехатронного модуля движения.

16. Назовите методы диагностирования мехатронных и робототехнических систем.

17. Какова роль моделирования в диагностике мехатронных и робототехнических систем?

18. Приведите структурную схему модели исполнительной системы робота.

19. Назовите основную задачу технического диагностирования.

20. Приведите информационную структуру системы поддержания работоспособности объекта.

21. Какие датчики используются при диагностировании механизмов?

22. Назовите зоны работоспособности диагностируемой системы.

23. Приведите пример схемы определения параметра точности металлорежущего станка.

Глава 5. ЭКСПЛУАТАЦИЯ РОБОТОТЕХНИЧЕСКИХ И МЕХАТРОННЫХ СИСТЕМ

5.1. Эксплуатация роботов в производственных системах

Промышленные роботы могут быть эффективно применены в условиях производства с различной серийностью для автоматизации вспомогательных и основных технологических операций.

Массовое производство с постоянным объектом выпуска предполагает применение высокопроизводительного специального основного технологического оборудования, объединенного автоматическими транспортно-загрузочными механизмами периодического действия, что в комплексе представляет собой автоматические линии. При создании таких линий стремятся обеспечить минимальный цикл работы. Жесткие автоматические линии отличаются высокой производительностью и широко применяются в подшипниковой промышленности, автомобилестроении, тракторном и сельскохозяйственном машиностроении, производстве изделий бытовой техники и т. д. Так как эти линии нельзя использовать при смене объекта производства, то они должны окупаться за период эксплуатации. Главные требования, предъявляемые к основному и вспомогательному оборудованию, - высокая производительность и надежность при длительной эксплуатации и высокий уровень автоматизации выполняемых операций. Надежность и ресурс основного технологического оборудования, вспомогательных устройств и средств автоматизации ограничены сроком выпуска массовой продукции. Средства автоматизации не обязательно должны быть переналаживаемыми и функционально взаимозаменяемыми, что определяет сравнительную простоту их конструкций.

Однако и в массовом производстве возрастающие темпы технического прогресса обуславливают сравнительно частое изменение конструкций и свойств выпускаемых изделий, что, в свою очередь, вызывает необходимость в переналадке или изменении структуры действующей автоматической линии, замене оборудования и средств автоматизации и т. д. Таким образом, срок эксплуатации жесткой автомати-

ческой линии, ориентированной на выпуск конкретной продукции, сокращается. Это вызывает необходимость широкого применения ПР в массовом производстве.

Применение ПР различного функционального назначения позволяет быстро комплектовать комплексные автоматические линии, в состав которых входит разнородное технологическое оборудование, исключает необходимость создания в каждом конкретном случае специальных транспортных средств, позволяет быстро переналаживать автоматические линии, а также комплектовать и пускать их в эксплуатацию в более сжатые сроки.

Крупносерийное производство характеризуется ограниченным сроком морального старения выпускаемого изделия. Подготовка такого производства должна осуществляться в короткие сроки, так как выпускаемая продукция изготавливается в течение ограниченного времени. Основные требования, предъявляемые к основному и вспомогательному оборудованию, - высокая производительность, надежность, переналаживаемость и возможность перекомпоновки сравнительно легкими способами. Снижение стоимости подготовки производства и себестоимости продукции прямо зависит от соблюдения этих условий.

Перечисленным требованиям вполне удовлетворяет автоматическое и полуавтоматическое обрабатывающее оборудование (прежде всего агрегатные станки и станки с ЧПУ), которое с помощью ПР можно объединить в автоматические линии с гибкой связью. Объединение ПР с высокоавтоматизированным оборудованием в предметные робототехнические комплексы позволит решить задачу создания комплексно-автоматизированных участков и линий с гибкой связью, обеспечить их переналадку, а при необходимости - изменение структуры и переукомплектование.

Среднесерийное многономенклатурное производство характеризуется частой сменой и повторяемостью партий выпускаемых изделий, а также небольшой длительностью выпуска деталей одного типа (от двух-трех смен до нескольких недель). Проблема комплексной автоматизации среднесерийного многономенклатурного производства наибо-

лее эффективно может быть решена на основе создания типовых роботизированных комплексов (РК) различного технологического назначения, в которых ПР осуществляет единичное или групповое обслуживание оборудования (роботизированных позиций). Такие РК должны обеспечивать выполнение наиболее распространенных в машиностроении операций, включая заготовительные и сборочные. Конструктивно-технологические параметры РК должны быть таковы, чтобы можно было объединять их в гибкие производственные системы, построенные на основе методов групповой технологии. Разработка типовых РК для обработки наиболее распространенных деталей машиностроения и выполнения широкой номенклатуры операций позволяет комплектовать автоматизированные участки производства и автоматические линии различных типов, создавая сложные производственные системы, дифференцированные по назначению, составу выполняемых операций и уровню автоматизации процессов обработки и управления.

Мелкосерийное производство, требующее переналадки за время смены, высоких производительности труда и степени автоматизации производственных процессов, находится в настоящее время на наиболее низком уровне. Повышение технико-экономических показателей этого производства предполагается путем широкого применения оборудования с ЧПУ, которое должно быть объединено в участки либо по функциональному признаку (однородные станки), либо по технологическому принципу (обеспечение последовательного технологического маршрута обработки). Перспективно применение РК на основе многооперационных станков с ЧПУ с высоким уровнем концентрации и совмещения операций. Методы групповой технологии позволяют и в мелкосерийном производстве в ряде случаев организовать обработку укрупненных партий однотипных деталей. Основной структурной единицей автоматизированных гибких производственных систем и при мелкосерийном производстве должны стать РК оборудование - робот, программируемые по первой детали методом обучения; такое решение обеспечит рентабельность обработки деталей с партией запуска 5-10 шт.

Структура. Понятие роботизированная технологическая система (РТС) распространяется на все структурные производственные подразделения, в состав которых в качестве средств автоматизации входят ПР, в том числе на роботизированные комплексы, участки, линии и цехи. Роботизированный комплекс (РК) является основной структурной единицей РТС любой сложности. РК - автономно действующая совокупность технологических средств производства, включающая набор основного технологического и вспомогательного оборудования (в том числе один или несколько ПР, которые выполняют технологические или вспомогательные операции) и обеспечивающая полностью автоматизированный цикл работы внутри комплекса и связь его с входными и выходными потоками остального производства. Необходимо различать роботизированные технологические комплексы (РТК), где ПР выполняет вспомогательные операции типа "взять - перенести - положить", и роботизированные производственные комплексы (РПК), где ПР выполняет основные операции технологического процесса (сборку, сварку, окраску и т. п.). РК может быть образован на основе одного ПР, обеспечивающего индивидуальное или групповое обслуживание состыкованного с ним оборудования или законченный цикл обработки изделия (например, сварки) на одной роботизированной позиции, а также на базе нескольких ПР, выполняющих взаимосвязанные или взаимно дополняющие операции.

Создание гибких производственных систем с применением ПР требует решения комплекса задач, связанных с размещением оборудования и (если это требуется) его модернизации для стыковки с ПР, с выбором ПР и других транспортных средств, а также вспомогательных устройств, с выбором или разработкой средств контроля, информации и управления и т. п. Любая сложная производственная система представляет собой совокупность объектов, связанных причинно-следственной зависимостью так, что их функции, производимые ими действия и выполняемые над ними операции должны приводить к выпуску продукции определенного качества в надлежащем количестве и за установленное время. Оптимальная система отличается максимальной

производительностью при минимальных затратах. В условиях средне-серийного многономенклатурного производства оптимальными могут быть только гибкие производственные системы, обладающие свойством относительной адаптации - способностью приспосабливаться к изменениям внутри и вне системы, сохраняя при этом производительность, близкую к максимальной.

По структуре каждую производственную систему можно представить как совокупность основных компонентов.

Подсистема обработки (формообразования) деталей включает в себя серийные или специально разработанные модели основного технологического оборудования, целесообразность применения которых определяется требованиями конкретного производственного процесса, уровнем концентрации и совмещения операций и требуемой степенью автоматизации переходов обработки. В ряде случаев комплектуется ПР, выполняющими основные технологические операции.

Подсистема потока (транспортирования) деталей осуществляет складирование, внутрицеховое и межстаночное транспортирование деталей и заготовок, а также установку, снятие, переориентацию (если потребуется) и фиксацию деталей при обслуживании основного технологического оборудования.

В состав подсистемы потока деталей (заготовок) входят автоматизированные склады, роботы различных конструкций, конвейеры, тележки и другие средства автоматизации транспортно-складских операций. При выборе или разработке транспортных средств необходимо согласовывать их действия с общезаводскими и цеховыми средствами транспортирования заготовок, полуфабрикатов и готовых деталей; правильно выбирать тип и емкость накопительных устройств, комплектующих РК, а также способ ориентации, комплектации и фиксации заготовок (деталей) на начальной позиции РК.

Подсистема потока инструмента и приспособлений обеспечивает комплектацию, наладку, доставку и смену вспомогательной оснастки и приспособлений, формообразующего и измерительного инструмента в подсистемах обработки и контроля, а также захватных устройств и инструмента, для ПР. При создании автоматизированных

участков (линий) целесообразно устанавливать на всех РК унифицированные устройства (магазины), допускающие автоматическую смену и закрепление инструментов, приспособлений и захватных устройств (для ПР). Подача инструмента, приспособлений и захватных устройств может осуществляться общей подсистемой потока деталей. При этом становится возможным комплектовать запускаемую партию заготовок набором приспособлений и инструментов, необходимых для ее обработки. Установка инструментов в унифицированных по форме и размерам оправках (блоках) позволяет применять ПР, обслуживающие поток деталей, для выполнения операций смены инструмента на станках.

Подсистема контроля качества продукции предназначена для контроля производства с целью получения заданных показателей качества.

Подсистема управления и информации осуществляет управление и взаимосвязь между основным и вспомогательным оборудованием, транспортно-загрузочными устройствами и складом; контроль и диагностику работы оборудования, в том числе фиксацию отказов и простоев; сбор и распределение информации о местонахождении партий заготовок и деталей, а также о степени укомплектования оснасткой, приспособлениями, формообразующим и мерительным инструментом; расчет последовательности обработки партий деталей на станках; учет изделий, заготовок, полуфабрикатов, материалов, комплектующих изделий и узлов, а также оперативную оценку степени заполнения склада; выдачу информации диспетчеру и прочие операции, связанные с планированием, организацией производства и управлением другими подсистемами.

Вспомогательная подсистема поддерживает работоспособность сложной производственной системы в целом. В ее функции входят обеспечение энергопотока, уборка отходов производства, материальное обеспечение и т. д.

Перечисленные подсистемы взаимосвязаны, поэтому конкретное организационное и конструктивно-технологическое решение по одной из них предъявляет, как правило, определенные требования к остальным. Таким образом, создаются сложные производственные системы,

различающиеся назначением, сложностью структуры, степенью автоматизации основных и вспомогательных операций и управления, дифференцированные по уровню организации причинно-следственных зависимостей внутри подсистем и между ними.

Так как основная цель - экономия рабочей силы и повышение производительности труда, т. е. увеличение объема выпускаемой продукции, приходящейся на одного работника, то характер и степень автоматизации должны быть оправданы экономически и в то же время должна быть продемонстрирована возможность наращивания и совершенствования всего комплекса в целом.

При создании автоматизированных участков и производств для их постепенного превращения в оптимальные гибкие производственные системы, характеризующиеся постоянным снижением участия человека в их работе и управлении, необходимо обеспечить работоспособность и надежность; возможность стыковки оборудования различного технологического назначения и широкого варьирования транспортно-загрузочных схем; гибкость и возможность наращивания функций подсистемы управления и информации; обеспечение адаптации производственного комплекса к изменению условий производства; возможность совершенствования и расширения автоматизированного участка.

Применительно к структуре участка эти показатели могут быть обеспечены агрегатно-модульным построением его основных функциональных подсистем (обработки, транспортирования) и иерархической системой управления и информации. Необходимая гибкость транспортно-загрузочных схем может быть достигнута применением роботизированных комплексов, которые могут рассматриваться как основные структурные единицы при агрегатном построении автоматизированных участков.

Основой агрегатного построения, как известно, является наличие определенных структурных единиц, способных состыковываться между собой с помощью связующих звеньев. Применительно к участкам связующими звеньями таких единиц должны служить подсистема управления и информации, транспортно-складская система, система

автоматической переналадки (если она имеется). Связь между станком и ПР может носить индивидуальный характер ввиду возможного разнообразия обслуживаемого оборудования. Обеспечение индивидуальных связей внутри РК достигается применением ПР. Для возможности стыковки РК между собой требуется унификация их приемных позиций, транспортных тар, спутников, конструктивных элементов устройств непрерывного транспортирования, выходных элементов систем управления и информации.

Состав и структура РТС определяются содержанием производственного процесса, который формируется на основе следующих показателей: конструктивно-технологических параметров детали (или номенклатуры деталей); заданной годовой программы выпуска; состава технологического оборудования; организации подсистем обработки, потока деталей и инструмента, контроля качества продукции, управления и информации, а также вспомогательной подсистемы, включающей службы ремонта и техники безопасности. На рис. 5.1 показан характер внутренних связей между основными составляющими производственного процесса.

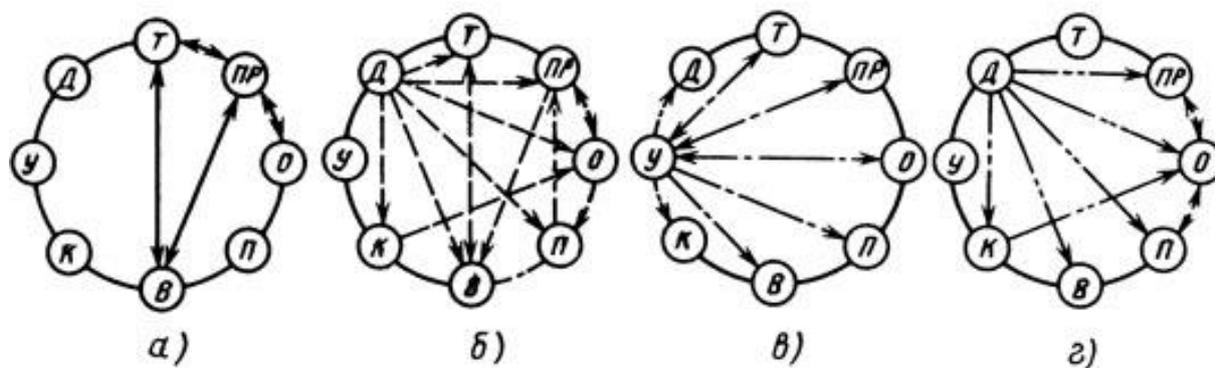


Рис. 5.1. Внутренние связи между основными составляющими элементами производственного процесса в роботизированной производственной системе: а - планировочные; б - конструктивные; в - информационные; г - технологические; О - технологическое оборудование; ПР - промышленный робот; Д - деталь; П - оснастка технологического оборудования (приспособления и устройства для базирования и закрепления детали); В - вспомогательное оборудование комплекса для подачи деталей и инструмента на загрузочные позиции, ориентации, отвода изделий и т. п (тары, ориентирующие магазины, роликовые конвейеры, питатели); К - средства контроля; У - средства управления; Т - входные и выходные транспортные связи комплекса

В зависимости от назначения РК, состава комплектующего оборудования и характера организации производства задачи, связанные с созданием комплексов, могут быть различными. На рис. 5.2 приведен пример организации РТК станок - робот.

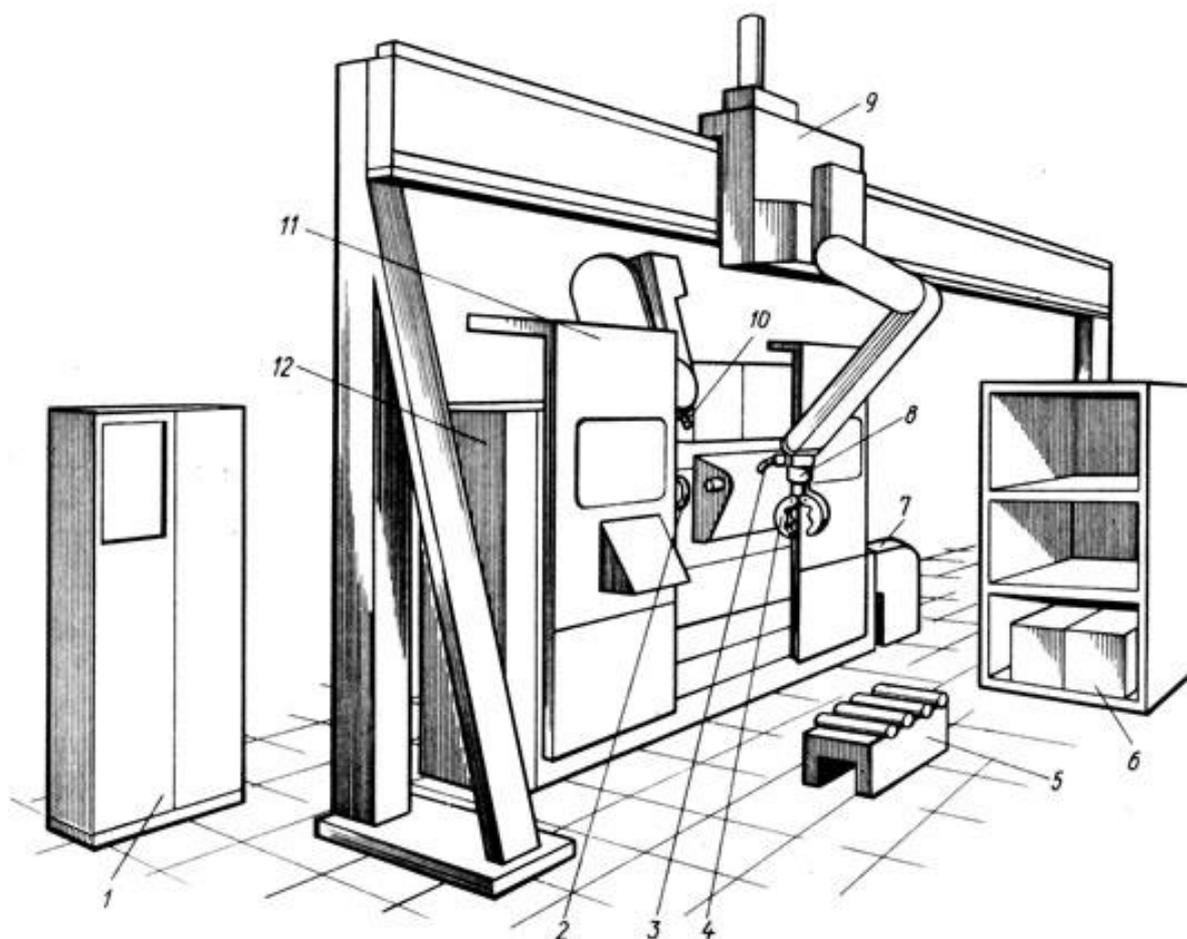


Рис. 5.2. Структура роботизированного технологического комплекса станок робот:
 1 - блок управления роботом и станком; 2 - автоматические зажимные и базирующие приспособления станка; 3 - устройство очистки баз деталей и зажимных приспособлений станка от грязи и стружки; 4 - захватное устройство робота, оснащенное средствами опознавания заготовок, контроля их размеров и правильности установки заготовок в рабочей зоне станка; 5 - переналаживаемые -ориентирующие магазины для деталей; 6 - ячейки автоматизированного склада; 7 - конвейер для уборки стружки; 8 - блок автоматической смены захватных устройств; 9 - робот; 10 - головка с режущим инструментом для автоматической смены инструмента, оснащенная устройствами дробления стружки, контроля затупления и поломки инструмента; 11 - автоматизированное ограждение рабочей зоны стенка; 12 – станок

Эффективное использование средств робототехники на промышленных предприятиях в значительной мере определяется четкой организацией эксплуатации ПР. Под эксплуатацией ПР понимают совокупность действий по транспортировке, хранению, подготовке и использованию по назначению ПР, а также их техническому обслуживанию и текущему ремонту.

5.2. Эксплуатация роботов в транспортно-накопительных системах автоматизированных производств

Эффективность производственной системы в целом определяется не только качеством технологического оборудования, но и качеством процессов (подсистем), обеспечивающих производство, в частности – производственной логистикой. Завод может быть оснащен совершенными станками, но несвоевременная доставка к станку заготовок, оснастки, инструмента приведет к срыву производственного задания и снижению эффективности производственной системы.

О роли производственной логистики говорят следующие данные: на крупных европейских производственных предприятиях, в среднем 87% производственного времени затрачивается на внутрицеховую логистику, в которой задействовано 25% производственного персонала и 55% производственных площадей. В 2018 году 17% европейский фабрик уже применяли системы автоматизации внутрицеховой логистики, а к 2023 году таких предприятий будет уже 35%. На текущий момент, наиболее распространенным принципом организации производства остается конвейерная сборка и роботизированные системы внутрицеховой логистики активно внедряются для обеспечения конвейера инструментом, заготовками, сборочными единицами и т.п. Но роботизированные системы внутрицеховой логистики позволяют реализовать и новые принципы организации и управления технологическими процессами – гибкие производственные системы. Именно роботизированные транспортно-накопительные системы позволяют осуществлять прием, накопление, транспортирование, выдачу заготовок, полуфабрикатов, инструмента, технологической оснастки и готовых изделий в ГПС для обеспечения ее наиболее эффективного функционирования.

К роботизированным транспортно-накопительным системам предъявляются следующие требования:

1. *Масштабируемость.* При загрузке производственного оборудования на 35% сразу внедрять логистическую систему, способную обеспечить 100% загрузку экономически не целесообразно. Вы получите еще одну производственную систему, у которой КИМ (коэффициент использования производственных мощностей) будет далек от идеального. Поэтому система должна позволять поэтапное наращивание производительности без существенного изменения топологии цеха и, желательно, без проведения капитальных строительно-монтажных работ.

2. *Логистическая система должна быть автоматической,* т.е. не требовать участия человека-оператора и перенастраиваться под производственные задания по командам от автоматизированных систем управления производством. Адаптация к конкретному технологическому процессу, или производственному оборудованию должна осуществляться заменой оснастки. В системе должны быть предусмотрены сценарии работы как в рамках регулярного технологического процесса, так и в рамках аварийных ситуаций. Т.е. при возникновении аварийной ситуации, система должна попытаться разрешить ее без остановки технологического процесса.

3. *Способность системы строить цифровую модель технологического процесса,* которая будет использоваться вышестоящими системами управления для формирования производственного плана.

Для автоматизации внутрицеховой логистики применяются различные технические решения – от безлюдных складов до транспортных роботов для автоматизации перемещения деталей, материалов, инструмента. Наиболее универсальным решением, обладающим достаточной гибкостью для встраивания в уже существующий технологический процесс, выступат транспортные роботы – мобильные роботы, предназначенные для перемещения на своей платформе физических объектов (определение по ГОСТ Р 60.0.0.2 – 2016). Транспортные роботы можно классифицировать по функциональности:

1. Роботы-тягачи – транспортные роботы, предназначенные для транспортировки различных грузов на тележках и оснащенные специальным зацепом (штоком) для автоматического сцепления с транспортируемой тележкой (рис.5.3)



Рис. 5.3. Роботы-тягачи на линии сборки автомобилей

2. Универсальные мобильные роботы – транспортные роботы, функциональность которых определяется установленной на них оснасткой. Могут оснащаться как роботом-манипулятором, так и различной подъемной, поворотной и подъемно-поворотной оснасткой, адаптированной под определенный технологический процесс (Рис.5.4).



Рис. 5.4. Универсальные мобильные роботы

Типичным представителем этой серии является универсальный мобильный робот M100, способный перевозить 75 кг (оснастка + груз) на платформе или тянуть тележку весом до 200 кг. Типичной оснасткой для данного робота выступает рольганг с электроприводом, позволяющий подавать, или снимать с конвейера различные грузы, но могут применяться и другие виды оснастки, вплоть до установки робота-манипулятора. Особенностью универсальных мобильных роботов Geek+ является навигация SLAM, позволяющая свободно перемещаться в сложной производственной среде и объезжать возникающие препятствия, например, выставленный на маршруте движения поддон.

3. Роботы-погрузчики. Как правило, представляют из себя стандартные форклицтеры и ричтраки, оснащенные автоматической системой управления, но представлены и моделями на специально разработанной мобильной платформе (Рис.5.5). Роботы-погрузчики серии CC представляют из себя стандартные самоходные погрузчики Linde, которые оснащаются системой лазерной навигации. Система управления позволяет роботам-погрузчикам работать в помещениях с людьми, перемещать паллеты и другие грузы, и размещать их на стеллажах с высокой точностью (+10 мм). В модельной линейке представлены как роботы - форклицтеры, так и роботы-ричтраки, грузоподъемностью до 2-х тонн и высотой подъема до 2,9 метра.

4.



Рис. 5.5. Робот-погрузчик

Компания Casun также производит робот-паллетоперевозчик СА-ВУ1000 на специально разработанной компактной мобильной платформе. Робот оснащен системами лазерной и инерциальной навигации и, несмотря на компактные размеры, сравнимые с ручной гидравлической тележкой, может транспортировать грузы на паллетах весом до 1000 кг.

4. Специализированные роботы – транспортные роботы, специально разработанные под определенный технологический процесс.

Любое производство уникально, поэтому, несмотря на широкую номенклатуру транспортных роботов, производимых серийно, существует потребность в роботах, специально разработанных под определенный технологический процесс. Компания Casun производит специализированные роботы для электронной промышленности (доставка компонентов на линии монтажа печатных плат), автомобильной промышленности (транспортный робот большой грузоподъемности для сборочной линии) и других отраслей промышленности. Для создания специальных транспортных роботов используется модульная платформа, хотя некоторые модели разрабатываются под задачу клиента с нуля. Нужно понимать, что транспортные роботы являются частью роботизированной системы, ее исполнительными устройствами, которая также включает в себя автоматизированную систему управления роботизированной системой (АСУ), подсистему передачи данных, станции заряда АКБ роботов, элементы системы позиционирования (магнитные ленты, QR-code, отражатели для лазерных датчиков).

Внутрицеховые склады являются неотъемлемой частью внутрицеховой логистики и служат для обеспечения производственного технологического процесса комплектующими, инструментом и оснасткой, а также хранения готовой продукции и незавершенного производства. Автоматические склады позволяют осуществлять адресное хранение и выдачу единиц хранения, обеспечивая высокую плотность хранения, скорость и точность загрузки/выгрузки и могут применяться для автоматизации инструментально-раздаточных кладовых, цеховых складов материалов, деталей и сборочных единиц, а также складов готовой продукции. Но важно не только компактно хранить и быстро находить нужную единицу хранения, но и своевременно доставлять ее к соответствующему технологическому оборудованию, поэтому воз-

возможность и способ интеграции автоматического склада с внутрицеховой транспортной системой является значимой характеристикой автоматического склада. На рис.5.6 представлен вид горизонтального карусельного склада.

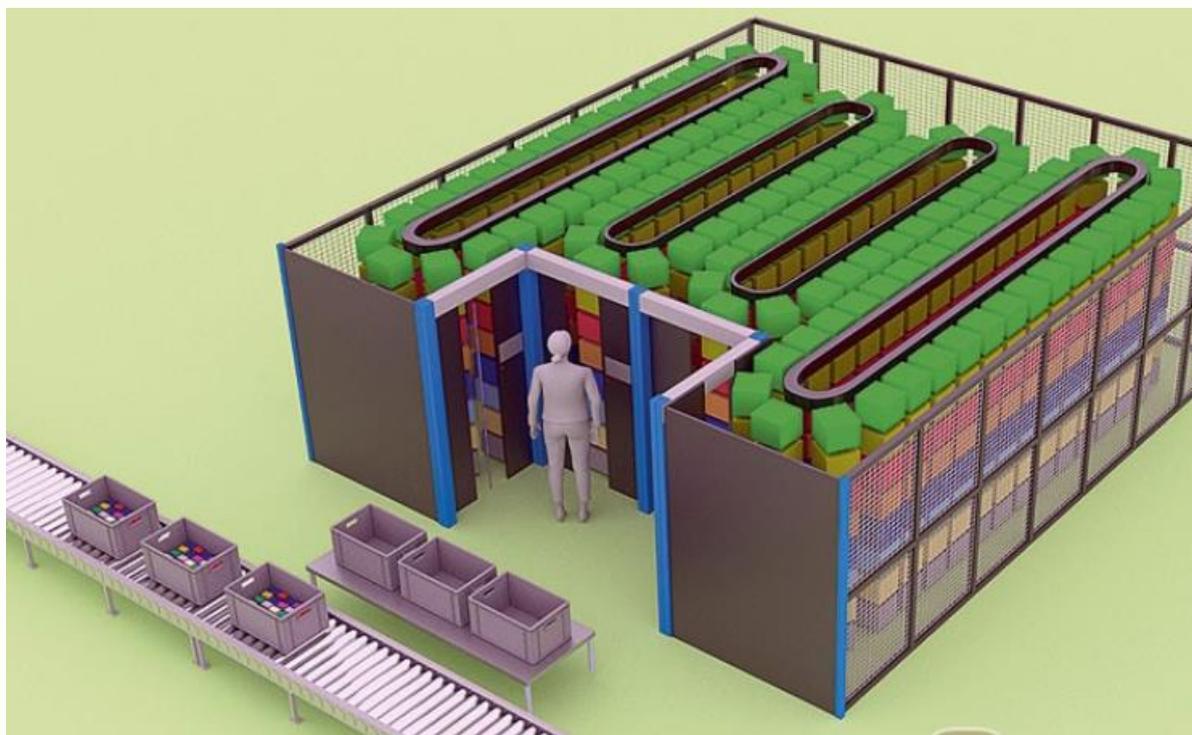


Рис. 5.6. Вид горизонтального карусельного склада

Карусельные системы предназначены для хранения и выдачи мелких единиц хранения – метизов, деталей, инструмента и оснастки и т.п. Хранение в таких системах осуществляется в пластиковых контейнерах, размещенных на полках (вертикальная карусель), либо в ячейках стеллажей (горизонтальная карусель). Полки/стеллажи, в свою очередь закреплены на карусельном механизме, перемещающем полку/стеллаж с нужной единицей хранения к окну выдачи, одновременно перемещая остальные полки/стеллажи, либо по вертикали (вертикальная карусель), либо по горизонтали (горизонтальная карусель). Автоматическая выгрузка единиц хранения в таких системах не предусмотрена, поэтому интеграция с внутрицеховой роботизированной транспортной системой затруднительна, но может осуществляться с участием человека, переключившего единицы хранения на транспортный робот.

Лифтовые системы предназначены для хранения и выдачи единиц хранения как в лотках, так и на паллетах и полках (длинномеры и плитные материалы). Единицы хранения размещаются и подаются к окну выдачи на полках стеллажей (несущие полки) с помощью экс-трактора - подъемного механизма (лифта), оснащенного специальными захватами для полок. В отличие от карусельных систем хранения нужная полка подается к окну выдачи без перемещения других полок. Лиф-товые системы получили широкое распространение на предприятиях машиностроения, для хранения металлических листов, труб, профиля. Хранение длинномеров и плитных материалов осуществляется в кас-сетах – специальных несущих полках. Некоторые модели лифтовых си-стем, предназначенных для хранения грузов на поддонах, или хранения плитных материалов, могут оснащаться автоматизированными систе-мами загрузки/выгрузки - таким образом, возможна интеграция лифто-вых систем с внутрицеховой роботизированной транспортной систе-мой.

Шаттл-системы предназначены для хранения и выдачи еди-ниц хранения в лотках, коробах или на паллетах. Лотки, или паллеты размещаются на стеллажах, а функцию их загрузки/выгрузки выпол-няют грузовые автоматические тележки – шаттлы. Шаттлы перемеща-ются по рельсам, закрепленным на стеллажной системе, а для за-грузки/выгрузки лотков (паллет) применяется специальный механизм, закрепленный на шаттле – экстрактор. Шаттл-системы обладают высо-кой эффективностью – шаттл оперирует одним поддоном, или лот-ком/коробом, в отличие от карусельных или лифтовых систем, опери-рующих полками, или целыми стеллажами, что не требует выполнять дополнительную операцию – отбор с полки/стеллажа нужного груза и обеспечивает хорошую возможность интеграции с транспортными ро-ботами. Кроме того, шаттлы перемещаются с высокой скоростью – до 5 м/с, обеспечивающую высокую производительность системы.

В качестве альтернативы лифтовым и карусельным система хра-нения может применяться **роботизированный склад**, широко приме-няемый для комплектации заказов на складах интернет-магазинов. В данном решении, хранение осуществляется в ячейках мобильных стел-лажей, а загрузка/выгрузка на станциях комплектации (Рис.5.7).



Рис. 5.7. Склад с роботом-штабелером

Перемещение стеллажей осуществляется мобильными роботами Р-серии. Конфигурация мобильных стеллажей позволяет организовать как мелкоячеестое хранение, так и хранение крупногабаритных грузов на поддонах. Грузоподъемность мобильных роботов – до 1000 кг. Интеграция с транспортной внутрицеховой системой, для грузов, размещаемых в ячейках стеллажей, осуществляется с участием человека, перекладывающего на станции комплектации грузы из ячеек стеллажей на транспортные роботы, а для грузов, размещаемых на поддонах, может осуществляться автоматическая интеграция.

Еще одним решением для организации роботизированного склада являются роботы-погрузчики, описанные в предыдущей статье, посвященной внутрицеховым роботизированным транспортным системам РТНС. Такие роботы могут применяться для размещения на хранение и выдачу с хранения крупногабаритных грузов как на поддонах, так и с применением других видов тары. Стоит отметить, что роботы, применяемые в составе роботизированного склада, могут выполнять и функцию внутрицехового транспорта, доставляя единицы хранения к основному технологическому оборудованию.

5.3. Техническое обслуживание мехатронных и робототехнических систем

Эффективное использование мехатронных и робототехнических в значительной мере определяется четкой организацией их эксплуатации. Под эксплуатацией понимают совокупность действий по транспортировке, хранению, подготовке и использованию по назначению технических средств, а также их техническому обслуживанию и текущему ремонту. Сегодня мехатронные модули и системы находят широкое применение в следующих областях:

- станкостроение и оборудование для автоматизации технологических процессов;
- робототехника (промышленная и специальная);
- авиационная, космическая и военная техника;
- автомобилестроение (например, антиблокировочные системы тормозов, системы стабилизации движения автомобиля и автоматической парковки);
- нетрадиционные транспортные средства (электровелосипеды, грузовые тележки, электророллеры, инвалидные коляски);
- офисная техника (например, копировальные и факсимильные аппараты);
- элементы вычислительной техники (например, принтеры, плоттеры, дисководы);
- медицинское оборудование (реабилитационное, клиническое, сервисное);
- бытовая техника (стиральные, швейные, посудомоечные и другие машины);
- микромашины (для медицины, биотехнологии, средств связи и телекоммуникации);
- контрольно-измерительные устройства и машины;
- фото- и видеотехника;
- тренажеры для подготовки пилотов и операторов;
- шоу-индустрия (системы звукового и светового оформления) и др.

Очевидно, что для каждой из перечисленных областей присущи свои специфические особенности эксплуатации мехатронных модулей и систем. В тоже время можно выделить некоторые общие положения

эксплуатации и обслуживания рассматриваемых мехатронных и робототехнических систем.

Техническое обслуживание (ТО) – это комплекс организационно-технических мероприятий, обеспечивающих поддержание исправности и работоспособности ПР при подготовке и использовании их по прямому назначению. ТО является одним из этапов технической эксплуатации, главная задача которого – поддержание надежности работы изделия. Эта задача решается путем выбора оптимальной периодичности профилактических работ и быстрого восстановления его работоспособности для обеспечения требуемой вероятности исправной работы в произвольный момент времени. Не менее важной задачей ТО является организация и проведение технических мероприятий, благодаря которым параметры и характеристики изделия в течение всего периода эксплуатации будут находиться в требуемых по техническим условиям (ТУ) пределах. Профилактические работы занимают особое место в системе ТО и направлены на предупреждение преждевременного изнашивания, повреждений и отказов. Отказы предупреждаются регулированием параметров элементов в пределах предусмотренного при проектировании диапазона, а также заменой элементов, у которых износ или рабочие характеристики близки к предельно допустимым. Конечная цель профилактики – окончательное исключение ремонта или выполнение его только при повреждениях, полученных в результате аварии.

При проведении профилактических работ с целью уточнения объема ремонта определяют техническое состояние ПР. Для этого производят контрольные замеры параметров и сравнение их с номинальными значениями, указанными в формуляре или в инструкции по эксплуатации. При несоответствии хотя бы одного из параметров номинальному значению ПР считается неисправным. В этом случае определяют причину неисправности и принимают меры для ее устранения. Объем планового ТО определяется при проектировании изделия и уточняется в период эксплуатации. Объем непланового (текущего) ТО определить заранее невозможно. Поэтому сокращение общей трудоемкости ТО достигается более тщательным выполнением профилактических работ и выбором их оптимальной периодичности. Это, в свою очередь, снижает вероятность появления повреждений и отказов, а значит уменьшает трудоемкость непланового ТО и затраты на него. Однако следует помнить, что основные материальные затраты на ТО

определяются необходимостью содержания высококвалифицированных специалистов.

Для сокращения затрат на ТО, составляющих основную часть эксплуатационных расходов, в современных автоматизированных системах предусматривается встроенная система автоматизированного контроля, которая может не только обнаружить отказы, но и выявить их причины. Такая система контроля позволяет оценить правильность функционирования и техническое состояние изделия в любой момент времени при участии менее квалифицированного персонала.

В перечень работ по ТО входят осмотр, контроль технического состояния ПР и системы управления, чистка, промывка и смазка узлов ПР, регулировка его отдельных систем, замена отдельных износившихся деталей и вышедших из строя элементов системы управления, чистка контактов элементов системы управления, проверка и наладка приводов и системы управления, а также работы по устранению неисправностей.

В комплекс работ по ежедневному обслуживанию входят проверки: визуальная; отсутствия вибрации ПР и отдельных его элементов; уровня шума механизмов ПР и мехатронных модулей; отсутствия нагрева подшипников; показаний манометров гидросистем; работы смазочных систем по маслоуказателям; отсутствия ударов в механизмах ПР и системах; плавности перемещения исполнительных механизмов и отсутствия рывков при реверсировании; отсутствия утечки масла; наличия и исправности защитных устройств, предохранительных щитков и кожухов; надежности захватных устройств, индикации и сигнализации системы управления. Помимо проверок оператор ежедневно протирает и очищает ПР, смазывает места и механизмы, требующие ежедневной смазки.

Одним из признаков изношенности подвижных сопрягаемых и вращающихся деталей в мехатронных модулях движения и ПР является наличие в масле продуктов износа. Интенсивность нарастания содержания металла в масле в функции времени характеризует скорость износа сопряженных деталей. Для определения этой зависимости через равные промежутки времени из гидросистемы ПР отбирают пробы масла и определяют концентрацию металла в них. По данным измерения определяется степень износа. На практике для определения состава масла наиболее часто применяют спектрометр МФС-3, спектрограф

ИСП-30, а также фотоколориметр ФЭК-М. При отсутствии специальной аппаратуры чистота масла проверяется по цвету и форм пятна от капли масла, наносимого на фильтровальную бумагу. Черный цвет пятна указывает на недопустимое количество механических примесей. Измерение давления, расхода и утечек рабочей жидкости наиболее часто выполняется при диагностировании гидропривода ПР. Снижение давления и расхода рабочей жидкости в гидросистеме свидетельствует об износе деталей насоса, повышенных утечках жидкости и неправильной регулировке гидропривода. Признаком нарушения нормальной работы гидропривода может быть и повышенное давление. Давление в гидросистемах контролируется различными типами манометров и преобразователей давления. Серийно выпускаются пьезоэлектрические преобразователи ЛХ600, ЛХ604, ЛХ608 и др. При стендовых испытаниях применяют манометры М1М, в которых измеряемое давление рабочей жидкости преобразуется в пропорциональный по величине электрический ток, подводимый к электрическому показывающему или регистрирующему прибору. Для измерения подачи рабочей жидкости применяют расходомеры, основанные на эффекте Кармана, а также струйные, электромагнитные, ультразвуковые, тахометрические и др. Диагностирование систем управления ПР осуществляется по параметрам сигналов в контрольных точках электрических схем либо по периодическим проверкам функционирования с помощью специальных тестовых программ.

В организации технического обслуживания ПР важное место занимает обеспечение техники безопасности. При неправильном использовании и обслуживании роботы могут представлять опасность для работающих в том же помещении людей и оборудования. Установлено, что при регулярном техническом обслуживании роботы отличаются высокой степенью безопасности. Техническое обслуживание позволяет обнаружить незначительные повреждения, которые могут привести к несчастному случаю. Например, при малейшем повреждении гидравлического шланга может произойти утечка рабочей жидкости в виде струи высокого напора, которая может травмировать находящихся поблизости рабочих, если они не защищены в соответствии с требованиями технической безопасности. Могут возникнуть и более серьезные осложнения, приводящие к отказу комплекса, если допуска-

ется корродирование деталей системы управления. Даже при техническом обслуживании не исключается вероятность повреждений. В целях повышения безопасности применяют чувствительный к давлению настил, отключающий робот, если в его рабочую зону входит человек. Иногда вокруг ПР развешиваются тонкие пластиковые ленты, выполняющие роль занавеса и затрудняющие доступ к роботу. Для предотвращения опасных ситуаций используют щиты, ограждения, аварийные сигналы и предусматривают отключение самого робота. С этой же целью роботы оснащаются чувствительными устройствами, обнаруживающими факт нарушения границы зоны обслуживания, после чего следует запрет на любые действия ПР. Иногда рука робота жестко фиксируется в определенном положении механическим приспособлением. Это повышает безопасность в тех случаях, когда рабочий находится в рабочей зоне ПР, выполняя его техническое обслуживание.

5.4. Эксплуатация мехатронных и робототехнических систем

К эксплуатации мехатронных систем, ПР и созданных на их основе РТК может допускаться только персонал, прошедший специальное обучение по безопасному обслуживанию со сдачей экзамена специальной комиссии. Перед допуском на обслуживание РТК персонал должен получить вводный инструктаж, а в процессе работы строго руководствоваться инструкцией по безопасности труда. Вводный инструктаж проводится для ознакомления со специфическими особенностями данного производства, включая потенциально опасные участки, которые могут проявиться при нарушении требований безопасности труда. Обращается особое внимание на возможность появления опасностей при выполнении технологического процесса, на опасные зоны работающего оборудования, оградительные устройства и правила пользования ими, на необходимость перед началом работы убедиться в исправности и нормальном функционировании оборудования. Инструктаж должен сопровождаться показом безопасных методов и приемов работы. При изменении технологического процесса работы оборудования или в других случаях изменения условий труда для обслуживающего персонала должен проводиться внеочередной инструктаж.

Эксплуатация ПР и РТК должна проводиться в строгом соответствии с эксплуатационной документацией. Согласно ГОСТ 2.601–2013 эксплуатационными называются документы, предназначенные для

изучения изделия и правил его эксплуатации. В комплект эксплуатационных документов входят: техническое описание; инструкция по эксплуатации; инструкция по ТО; инструкция по монтажу, пуску, регулированию и обкатке на месте применения (сокращенно инструкция по монтажу); формуляр или паспорт; ведомости одиночного, ремонтного и группового комплектов ЗИПа; ведомость эксплуатационных документов. Техническое описание и инструкция по эксплуатации объединяются в один документ и предназначаются для следующих целей: изучения конструкции, принципа действия и правил эксплуатации ПР; изучения правил техники безопасности; руководства при обнаружении и устранении неисправностей и отказов; руководства при регулировочных и наладочных работах силами обслуживающего персонала; руководства при проведении ТО в процессе эксплуатации и при длительном бездействии.

В инструкции по ТО указываются меры безопасности, порядок и правила ТО для различных условий эксплуатации. Большое внимание уделяется видам ТО, их периодичности; приводится перечень основных проверок для оценки технического состояния ПР, которые следует выполнять после каждого вида ТО.

Основной раздел инструкции по монтажу содержит требования по монтажу, регулировке, наладке и вводу в действие ПР в период монтажных и наладочных работ, а также в период приемо-сдаточных испытаний. В инструкции излагаются также меры предосторожности и правила пожарной безопасности при выполнении работ, даются указания по проведению технических мероприятий при транспортировании, установке и хранении ПР на месте эксплуатации.

Формуляром называется документ, в котором приводятся гарантированные заводом-изготовителем основные параметры и технические характеристики ПР и отражаются сведения по его техническому использованию, обслуживанию и ремонту за весь период эксплуатации. Например, по мере технического использования ПР в формуляр заносятся сведения о замене и восстановлении деталей, о наработке ПР с начала эксплуатации, о моменте возникновения неисправностей и отказов. В формуляре записываются способы отыскания и устранения неисправностей и затраченное на них время. Формуляр является единственным из эксплуатационных документов, в котором отражаются все

изменения, происходящие с ПР в процессе эксплуатации. По этой причине формуляр всегда хранится совместно с изделием.

Паспорт предназначен для тех же целей, что и формуляр. Он выпускается для мехатронных и робототехнических систем, гидравлических, пневматических и электрических устройств и приборов, поставляемых по ТУ.

Ведомости ЗИПа являются документами, определяющими номенклатуру, необходимое количество, назначение и укладку запасных частей, инструмента, принадлежностей и материалов, необходимых для обеспечения и восстановления работоспособности ПР в течение всего периода эксплуатации, включая заводской средний ремонт с выводом ПР из эксплуатации.

Ведомость эксплуатационных документов содержит перечень документов с указанием мест их укладки.

Перед первоначальным включением устройства в работу обслуживающий персонал должен тщательно изучить основной эксплуатационный документ – техническое описание и инструкцию по эксплуатации. Особо внимательно необходимо изучить разделы, касающиеся пультов управления оператора и мер безопасности при эксплуатации ПР. Основными причинами возникновения аварийных ситуаций могут явиться: неправильные (непредусмотренные) движения ПР; ошибочные действия оператора при обслуживании ПР, работающего в автоматическом режиме (в том числе появление человека в рабочем пространстве ПР, ошибки в программировании и т. п.); отсутствие четкой информации оператору о ситуации в рабочей зоне ПР, параметрах движения ПР и причинах, возникающих на РТК неполадок. Таким образом, для обеспечения безопасности труда при эксплуатации ПР и РТК наряду с использованием специальных технических средств необходимо применять соответствующие приемы и методы проведения работ, а также строго соблюдать регламентированные режимы эксплуатации ПР.

Неполадки и аварийные ситуации, которые возникают в процессе эксплуатации ПР, должны ежемесячно регистрироваться оператором или наладчиком в специальном журнале.

Перед началом работы оператор должен убедиться в исправном состоянии основного и вспомогательного технологического оборудования, средств обеспечения безопасности, в отсутствии посторонних лиц и предметов в рабочем пространстве ПР.

Для обеспечения движений ПР в соответствии с требованиями технологического процесса необходимо произвести ввод программы. Непосредственному программированию предшествует разработка алгоритма функционирования управляющей программы. Этот алгоритм формируется с учетом специфики конкретного технологического процесса и оборудования. В указанном алгоритме определяется последовательность использования всей требуемой для функционирования ПР информации, включая очередность выполнения отдельных операций и длительность их реализации. Помимо этого, в алгоритме предусматривается информация, необходимая для обеспечения взаимодействия ПР с оборудованием. Особенности программирования ПР в значительной степени определяются их назначением. Так, управляющая программа ПР, выполняющего окрасочные, сварочные и другие аналогичные работы, представляет собой не разветвляемую последовательность выполняемых операций, которая запоминается в режиме обучения. Управляющая программа ПР, обслуживающего металлорежущие станки, в значительной степени определяется как его конструкцией, так и числом единиц оборудования. Управляющая программа промышленных роботов набирается непосредственно с пульта оператора путем нажатия соответствующих кнопок. Контроль правильности набора осуществляется по цифровому дисплею. Если программа набрана верно, нажимается кнопка ЗП (запись) и производится загрузка программы в ячейку ОЗУ с выбранным адресом. Ввод последующей команды производится аналогично. В робототехнике широкое используется программирование методом обучения. Процесс обучения подразделяется на следующие виды:

- обучение ПР с целью формирования кадров управляющей программы. Производится путем задания оператором рабочих движений ПР, при которых положение рабочего органа определяется показаниями датчиков положений звеньев ПР;

- обучение ПР адаптивным формам поведения. Осуществляется путем ввода алгоритмов коррекции управляющих программ при изменении внешних условий, либо ввода в память данных о положении и характеристиках объектов внешней среды.

Системы обучения следует подразделять на три класса:

- А – простейший, обучение производится путем ввода в память устройства программного управления последовательности состояния

ПР и технологических команд. Возможно наличие линейной интерполяции, средства организации адаптивной работы ПР отсутствуют. Точность рабочих движений ПР соответствует точности движения в процессе обучения. При изменении размеров или ориентации рабочего органа ПР требуется переобучение ПР;

В – расширенный, средства класса А дополняются средствами редактирования исходной формы управляющей программы, линейной, круговой (и возможно других типов) интерполяции и средствами обратного преобразования координат для ПР непрямоугольной кинематической схемы. Обучение производится путем организации движений в системе координат объектов внешней среды с использованием обратного преобразования координат. Допускается использование средств трансляции исходной формы управляющей программы в рабочую форму вне режима реального времени после окончания процесса обучения и до включения рабочего режима. Изменение размеров или ориентации рабочего органа ПР не требует переобучения ПР;

С – высший, обучение производится комбинированным методом и обеспечивает получение адаптивной управляющей программы в виде последовательности операторов и команд условных переходов в системе команд ЭВМ устройства программного управления и соответствующих структур данных, содержащих все необходимые числовые параметры и операции для выполнения рабочих движений и контрольных действий ПР с адаптацией к неизвестным параметрам рабочего процесса. Точность рабочих движений ПР соответствует точности работы его системы управления, определяемой ТУ на ПР. Использование специальных видов интерполяции, преобразований координат и трансляции обеспечивает повышение производительности обучения по сравнению с системой класса А.

Обучение с целью последующего воспроизведения роботом рабочей программы является наиболее распространенным методом управления промышленными роботами. Программирование обучением выполняется за несколько шагов:

- обучение робота в медленном режиме при ручном управлении для выполнения технологической операции и запись углов суставов робота с целью повторного воспроизведения движения;
- корректировка и воспроизведение обученного движения;
- если обученное движение правильно, робот приступает к выполнению повторяющихся операций с заданной скоростью.

Обучение робота может проводиться в системе координат сочленений **joint**, мировой системы координат **world** или координат рабочего органа **tool**, путем непосредственного ввода численных значений координат обученной точки либо с использованием режима пульта.

В последнем случае робот выводится в нужную позицию и текущие координаты запоминаются. Для обычной точки запоминаются координаты **X, Y, Z, o, a, t**, а для прецизионной точки- $q^1, q^2, q^3, q^4, q^5, q^6$.

При обучении робота следует помнить, что в случаях, когда требуется сохранить ориентацию инструмента относительно рабочей поверхности, необходимо применять обучение в системе координат **world** или **tool**. Обучение в системе **world** можно применить, если, рабочая поверхность параллельна плоскости XY мировой системы координат. При этом следует учитывать, что положение системы **world** может быть перемещено на эту плоскость с помощью инструкции BASE. При обучении схват манипулятора движется вдоль осей повернутой базовой системы координат, относительно которой будут запоминаться координаты обученной точки. При использовании точек, запомненных относительно смещенной базовой системы координат, в управляющей программе необходимо указать величину смещения базовой системы координат с помощью инструкции BASE X, Y, Z.

При обучении в системе координат инструмента необходимо обеспечить желаемую ориентацию системы **tool** относительно рабочей плоскости, после чего схват манипулятора будет двигаться вдоль осей системы **tool**, а координаты точки будут запоминаться в мировой системе координат **world**. Данный метод применяется в случае более сложного расположения рабочей поверхности либо, когда требуется сохранить ориентацию инструмента на всей траектории движения. В более общих случаях используется одновременно обучение во всех трех системах координат. Если при обучении использовалась инструкция BASE, то данная инструкция должна быть также применена и в управляющей программе.

В процессе эксплуатации в мехатронных и робототехнических устройствах периодически возникают различного рода неисправности. Многие современные модели имеют весьма сложное схемное построение, и зачастую процесс отыскания в них неисправностей бывает таким же сложным и очень трудоемким, что требует от специалиста,

осуществляющего ремонт, хороших знаний и навыков работы. Ремонт изделий в основном осуществляется в соответствии с общими принципами ремонта модулей, блоков и самого оборудования, но следует иметь в виду, что есть и характерные отличия, связанные с технологией изготовления, спецификой использования, условиями эксплуатации мехатронных составляющих. Процедура ремонта любого технического объекта может быть представлена в виде последовательности мероприятий, основными из которых являются:

- установление факта неработоспособности;
- определение отказавшего блока (модуля);
- выявление неисправных элементов в вышедшем из строя блоке (модуле);
- восстановление вышедших из строя блоков (модулей);
- контроль работоспособности устройства;
- регулировка устройства.

Неисправности могут быть вызваны различными факторами. Их можно разделить на механические и электрические.

Механические неисправности связаны с поломкой или повреждением элементов различных кинематических схем привода, загрузки носителей информации, галетных или кнопочных переключателей, механизмов настройки и многих других.

Электрические неисправности вызываются выходом из строя тех или иных элементов электрической принципиальной схемы, а также дефектами монтажа. Большинство механических неисправностей и в ряде случаев – электрических выявляются при проведении визуального осмотра аппаратуры. Визуальным осмотром определяют качество монтажа, отсутствие обрывов в печатных дорожках и проводниках, качество паек (холодные пайки), а также контролируют соответствие номиналов резисторов и емкостей конденсаторов (рабочих напряжений) требованиям принципиальных схем. Часто при визуальном осмотре выявляются обуглившиеся резисторы, вздутые электролитические конденсаторы, наличие подтеков пропиточного материала в трансформаторах, механические повреждения в керамических конденсаторах и др. О наличии электрических неисправностей в аппаратуре могут свидетельствовать запахи от перегретых обмоток трансформаторов, дросселей, резисторов, изменение тона звуковых колебаний, вызванных работой трансформатора (гул с частотой 50 Гц). При проведении визу-

ального осмотра необходимо вручную проверять качество крепления механических узлов (трансформаторов, дросселей, переключателей электрических конденсаторов, переменных и полупеременных резисторов и др.).

После проведения ремонта проводится контроль работоспособности оборудования, который заключается в проверке нескольких технических параметров (например, проверяется, регулируется резкость и яркость изображения телевизионного приемника устройства видеоконтрольного и т. д.). Если контроль работоспособности объекта дал положительные результаты, то проводится регулировка. Практика показывает, что найти причину неисправности в современном оборудовании, комплексе часто бывает значительно сложнее, чем устранить ее. Знание наиболее распространенных практических методов поиска места отказа позволит провести ремонт с наименьшими затратами времени и средств.

Описание моделей объектов ремонта. Процесс поиска неисправностей в устройствах представляет собой совокупность элементарных проверок, т. е. физических экспериментов над ремонтируемым устройством, целью которых является изучение его реакции на некоторое воздействие. Выявить неисправность можно только в том случае если существует такое тестовое воздействие, реакция на которое у работоспособного и неработоспособного устройств различна. В общем случае может существовать несколько элементарных проверок, позволяющих выявить определенное техническое состояние устройства. Они различаются множеством контрольных точек, видом и последовательностью выходных тестовых воздействий. Разнообразие перечисленных возможностей вызывает необходимость разработки процесса поиска неисправностей в устройстве. Первый этап предполагает наличие некоторого описания ремонтируемого устройства и его поведения в работоспособном и неработоспособном состояниях. Описание в аналитической, векторной, графической или табличной форме называют *математической моделью ремонтируемого устройства*. Любое электронное устройство характеризуется зависимостью множества выходных параметров $Y = \{Y^i\}$ от множества входных $X = \{X_k\}$ и внутренних $A = \{A_j\}$ переменных. Поведение модели устройства в общем случае зависит от времени t .

$$Y = F(X, A). \quad (5.1)$$

Такая запись представляет собой систему передаточных функций работоспособного устройства. Неисправность, возникшая в устройстве, приводит к искажению передаточных функций, характеризуемых множеством моделей неработоспособного объекта:

$$Y = F(X, A^i > \tau), \quad (5.2)$$

где $i = 1, 2, 3, \dots, m$ – номера неисправных состояний.

Часто в явном виде задается только модель (1) работоспособного устройства, а модели (2) подлежат разработке. Для большинства сложных устройств обычно не удается составить модель (2), используя только внешние узлы – основные входы и выходы. Поэтому эта система уравнений должна включать описание внутренних, электрических и временных зависимостей, выявленных на расширенном множестве функциональных узлов. Обозначим множество всех допустимых элементарных проверок ремонтируемого устройства $P = \{P\}$. Допустимыми будем считать все физически осуществимые элементарные проверки при поиске неисправностей. Каждая проверка характеризуется значением X воздействия, подаваемого на ремонтируемое устройство, составом контрольных точек и значением реакций устройства на эти воздействия. Число возможных результатов проверки определяется числом контрольных точек в устройстве и числом воздействий на него. Ответные реакции на входные воздействия X_j соответственно для работоспособного и неработоспособного устройств определяются следующими уравнениями:

$$R = F(A). \quad (5.3)$$

Элементарные проверки позволяют обнаруживать любое состояние из множества неработоспособных состояний устройства, если найдется хотя бы одна проверка P , для которой ответные реакции у работоспособного R и неработоспособного P устройств различны, т. е. P не равно R . Для разработки процедуры поиска неисправностей необходимо получить множество реакций для всех допустимых элементарных проверок P и выбрать те проверки из множества $\{P\}$, которые позволяют различить все состояния из множества технических состояний устройства S . Процесс поиска неисправности при этом требует глубокого анализа результатов измерений большого числа вычислительных операций и многократного сравнения их результатов. Ввиду сложности аналитические методы разработки этого процесса нашли применение в тех случаях, когда устройства по схемным решениям просты и мощность

множества технических состояний ограничена (например, только с одиночными неисправностями), а элементарные проверки проводятся с помощью однотипных входных воздействий. Более проста, наглядна и удобна при анализе и разработке процедуры поиска неисправностей табличная модель устройства. Очевидно, что достоверно обнаруживать неисправности в устройствах помогает множество элементарных проверок. Одна из задач оптимизации этого процесса состоит в сокращении числа элементарных проверок, обеспечивающих требуемую глубину поиска неисправностей.

Требования безопасности при обслуживании и эксплуатации мехатронных и робототехнических систем изложены в ГОСТ Р 60.1.2.2-2016/ИСО 10218-2:2011. При разработке ПР и средств защиты лиц и обслуживающего персонала должны учитываться специфические свойства ПР, связанные с особенностями конструкции, выполняемых функций, динамики и алгоритмов управления перемещением рабочих органов. Средства защиты должны быть разработаны с учетом необходимости нахождения обслуживающего персонала в рабочем пространстве ПР при его включении, программировании, контроле и обслуживании, при этом должна быть учтена возможность возникновения опасной ситуации, связанной с несогласованностью работы ПР и сопряженного с ним оборудования. Способ защиты лиц и обслуживающего персонала должен быть выбран с учетом анализа конструкции ПР, методов его программирования и обслуживания. Перед выбором способа защиты должны быть определены вредные производственные факторы и оценен риск (степень риска) возникновения опасной ситуации.

Обеспечение безопасности лиц и обслуживающего персонала должно основываться на следующих принципах:

- во время производственного процесса не допускается нахождение лиц и обслуживающего персонала в рабочем пространстве;
- во время программирования, контроля, обслуживания и в других случаях, требующих нахождения обслуживающего персонала в рабочем пространстве ПР, вероятность возникновения опасной ситуации должна быть минимальной.

Для обеспечения выполнения этих принципов могут быть реализованы следующие мероприятия:

- ограничение рабочего пространства с помощью физических барьеров, защитных ограждений, в том числе с блокировками, а также использование устройств обнаружения;

- организация рабочих мест обслуживающего персонала таким образом, чтобы все работы по наладке и обслуживанию ПР производились вне рабочего пространства;

- внедрение дополнительных мер защиты обслуживающего персонала, разрабатываемых в зависимости от конструктивных особенностей ПР и необходимых для обеспечения безопасности в случаях, когда нахождение обслуживающего персонала в рабочем пространстве не может быть полностью исключено.

Вопросы для самопроверки

1. Охарактеризуйте структуры автоматизированных производств в зависимости от серийности выпускаемой продукции.

2. Объясните структуру роботизированных комплексов.

3. Охарактеризуйте структуру гибкой производственной системы.

4. Какие требования предъявляются к роботизированным транспортно-накопительным системам?

5. Приведите примеры устройства роботизированных складов.

6. В чем заключается техническое обслуживание роботов и мехатронных систем?

7. То входит в перечень работ по ТО?

8. Виды организации эксплуатации оборудования.

9. Назовите признаки изношенности деталей.

10. Назовите признаки изношенности элементов пневмо и гидропривода.

11. Назовите признаки изношенности элементов электропривода.

12. Назовите признаки изношенности системы управления.

13. Назовите состав эксплуатационных документов.

14. Регламент работ перед пуском оборудования.

15. Как формируется управляющая программа для робота и мехатронной системы?

16. Как осуществляется обучение робота?

17. Назовите классы систем обучения роботов.

18. Что является моделью ремонтируемого изделия?

19. Назовите основные требования безопасного обслуживания мехатронных и робототехнических систем.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В учебном пособии рассмотрены вопросы построения исполнительных устройств роботов и мехатронных модулей, их информационных и управляющих устройств; структура роботизированных технологических центров. Проанализированы организация и проведение монтажных работ робототехнических и мехатронных систем, включая механическую часть, устройств пневмо- и гидросистем, устройств управления и электрооборудования, роботизированных технологических комплексов. Представлены основы наладки механических устройств промышленных роботов и мехатронных систем и их компонентов, параметрическая настройка регуляторов тока, скорости и положения в электроприводах роботов и мехатронных систем, в том числе по компьютерным моделям, пример наладки мехатронной системы металлорезающего станка и мехатронной системы лазерного технологического комплекса. Описаны также методы и средства испытаний и диагностики роботов и мехатронных систем, основы их эксплуатации.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Монтаж, наладка, эксплуатация и ремонт промышленных роботов. Малахов М. В., Нейбергер Н. А., Сидорин Г. Н. – М.: Металлургия, 1989. 224 с.

2. Введение в мехатронику: Уч. пособие / Грабченко А.И., Клепиков В.Б., Доброскок В.Л., Крыжный Г.К., Анищенко Н.В., Кутовой Ю.Н., Пшеничников Д.А., Гаращенко Я.Н. – Х.: НТУ "ХПИ", 2014. – 274 с. 3. Сырякин В.И. Информационные устройства и системы в робототехнике и мехатронике: учеб. пособие. (Серия: Интеллектуальные технические системы). – Томск: Изд-во Том. ун-та, 2016. – 524 с.

4. Бастрон, А.В. Монтаж электрооборудования и средств автоматизации: учеб. пособие. Часть 1. – 2-е изд., испр. и доп. / А.В. Бастрон, А.В. Чебодаев, А.Г. Черных; Краснояр. гос. аграр. ун-т. – Красноярск, 2016. – 291 с.

5. Таугер В. М. Конструирование мехатронных модулей : учеб. пособие. - Екатеринбург : УрГУПС, 2009. – 336 с.

6. Сибикин М.Ю. Технологическое оборудование. Металлорежущие станки : учебник М. : ФОРУМ, 2017. - 448 с.

7. Феофанов, А.Н. Техническое обслуживание, ремонт и испытание мехатронных систем [Текст] : учебник : для студентов образовательных учреждений среднего профессионального образования, обучающихся по специальности "Мехатроника и мобильная робототехника (по отраслям)" / А. Н. Феофанов, Т. Г. Гришина. - Москва: Академия, 2018. – 302с.

8. Науменко, А. П. Введение в техническую диагностику и неразрушающий контроль : учеб. пособие / А. П. Науменко ; Минобрнауки России, ОмГТУ. – Омск : Изд-во ОмГТУ, 2019. – 152 с. : ил.

9. Биргер, И. А. Техническая диагностика / И. А. Биргер. – М. : URSS, 2019. – 240 с.

10. ГОСТ 16504–81. Система государственных испытаний продукции. Испытания и контроль качества продукции. Основные термины и определения. – Введ. 1982-01-01. – М. : Стандартиформ, 2011. – 24 с.

11. ГОСТ20911–89. Техническая диагностика. Термины и определения. Введ. 1991-01-01. – М. : Стандартиформ, 2010. – 11 с.

12. Глебов, Н. А. Надежность и диагностика устройств управления робототехническими и мехатронными системами : учеб. пособие для студентов специальностей "Роботы и робототехн. системы" и "Мехатроника" направления "Мехатроника и робототехника" / Н. А. Глебов ; М-во образования Рос. Федерации, Юж.-Рос. гос. техн. ун-т (Новочеркас. политехн. ин-т). - Новочеркасск : ЮРГТУ, 2004. - 91 с.

13. Схиртладзе А. Г., Новиков В. Ю. Технологическое оборудование машиностроительных производств. – М.: Высш. шк., 2009.

14. ГОСТ Р 60.1.2.2-2016/ИСО 10218-2:2011 Роботы и робототехнические устройства. Часть 2. Робототехнические системы и их интеграция. Требования по безопасности для промышленных роботов. М. : Стандартиформ, 2020. – 70 с.

15. Проектирование металлорежущих станков и станочных систем: Справочник-учебник в 3-х т. Т.3: Проектирование станочных систем /Под общей ред. А.С. Пронилова – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана; Изд-во МГТУ «Станкин», 2000.

16. М.А. Босинзон. Автоматизированные мехатронные модули линейных и вращательных перемещений./ Журнал «Приводная техника» №1,2002.с.10-19.

17. Умнов, В.П. Построение и моделирование манипуляционных исполнительных систем многофункциональных роботизированных технологических центров: учебное пособие / В. П. Умнов - Владимир: ВлГУ, 2016. – 118с.

18. Подураев Ю.В. Мехатроника: основы, методы, применение : учебное пособие / Подураев Ю.В.. – Саратов : Ай Пи Ар Медиа, 2019. – 256 с.

19. Приводы серии CSD-DH/ Инструкция по эксплуатации БТКУ. 435121-001.001ИМ1. – С. Петербург, 2014. - 88с.

Учебное издание

УМНОВ Владимир Павлович
КОБЗЕВ Александр Архипович

ПРОМЫШЛЕННЫЕ РОБОТЫ И МЕХАТРОННЫЕ СИСТЕМЫ:
МОНТАЖ, НАЛАДКА, ИСПЫТАНИЯ И ОБСЛУЖИВАНИЕ

Учебное пособие

Издается в авторской редакции

Подписано в печать 18.06.21.

Формат 60x84/16. Усл. печ. л. 17,67. Тираж 50 экз.

Заказ

Издательство

Владимирского государственного университета
имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых.
600000, Владимир, ул. Горького, 87.