

**Министерство сельского хозяйства Российской Федерации**  
**ФГБОУ ВО «Казанский государственный аграрный**  
**университет»**  
**Институт механизации и технического сервиса**

Направление: \_\_\_\_\_ *Агроинженерия* \_\_\_\_\_

Профиль \_\_\_\_\_ *Электрооборудование и электротехнологии* \_\_\_\_\_

Кафедра: \_\_\_\_\_ *Машины и оборудование в агробизнесе* \_\_\_\_\_

## **ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА**

**На тему: Проект электроснабжения ремонтно-механического цеха  
с разработкой контрольного приспособления**

**Шифр ВКР 35.03.06.001.18**

Студент 243 группы

\_\_\_\_\_

подпись

\_\_\_\_\_ **Хабибуллин Д.В.**  
Ф.И.О.

Руководитель

*доцент* \_\_\_\_\_  
ученое звание

\_\_\_\_\_

подпись

\_\_\_\_\_ **Хусаинов Р.К.** \_\_\_\_\_  
Ф.И.О.

Допущен к защите (протокол заседания кафедры № \_\_\_\_\_ от \_\_\_\_\_ )

И.о. зав. кафедрой

*доцент* \_\_\_\_\_  
ученое звание

\_\_\_\_\_

подпись

\_\_\_\_\_ **Халиуллин Д.Т**  
Ф.И.О.

**Казань – 2018**

## АННОТАЦИЯ

к выпускной квалификационной работе  
Хабибуллина Динара Валиулловича на тему  
«Проект электроснабжения ремонтно-  
механического цеха с разработкой контрольного  
приспособления»

Выпускная квалификационная работа состоит из пояснительной записки на 93 листах машинописного текста и графической части на 6 листах формата А1.

Записка состоит из введения, трех разделов, выводов и включает 14 рисунков, 4 таблицы, 1 приложение. Список использованной литературы содержит 22 наименования.

В первом разделе приводятся основные понятия о качестве поверхности.

Во втором разделе представлен проект электроснабжения ремонтно-механического цеха.

В третьем разделе разработана конструкция приспособления. Произведены необходимые конструктивные и технологические расчеты. Разработаны мероприятия по безопасности жизнедеятельности, дано экономическое обоснование применения разработанного приспособления, подсчитан экономический эффект от внедрения и срок окупаемости капитальных вложений.

Записка завершается выводами и предложениями.

**ANNOTATION**

to the final qualifying work of Khabibullin Dinar Valiullovich on the topic  
"Project of power supply for the repair and mechanical workshop with the  
development of a control device"

Graduation qualification work consists of an explanatory note on 93 sheets of typewritten text and a graphic part on 6 sheets of A1 format.

The note consists of an introduction, three sections, conclusions and includes 14 figures, 4 tables, 1 annex. The list of used literature contains 22 items.

In the first section we give the basic concepts of the quality of a surface.

In the second section, the project of power supply for the repair and mechanical shop is presented.

In the third section the device design is developed. The necessary design and technological calculations have been made. Measures have been developed to ensure the safety of life, given the economic justification for the application of the developed device, the economic effect of the implementation and the payback period of capital investments have been calculated.

The note ends with conclusions and suggestions.

.

## ОГЛАВЛЕНИЕ

|                                                                                                           |           |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>ВВЕДЕНИЕ.....</b>                                                                                      | <b>6</b>  |
| <b>1. ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ О КАЧЕСТВЕ ПОВЕРХНОСТИ В<br/>МАШИНОСТРОЕНИИ.....</b>                               | <b>7</b>  |
| 1.1. Понятие качества продукции и определяющие его факторы.....                                           | 7         |
| 1.2 Методы и средства контроля и измерений .....                                                          | 14        |
| 1.3 Выбор контрольно-измерительных средств .....                                                          | 16        |
| 1.4 Контроль и измерение диаметров валов и отверстий.....                                                 | 18        |
| <b>2.    ПРОЕКТ    ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ    РЕМОНТНО-<br/>МЕХАНИЧЕСКОГО ЦЕХА .....</b>                         | <b>21</b> |
| 2.1. Характеристика объекта электроснабжения, электрических<br>нагрузок и технологического процесса ..... | 21        |
| 2.2 Категория надежности электроснабжения и выбор схемы<br>электроснабжения.....                          | 22        |
| 2.3 Расчет электрических нагрузок цеха .....                                                              | 23        |
| 2.4 Расчет компенсирующего устройства.....                                                                | 27        |
| 2.5 Выбор силового трансформатора.....                                                                    | 29        |
| 2.6 Расчет и выбор элементов системы электроснабжения.....                                                | 29        |
| 2.6.1 Выбор аппаратов защиты и РУ .....                                                                   | 29        |
| 2.6.2 Выбор проводников линий электроснабжения .....                                                      | 32        |
| 2.7 Расчет и выбор питающей линии 10 кВ .....                                                             | 33        |
| 2.8 Расчет токов короткого замыкания в сети напряжением выше 1 кВ....                                     | 34        |
| 2.9 Расчет токов короткого замыкания в сети напряжением до 1кВ.....                                       | 37        |
| 2.9.1 Выбор точек и расчет токов КЗ.....                                                                  | 37        |
| 2.9.2 Проверка элементов системы электроснабжения по токам КЗ.....                                        | 42        |
| 2.9.3 Определение потери напряжения в сети до 1 кВ .....                                                  | 43        |
| 2.10 Выбор электрооборудования ТП-10/0,4 кВ .....                                                         | 44        |
| 2.10.1 Выбор силового выключателя 10 кВ. ....                                                             | 44        |
| 2.10.2 Выбор трансформатора напряжения на стороне 10 кВ .....                                             | 46        |

|                                                                                                   |           |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>3 ПРОЕКТИРОВАНИЕ ПРИСПОСОБЛЕНИЯ ДЛЯ КОНТРОЛЯ</b>                                               |           |
| <b>ВАЛОВ.....</b>                                                                                 | <b>50</b> |
| 3.1 Общие сведения о контроле деталей.....                                                        | 50        |
| 3.2 Назначение и типы контрольных приспособлений.....                                             | 51        |
| 3.3 Приборы для контроля диаметров валов .....                                                    | 53        |
| 3.4 Приборы для измерения отклонений формы и расположения<br>поверхностей.....                    | 58        |
| 3.5 Проект приспособления для контроля валов .....                                                | 64        |
| 3.7 Выбор материалов и расчет прочности приспособлений.....                                       | 65        |
| 3.7.1. Выбор конструкционных материалов .....                                                     | 65        |
| 3.7.2. Покрывия деталей и их химическая (электрохимическая)<br>обработка.....                     | 66        |
| 3.7.3. Прочность деталей приспособлений .....                                                     | 67        |
| 3.7.2 Расчет и выбор посадок подшипников качения.....                                             | 72        |
| 3.8. Организация техники безопасности и противопожарные<br>мероприятия.....                       | 76        |
| 3.9 Мероприятия по снижению шума оборудования .....                                               | 78        |
| 3.10 Мероприятия по снижению вибраций машин и оборудования...                                     | 78        |
| 3.11 Разработка пылеулавливающих устройств .....                                                  | 80        |
| 3.12 Производственная гимнастика на рабочем месте.....                                            | 80        |
| 3.13 Экономическое обоснование конструкции приспособления.....                                    | 85        |
| 3.13.1 Расчет балансовой стоимости приспособления.....                                            | 85        |
| 3.13.2 Расчет технико-экономических показателей эффективности<br>конструкции приспособления ..... | 87        |
| <b>СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.....</b>                                                                     | <b>91</b> |
| <b>ПРИЛОЖЕНИЕ.....</b>                                                                            | <b>94</b> |

## ВВЕДЕНИЕ

Системой электроснабжения (СЭС) называют совокупность устройств для производства, передачи и распределения электроэнергии. Системы электроснабжения промышленных предприятия создаются для обеспечения питания электроэнергией промышленных приемников, к которым относятся электродвигатели различных машин и механизмов, электрические печи, электролизные установки, аппараты и машины для электрической сварки, осветительные установки и др.

Задача электроснабжения промышленных предприятий возникла одновременно с широким внедрением электропривода в качестве движущей силы различных машин и механизмов и строительством электростанций.

Каждое производство существует постольку, поскольку его машины-орудия обеспечивают работу технологических механизмов, производящих промышленную продукцию. Все машины-орудия приводятся в настоящее время электродвигателями. Для их нормальной работы применяют электроэнергию как самую гибкую и удобную форму энергии, обеспечивающей работу производственных механизмов.

При этом электроэнергия должна обладать соответствующим качеством. Основными показателями качества электроэнергии являются стабильность частоты и напряжения, синусоидальность напряжения и тока и симметрия напряжения. От качества электроэнергии зависит качество выпускаемой продукции и ее количество.

Изменение технологических процессов производства, связанное, как правило, с их усложнением, приводит к необходимости модернизации и реконструкции систем электроснабжения

## **1. Основные понятия о качестве поверхности в машиностроении**

### **1.1. Понятие качества продукции и определяющие его факторы**

Качество обработанной поверхности характеризуется величиной макро- и микронеровностей, а также физико-механическим состоянием поверхностного слоя.

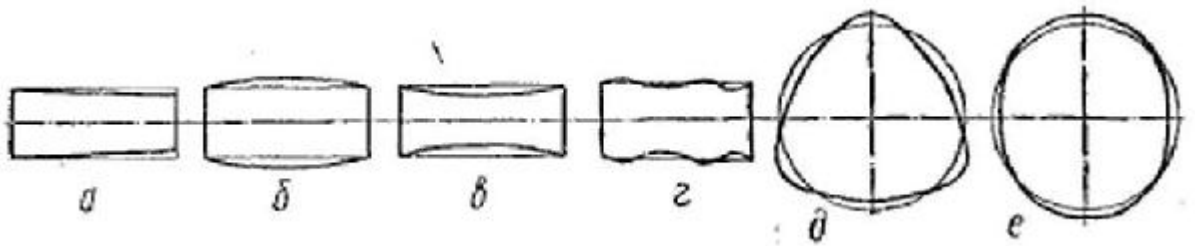
Макронеровности представляют собой единичные, не повторяющиеся регулярно, отклонения поверхности от геометрической формы. К ним относятся выпуклость, вогнутость и неплоскостность — для плоскостей, конусность, бочкообразность, вогнутость, волнистость, овальность, огранка — для цилиндрических и конических поверхностей. Характерным признаком макронеровностей является их большой шаг при относительно малой высоте. Величина макронеровностей составляет обычно 30...50% от допуска на размер детали. При обработке ответственных поверхностей эта величина должна быть строго регламентирована.

Волнистостью поверхности называют периодически повторяющиеся и близкие по размерам неровности, расстояние между которыми значительно больше, чем у шероховатостей. Форма волн близка к синусоиде. Высота волны может изменяться от 0,5 до 500 мкм, а шаг — от 1 до 15 мм. При увеличении высоты волн уменьшается фактическая площадь контакта сопряженных поверхностей, что приводит к усиленному износу, ослаблению прессовых соединений, нарушению герметичности и т.п.

Волнистость поверхности вызывается неравномерностью процесса резания вследствие колебаний станка, инструмента и детали. В свою очередь, волнистость поверхности, полученная на предыдущей операции (переходе), может служить источником возникновения колебаний на последующих операциях (переходах). Волнистость пока еще не регламентирована, влияние ее на работу сопряженных поверхностей изучено недостаточно.

Шероховатость поверхности, образующаяся в результате обработки, представляет собой совокупность неровностей с относительно малыми шагами, формирующих рельеф поверхности.

Физико-механическое состояние обработанной поверхности характеризуется степенью наклепа, его глубиной, структурой поверхностного слоя и остаточными напряжениями в этом слое. Все эти характеристики зависят от величины пластических деформаций, фазовых и структурных превращений, обусловленных тепловыми явлениями при резании металла.



- а) конусность; б) бочкообразность; в) вогнутость; г) волнистость;  
д) огранка; е) овальность

Рисунок 1.1 – Отклонение от правильной цилиндрической формы

Степень наклепа и глубина наклепанного слоя, знак и величина остаточных напряжений в поверхностном слое зависят от обрабатываемого материала, метода обработки и режимов резания.

Шероховатости поверхности являются местом концентрации напряжений и ослабляют деталь. Грубо обработанные поверхности больше подвержены коррозии, ускоряющей появление трещин и разрушение деталей. При хорошо обработанной поверхности повышается усталостная прочность. Полированные детали из высокопрочной стали имеют предел выносливости на 40% больше, чем грубо обточенные. Усталостное разрушение деталей начинается с поверхности и вызывается нормальными растягивающими напряжениями. Усталостную прочность можно повысить, создавая в поверхностном слое сжимающие остаточные напряжения.

С уменьшением шероховатостей повышается также коррозионная устойчивость, прочность прессовых соединений, стабильность зазоров и натягов, коэффициент теплопередачи и т. п.

Износ поверхностей трения зависит не только от их качества, но и от условий работы. Наименьший износ получается при некоторой оптимальной высоте шероховатостей. В ряде случаев очень чистые поверхности изнашиваются быстрее, чем более грубые.

На величину износа влияют также материал трущихся пар, удельное давление, температура в зоне трения, скорость скольжения и т. д.

Назначение чистоты поверхности производится в зависимости от точности размеров и других требований, предъявляемых к деталям. В некоторых случаях точность обработки не связывается с чистотой поверхности (например, при декоративной отделке деталей).

При высокой точности размеров следует соблюдать необходимую чистоту поверхности, достаточную для того, чтобы износ и изменение размера при запрессовке или при работе узла не изменяли в короткий срок характер посадки. Величина шероховатости поверхности регламентируется ГОСТ 2789-59.

Методы оценки шероховатости поверхности разделяются на две группы. В первой группе поверхности детали сравниваются с эталонами, характеристики шероховатости которых известны. Во второй группе измеряется высота шероховатостей.

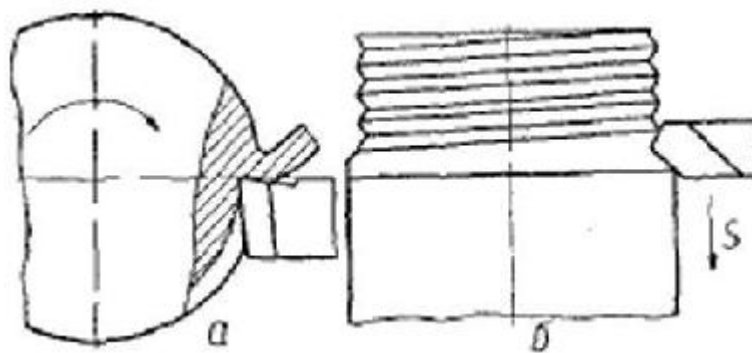
В производственных условиях больше распространены методы первой группы, дающие возможность быстро и в большинстве случаев достаточно точно оценить шероховатость поверхности. Сравнение деталей с эталонами производится невооруженным глазом (1..6-й классы чистоты) и с помощью микроскопов сравнения МС-49.

На шероховатость поверхности влияют следующие основные факторы:

- 1) состав, структура и механические свойства обрабатываемого материала;

- 2) материал, геометрия, микрогеометрия и износ режущей части инструмента;
- 3) режим резания;
- 4) жесткость системы станок — инструмент — деталь;
- 5) количество, качество и способа подвода смазочно-охлаждающих веществ.

Высоту шероховатостей можно измерять в направлении движения резания (продольная шероховатость) и в направлении подачи (поперечная шероховатость) (рисунок 1.2). Чаще всего поперечная шероховатость оказывается больше продольной и по ней производится оценка качества поверхности. При отделочной обработке абразивными инструментами разница между продольной и поперечной шероховатостями уменьшается.



а) продольная; б) поперечная

Рисунок 1.2 – Виды шероховатостей

С изменением свойств обрабатываемого материала изменяется высота шероховатостей, а также характер влияния других факторов на чистоту поверхности. При обработке малоуглеродистой стали шероховатость больше, чем при обработке средне- и высокоуглеродистой. Объясняется это большим содержанием феррита в малоуглеродистой стали, который повышает склонность к наростообразованию.

При обработке чугуна на шероховатость поверхности влияет количество и форма включений графита. Чугун с мелкопластинчатым перлитом имеет шероховатость меньше, чем ферритовый чугун или чугун с

крупнопластинчатым перлитом и с большим количеством графита, так как графит способствует образованию стружки надлома.

На шероховатость поверхности влияет также материал инструмента. Например, инструменты из углеродистой и легированной стали дают при малой скорости обработки более чистую поверхность, чем инструменты из быстрорежущей стали. При повышении скорости резания до 15...30 мин шероховатость увеличивается из-за приваривания мелких частиц стружки к режущему лезвию, так как обрабатываемый материал (сталь конструкционная) и материал инструмента (сталь инструментальная) имеют большое химическое сродство. На твердосплавные инструменты стружка налипает меньше, чем на быстрорежущие, поэтому шероховатость поверхности становится меньше. Кроме того, твердосплавные инструменты медленнее изнашиваются, что также способствует получению более чистой поверхности.

На шероховатость поверхности сильно влияет радиус закругления режущих кромок и величина углов в плане. При этом каждому значению подачи соответствует некоторое значение радиуса, при котором высота шероховатостей будет наименьшей. Применение инструментов с зачистной режущей кромкой (фрезы токарные, строгальные резцы и др.) дает возможность получать чистую поверхность при высокой производительности труда.

Влияние скорости резания на высоту шероховатостей при обработке различных материалов показано на рисунке 1.3. Кривая, почти параллельная оси абсцисс, характерна для хрупких материалов, чистота поверхности которых мало зависит от скорости резания. Кривая 4 показывает увеличение высоты шероховатостей с возрастанием скорости резания при обработке легкоплавких материалов. Это объясняется частичным оплавлением материала детали при высокой температуре и появлением задиров. Кривая 2 характерна для случая обработки жаропрочной и нержавеющей стали, когда

устойчивый нарост образуется лишь при малой скорости резания. Кривая 3 характерна для случая обработки углеродистых и большинства легированных сталей.

Смазочно-охлаждающие вещества уменьшают высоту шероховатостей, однако их влияние заметно лишь в зоне скоростей резания до 60—70 м/мин.

С увеличением подачи шероховатость поверхности увеличивается (рисунок 1.3б). Однако уменьшать подачу целесообразно лишь до некоторого предельного значения, ниже которого чистота поверхности заметно не улучшается, а иногда даже ухудшается. Объясняется это тем, что при малой подаче большое влияние на образование шероховатостей оказывают пластические деформации и неравномерность подачи.

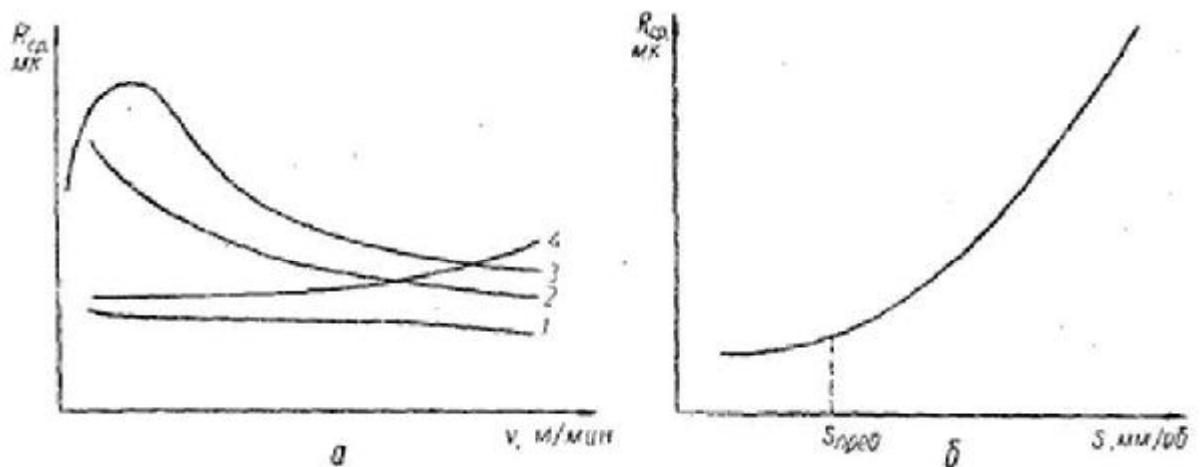


Рисунок 1.3 – Зависимость высоты шероховатости от:

а) скорости резания; б) подачи

Глубина резания практически не влияет на шероховатость поверхности.

При обработке деталей абразивными инструментами шероховатость уменьшается с уменьшением размеров зерна, повышением твердости инструмента, повышением скорости вращения инструмента и детали, уменьшением продольной и поперечной подачи, увеличением числа проходов без поперечной подачи. Однако необходимо учитывать, что каждому классу чистоты соответствует некоторое оптимальное значение

зернистости, при котором производительность получается наибольшей. Применение способа подачи смазочно-охлаждающей жидкости через поры шлифовального круга уменьшает высоту шероховатостей на 20—30%.

При перекрестной правке шлифовальных кругов алмазными инструментами получают поверхности 11—12-го классов чистоты при одном-двух проходах без поперечной подачи.

В процессе механической обработки деталей на металлорежущих станках происходит изменение размеров и формы заготовок, причем с каждой последующей операцией обрабатываемая деталь все больше приближается по своим размерам, форме. И точности к заданным в чертеже. Для того чтобы получить готовую деталь, необходимо произвести несколько операций. Так, например, чтобы обработать вал по второму классу точности (6-му качеству), необходимо вначале выполнить черновую обработку заготовки на токарном станке, затем получистовую и, наконец, окончательную обработку. Для обработки валов меньшей точности число операций будет меньше. Назначаемое число операций зависит также от состояния заготовки и оборудования.

При обработке точных отверстий число операций обычно больше, чем при обработке валов. Это объясняется тем, что на точность обработки отверстий влияют трудности подвода смазочно-охлаждающей жидкости (СОЖ) и отвода стружки, меньшая жесткость режущего инструмента по сравнению с инструментами для обработки валов. Совокупность этих условий требует, с одной стороны, увеличения числа операций, а с другой — некоторого уменьшения подачи при обработке точных отверстий резцами.

На каждой операции с поверхностями заготовки снимается определенный слой металла — припуск. Причем на первых операциях он наибольший и последовательно уменьшается по мере выполнения последующих операций. Распределение припуска обеспечивает более высокую точность обработки и позволяет уже на первых операциях выявить возможный скрытый брак (раковины, закаты, трещины и т.д.), и такая деталь не поступит на

дальнейшую обработку. Снятие больших припусков на первых операциях приводит также к максимальному проявлению внутренних напряжений, что вызывает уже на первых стадиях обработки коробление заготовки (особенно литой или штампованной). Это коробление исправляют в процессе последующей обработки.

## **1.2 Методы и средства контроля и измерений**

У каждой обработанной детали должны быть измерены все или наиболее ответственные размеры, а также определены шероховатость, отклонения формы и расположения поверхностей. Под измерением понимается процесс нахождения числового значения проверяемой величины при помощи специальных технических средств, выраженного в принятых единицах измерения. Какие именно размеры или характеристики геометрической точности обработанных деталей подлежат измерениям в процессе обработки, определяют технологи, разрабатывающие технологический процесс. Указания об этом заносят в карты технологического процесса механической обработки и в карты технического контроля деталей. Вместо определения размеров часто лишь устанавливают годность детали, т.е. определяется, находится ли действительное значение проверяемого размера в установленных пределах. Такой процесс получения и обработки информации о точности детали называют процессом контроля.

Контроль может быть сплошным или выборочным. При сплошном контроле, при котором контролируются все изготовленные детали, проверяют размеры, определяющие эксплуатационные показатели машин, приборов, оборудования (например, размеры диаметра сопел в пневмо- и гидросистемах, размеры диаметров поршня и цилиндра в поршневых машинах и др.) так называемые аварийные параметры, отклонения которых сверх допустимых величин смогут вызвать быстрый выход из строя или аварию механизма или машины в целом (например, шероховатость и форма поверхности тормозных колодок грузоподъемных машин, размеры и форма -

поверхностей пазов и хвостовиков лопаток паровых турбин и др.); размеры деталей, подвергающихся сортировке по группам для выполнения селективной сборки (например, диаметры поршневых пальцев и отверстий верхних головок шатунов в автомобильных двигателях). Сплошному контролю подвергаются также детали, изготавливаемые по технологическому процессу, который не гарантирует стабильное качество деталей. Выборочный контроль целесообразно применять при стабильном, хорошо оснащенном технологическом процессе механической обработки, при использовании многорезцовых наладок, при обработке на станках с ЧПУ, т.е. во всех случаях, когда появление брака маловероятно.

Контроль и измерение обработанных деталей занимают важное место в обеспечении качества и поэтому дальнейшее совершенствование технологических процессов, направленное на повышение точности обработки деталей, улучшающее надежность и долговечность машин и приборов, невозможно без постоянного развития и совершенствования методов и средств измерений, без развития метрологии и совершенствования техники измерений.

Метрология — наука об измерениях, методах и средствах обеспечения их единства и способах достижения требуемой точности. Важная роль метрологии видна из перечисления следующих, основных проблем этой науки: развитие общей теории измерений; установление единиц физических величин, в частности единиц длины и систем физических единиц; разработка новых методов и средств измерений; обеспечение единства измерений и др.

В нашей стране принята и действует метрическая система мер. Для унификации единиц измерения в международном масштабе у нас в стране с 1963 года введена для предпочтительного применения международная система единиц, которая сокращенно обозначается буквами СИ.

Существуют два вида контроля: дифференцированный и комплексный. Дифференцированный, или поэлементный, контроль характеризуется независимым измерением каждого параметра обработанной детали в

отдельности. Комплексный контроль позволяет оценивать годность детали по суммарной погрешности нескольких взаимосвязанных параметров.

В машиностроении используется большое число разнообразных измерительных средств, которые для удобства их рассмотрения классифицируются по ряду характерных признаков.

Все средства измерения, применяемые в машиностроении, разделяются на три основные группы: меры (концевые, угловые и штриховые); измерительные инструменты и приборы, а также контрольные приспособления и калибры. По числу параметров, проверяемых при одной установке детали, различают одномерные и многомерные контрольно-измерительные средства, а по степени механизации процесса измерения — ручного действия, механизированные, полуавтоматические и автоматические. Измерительные средства делят также на универсальные и специальные. Универсальные измерительные средства предназначены для измерения самых различных деталей (как по форме, так и по размерам); специальные, в том числе контрольные приспособления и автоматы, — предназначены для контроля определенного типа деталей, отдельных конкретных деталей или их параметров.

Назначение того или иного метода контроля или измерения обработанной детали требует применения определенных контрольно-измерительных средств, соответствующих принятому методу контроля или измерения, допускаемым погрешностям измерения, объему и типу производства, требованиям экономической целесообразности.

### **1.3 Выбор контрольно-измерительных средств**

Выбор контрольно-измерительных средств зависит от организационно-технических форм контроля, установленных на предприятии; типа производства (индивидуальное, серийное, массовое); конструктивных особенностей контролируемых деталей и необходимой точности их

изготовления; надежности технологи- четких процессов; экономической целесообразности и др.

При использовании на предприятиях массового производства методов селективной сборки изготовленные детали сортируют по размерным группам на основе сплошного контроля с применением высокопроизводительных контрольных приспособлений, контрольных полуавтоматов и автоматов (подшипниковая промышленность, автотракторостроение).

В единичном и мелкосерийном производстве применяются универсальные измерительные средства и предельные калибры, а в крупносерийном и массовом производстве - предельные калибры, специальные и специализированные измерительные средства и измерительные приборы. Для наладки металлорежущего оборудования и технологических процессов при любых видах производства применяют универсальные измерительные средства; плоскопараллельные концевые меры длины, штриховые измерительные приборы и инструменты и др. Конструктивные особенности детали влияют на выбор измерительных средств: детали больших габаритных размеров и массы, а так- же детали, закрепленные на станках, контролируют переносными измерительными средствами.

Выбор средств измерений производят с учетом допустимой погрешности метода и средства измерения, от увеличения которой снижается точность проверки детали. Так, например, если при измерении диаметра вала микрометром инструмент показал значение 18, 23 мм, а погрешность средства измерения составляет  $\pm 0,006$  мм, то это означает, что истинное значение проверяемой величины может отличаться от значения, зафиксированного микрометром, на величину этой погрешности. Погрешности, допускаемые при измерении линейных размеров от 1 до 500 мм, регламентированы государственными стандартами и составляют до 20% (или 35%) допуска на изготовление проверяемых размеров.

При выборе измерительных средств учитывают также экономические соображения. Рассчитывают рентабельность создания и применения сложных измерительных приборов и устройств или контрольно-измерительных автоматов вместо ручного контроля. При этом, с одной стороны, учитывают все затраты, связанные с приобретением и эксплуатацией средств механизации и автоматизации контроля -и, с другой стороны, возможное повышение производительности труда, достоверности и объективности выполнения контрольно-измерительных операций.

Для случаев, когда ручные контрольные операции связаны с физическими перегрузками, а также если перевод на автоматический контроль обеспечивает более высокую надежность проверки особо ответственных деталей, имеет место переход от ручного контроля к автоматическому даже, если он не окупается увеличением производительности труда.

Выбранные с учетом перечисленных и ряда других факторов контрольно-измерительные средства вносят в карты технологического процесса механической обработки деталей, в карты технического контроля или в другие технологические документы.

#### **1.4 Контроль и измерение диаметров валов и отверстий**

Требования, записанные в технологических процессах, обязательны как к окончательным, так и к операционным, т.е. промежуточным, размерам. Невыполнение операционных размеров, которые могут быть предельными, может привести к забракованию детали, так как на последующей операции не всегда удастся достигнуть требуемой точности размеров и геометрической формы.

Для контроля диаметров валов наиболее часто используют гладкие предельные калибры-скобы. Контроль больших размеров или размеров, недоступных для стандартных калибров, производят специальными

калибрами-скобами. Контроль валов скобами требует малых затрат времени, отличается простотой и надежностью. Его используют как для контроля деталей, снятых со станка, так и для контроля деталей непосредственно на станке (но обязательно при полной остановке вращательного движения), например, при снятии пробных стружек, при контроле размеров длинных валов и др.

При контроле валов скобами следует учитывать, что достоверность результата измерения будет убывать с увеличением размера скобы. Дело в том, что при изготовлении скоб большого размера стремятся уменьшать их массу, что, естественно, приводит к снижению жесткости скобы. Свободный размер такой скобы (т.е. размер между измерительными поверхностями в свободном состоянии, когда на скобу не действуют внешние силы) будет отличаться от рабочего размера (размера контрольного вала, на который скоба «входит» под действием собственного веса). Для жестких скоб с размерами более 300 мм это различие в размерах может составлять 20—30 мкм и более, что значительно искажает результаты измерения. Поэтому при контроле жесткими скобами валов больших размеров эту разницу следует учитывать. При контроле валов гладкими предельными скобами станочник (токарь, шлифовщик) использует рабочие калибры, имеющие клейма: Р-ПР (проходная сторона или проходной рабочий калибр) и Р-НЕ (непроходная сторона или непроходной рабочий калибр). Этими же калибрами для контроля обработанной детали на рабочем месте должен пользоваться мастер или контролер ОТК. Если же годные детали сданы на склад, где находятся на временном хранении, то здесь контроль деталей (представителем заказчика или работником ОТК) должен производиться приемными калибрами, имеющими клейма: П-ПР (проходная сторона или проходной приемный калибр) и П-НЕ (непроходная сторона или непроходной приемный калибр). Приемные проходные калибры имеют смещенное поле допуска, учитывающее возможность изготовления детали по изношенным рабочим проходным калибрам.

## **2. Проект электроснабжения ремонтно-механического цеха**

### **2.1 Характеристика объекта электроснабжения, электрических нагрузок и технологического процесса**

Ремонтно-механический цех (РМЦ) предназначен для ремонта и настройки электромеханических приборов, выбывших из строя.

Он является одним из цехов металлургического завода, выплавляющего и обрабатывающего металл. РМЦ имеет два участка, в которых установлено необходимое для ремонта оборудование: токарные, строгальные, фрезерные, сверлильные станки и др. В цехе предусмотрены помещения для трансформаторной подстанции (ТП), вентиляционной, инструментальной, складов, сварочных постов, администрации и пр.

РМЦ получает ЭСН от главной понизительной подстанции (ГПП). Расстояние от ГПП до цеховой ТП- 0,9 км, а от энергосистемы (ЭС) до ГПП- 14 км. Напряжение на ГПП- 6 и 10 кВ.

Количество рабочих смен- 2. Потребители цеха имеют 2 и 3 категорию надежности ЭСН. Грунт в районе РМЦ- чернозем с температурой +20 С. Каркас здания цеха смонтирован из блоков- секций длиной 6 м каждый.

Размеры цеха Д x Ш x В = 48 x 28 x 9 м.

Вспомогательные помещения двухэтажные высотой 4 м.

Перечень оборудования РМЦ дан в таблице 2.1.

Мощность электропотребления ( $P_{эл}$ ) указана для одного электроприемника.

Таблица 1- Перечень оборудования ремонтно-механического цеха.

| № в<br>плане                   | Наименование ЭО              | Рэп,<br>кВт | Примеча<br>ние |
|--------------------------------|------------------------------|-------------|----------------|
| 1                              | 2                            | 3           | 4              |
| Длительный режим               |                              |             |                |
| 1,2                            | Вентиляторы                  | 48          |                |
| 6...<br>8                      | Токарные автоматы            | 12          |                |
| 9...<br>11                     | Зубофрезерные станки         | 15          |                |
| 12<br>...14                    | Круплошлифовальные<br>станки | 4           |                |
| 15<br>...17                    | Заточные станки              | 3           | 1-<br>фазные   |
| 18,<br>19                      | Сверлильные станки           | 3,2         | 1-<br>фазные   |
| 20<br>...25                    | Токарные станки              | 9           |                |
| 26,<br>27                      | Плоскошлифовальные<br>станки | 8,5         |                |
| 28<br>...30                    | Строгальные станки           | 12,5        |                |
| 31<br>...34                    | Фрезерные станки             | 9,5         |                |
| 35<br>...37                    | Расточные станки             | 11,5        |                |
| Повторно-кратковременный режим |                              |             |                |
| 3...<br>5                      | Сварочные агрегаты           | 10          | ПВ = 40<br>%   |
| 38,                            | Краны мостовые               | 25          | ПВ = 60        |

|    |  |  |   |
|----|--|--|---|
| 39 |  |  | % |
|----|--|--|---|

## **2.2 Категория надежности электроснабжения и выбор схемы электроснабжения.**

Надежность электропитания в основном зависит от принятой схемы электроснабжения, степени резервирования отдельных элементов системы электроснабжения (линий, трансформаторов, электрических аппаратов). Для выбора схемы и системы построения электрической сети необходимо учитывать мощность и число потребителей, уровень надежности электроснабжения не потребителей в целом, а входящих в их состав отдельных электроприемников.

Так как электроприемники ремонтно-механического цеха имеют вторую и третью категории надежности электроснабжения, то питание цеха осуществляется от одного трансформатора, расположенного в помещении ТП.

Цеховые сети делят на питающие, которые отходят от источника питания, и распределительные, к которым присоединяются электроприемники. Схемы электрических сетей могут выполняться радиальными и магистральными.

Радиальные схемы характеризуются тем, что от источника питания, например от распределительного щита ТП, отходят линии, питающие крупные электроприемники или групповые распределительные пункты, от которых, в свою очередь, отходят самостоятельные линии, питающие прочие мелкие электроприемники. Радиальные схемы обеспечивают высокую надежность питания, в них легко могут быть применены элементы автоматики.

С учетом количества и мощностей станков и установок применяем для цеха радиальную схему электроснабжения.

Все электроприемники разбиваем на шесть распределительных пункта, расположенных у стен. Питание двух мостовых кранов осуществляется прямо с шин низкого напряжения силового трансформатора.

Кроме шести РП имеется один щит освещения ЩО.

### 2.3 Расчет электрических нагрузок цеха.

РП-4 и РП-5 содержат однофазные электроприемники, для них необходимо привести 1-фазные нагрузки к условно 3-фазной мощности:

$$\text{РП-4: } P_{AC} = 2,3 \text{ кВт}, P_{AB} = 2,3 \text{ кВт}, P_{BC} = 3 \text{ кВт}.$$

$$P_A = \frac{2p}{2} = p = 3,2 \text{ кВт};$$

$$P_B = P_A = 3,2 \text{ кВт};$$

$$P_y^{(3)} = 3 P_{\text{мф}}^{(1)} = 3 * 3,2 = 9,6 \text{ кВт},$$

где  $P_{\text{мф}}^{(1)}$  - мощность наиболее загруженной фазы, которая определяется, как полусуммы двух плеч, прилегающих к данной фазе (Рисунок 2.1):

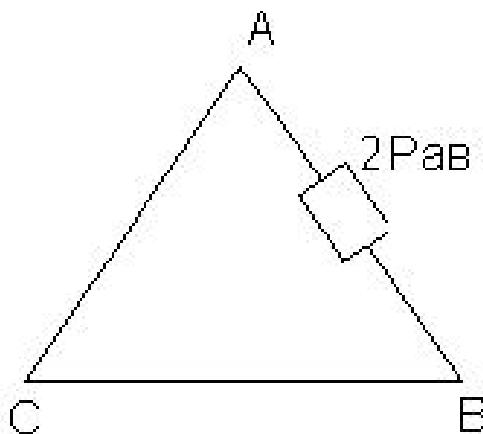


Рисунок 2.1- Схема включения 1-фазных нагрузок на линейное напряжение

Расчеты для РП-5 производятся аналогично вышеприведенным.

Произведем расчет электрических нагрузок по методу коэффициента максимума (упорядоченных диаграмм).

Расчет выполним на примере РП-1.

1) По справочным данным [2] определяем для каждого электроприемника коэффициент использования  $K_{и}$  и коэффициент мощности  $\cos \phi$ .

Для токарных автоматов:

$$K_{и} = 0,12; \quad \cos \phi = 0,4.$$

$$\text{Отсюда } \sin \phi = \sqrt{1 - \cos^2 \phi} = \sqrt{1 - 0,4^2} = 0,91;$$

$$\operatorname{tg} \phi = \frac{\sin \phi}{\cos \phi} = \frac{0,91}{0,4} = 2,27;$$

Для зубофрезерных и круглошлифовальных станков расчеты аналогичны

2) Определяем коэффициент силовой сборки  $m$  по формуле:

$$m = \frac{P_{\text{наиб}}}{P_{\text{наим}}},$$

где  $P_{\text{наиб}}$  – наибольшая из мощностей электроприемников данной группы;

$P_{\text{наим}}$  – наименьшая из мощностей приемников данной группы

$$m = \frac{P_{\text{наиб}}}{P_{\text{наим}}} = \frac{15}{4} = 3,75$$

В данном случае

3) Определяем активную сменную мощность:

$$P_{\text{см}} = \sum P_{и} * K_{и},$$

где  $\sum P_{и}$  – суммарная мощность одного вида приемников, кВт.

$$P_{\text{см}} = \sum P_{и} * K_{и} = 36 * 0,12 = 4,32 \text{ кВт} - \text{для токарных автоматов};$$

$$P_{\text{см}} = \sum P_{и} * K_{и} = 45 * 0,12 = 5,4 \text{ кВт} - \text{для зубофрезерных станков};$$

$$P_{\text{см}} = \sum P_{и} * K_{и} = 12 * 0,12 = 1,44 \text{ кВт} - \text{для круглошлифовальных станков}.$$

4) Находим реактивную сменную мощность:

$$Q_{см} = P_{см} * \operatorname{tg} \varphi, \text{ кВ Ар}$$

$$Q_{см} = 4,32 * 2,27 = 9,8 \text{ кВ Ар} - \text{для токарных автоматов};$$

$$Q_{см} = 5,4 * 2,27 = 12,25 \text{ кВ Ар} - \text{для зубофрезерных станков};$$

$$Q_{см} = 1,44 * 2,27 = 3,26 \text{ кВ Ар} - \text{для круглошлифовальных станков}.$$

5) Зная реактивную и активную мощности находим полную мощность, среднюю за смену

$$S_{см} = \sqrt{P_{см}^2 + Q_{см}^2}, \text{ кВА}$$

$$S_{см} = \sqrt{4,32^2 + 9,8^2} = 10,7 \text{ кВА} - \text{для токарных автоматов};$$

$$S_{см} = \sqrt{5,4^2 + 12,25^2} = 13,38 \text{ кВА} - \text{для зубофрезерных станков};$$

$$S_{см} = \sqrt{1,44^2 + 3,26^2} = 3,56 \text{ кВА} - \text{для круглошлифовальных станков}.$$

6) Выбираем эффективное число электроприёмников  $n_3$  для РП-1 из условия  $n_3$  ( $k_{ср} u = 0,12$ ;  $n = 9$ ;  $m = 3,75$ ;  $P = \text{const}$ ) по Таблице 1.5.2 [1].

Для РП-1 получаем  $n_3 = n_3^* * \eta_1$

$$n_3^* = F(n^*, P^*)$$

$$\frac{n_1}{n} = \frac{6}{9} = 0,66$$

$$n^* =$$

$$= \frac{P_{n1}}{P_{н.н.}} = \frac{31}{93} = 0,879$$

$$P^* =$$

$$n^* = 0,81$$

$$n_3 = 0,81 * 9 = 7,29$$

7) Определяем коэффициент максимума активной нагрузки  $K_m$ , исходя из условия  $n_3 = 7,95$ ;  $K = 0,12$ ;  $m = 3,75 \Rightarrow K_m = 2,88$

Коэффициент максимума реактивной нагрузки равен  $K_m = 1,1$

8) Определяем максимальную активную мощность для РП-1:

$$P_m = K_m * \sum P_{cm} = 2.88 * 11.16 = 32.14 \text{ кВт},$$

где  $\sum P_{cm}$  – суммарная активная сменная мощность для данного РП, кВт.

9) Максимальная реактивная мощность:

$$Q_m = Q_{cm} * K'_m = 25.31 * 0.7 = 27.84 \text{ кВАр},$$

10) Полная максимальная мощность для РП-1:

$$S_m = \sqrt{P_m^2 + Q_m^2} = \sqrt{32.14^2 + 27.84^2} = 42.52 \text{ кВА}$$

11) Максимальный рабочий ток для РП:

$$I_m = \frac{S_m}{\sqrt{3} * U_H} = \frac{42.52}{\sqrt{3} * 0.38} = 64.6 \text{ А}$$

12) Рассчитаем нагрузку на ЩО по формуле:

$$P_{м(щО)} = S * P_0\% = 1344 * 0.01 = 13.4 \text{ кВт},$$

где  $S$  – площадь цеха, м<sup>2</sup>;

$P_0\% = 0.01\%$  – норма освещения для заводского помещения, %

Расчеты для пяти других РП производятся аналогично вышеприведенным.

Для кранов номинальная мощность находится по формуле:

$$P_k = S_k * \sqrt{PIB} = 25 * \sqrt{0.6} = 19 \text{ кВт}$$

*Расчет потерь мощности в трансформаторе.*

1) Потери активной мощности:

$$\Delta P = 0.02 * S_{HH} = 0.02 * 322.68 = 6.45 \text{ кВт},$$

где  $S_{HH}$  – мощность на шинах низкого напряжения,  $S_{HH} = S_m$ .

2) Потери реактивной мощности:

$$\Delta Q = 0.01 * S_{HH} = 0.01 * 328.79 = 3.28 \text{ кВАр},$$

3) Потери полной мощности:

$$\Delta S = \sqrt{\Delta P^2 + \Delta Q^2} = \sqrt{6.45^2 + 3.28^2} = 7.23 \text{ кВА},$$

4) Активная и реактивная мощности на шинах высокого напряжения:

$$P_{BH} = P_m + \Delta P = 295.56 + 6.45 = 302.01 \text{ кВт},$$

$$Q_{BH} = Q_m + \Delta Q = 129.49 + 3.28 = 132.77 \text{ кВАр},$$

5) Полная мощность на шинах ВН:

$$S_{\text{вн}} = \sqrt{P_{\text{вн}}^2 + Q_{\text{вн}}^2} = \sqrt{302.01^2 + 132.77^2} = 329.9 \text{ кВА}$$

6) Так как для данного предприятия графики нагрузок не заданы, то выбираем мощность трансформатора из условия:

$$S_{\text{T}} \geq S_{\text{м}};$$

$$S_{\text{T}} \geq 322,68 \text{ кВА};$$

Принимаем ближайшую стандартную мощность  $S_{\text{T}} = 400 \text{ кВА}$ .

7) Вычислим коэффициент загрузки трансформатора:

$$K_z = S_{\text{вн}} / S_{\text{T}} = 322,68 / 400 = 0,8$$

#### 2.4. Расчет компенсирующего устройства

Для выбора компенсирующего устройства (КУ) необходимо знать:

- расчетную реактивную мощность КУ;
- тип компенсирующего устройства;
- напряжение КУ.

Расчетную реактивную мощность КУ можно определить из выражения [1]:

$$Q_{\text{к.р}} = \alpha P_{\text{м}} (\text{tg}\phi - \text{tg}\phi_{\text{к}}) \quad (2.1)$$

где  $Q_{\text{к.р}}$  – расчетная мощность КУ, кВАр;

$\alpha$  – коэффициент, учитывающий повышение  $\cos\phi$  естественным способом, принимается  $\alpha = 0,9$ ;

$\text{tg}\phi$ ,  $\text{tg}\phi_{\text{к}}$  – коэффициенты реактивной мощности до и после компенсации.

Рассчитаем компенсирующее устройство:

1) Значения  $\cos\phi$  и  $\text{tg}\phi$  до компенсации:

$$\cos\phi = \frac{P_{\text{м}}}{S_{\text{м}}} = \frac{295.56}{322.68} = 0,91; \quad \text{откуда } \text{tg}\phi = 0,45;$$

После компенсации принимаем  $\cos\phi_{\text{к}} = 0,95$  (из пределов  $\cos\phi = 0,92 \dots 0,95$ ), соответственно  $\text{tg}\phi_{\text{к}} = 0,33$ ;

2) Подставив найденные значения в формулу (4.1) получим расчетную реактивную мощность КУ:

$$Q_{к.р} = \alpha P_m (\operatorname{tg} \phi - \operatorname{tg} \phi_k) = 0,9 * 295,56 (0,45 - 0,33) = 31,9 \text{ кВАр.}$$

Согласно найденной мощности выбираем из справочника компенсирующее устройство со стандартной мощностью 75 кВАр – УКН – 0,38 – 75 УЗ

3) Определяем фактическое значение  $\cos \phi$

$$\operatorname{tg} \phi_{\phi} = \operatorname{tg} \phi - \frac{Q_{к.см}}{\alpha P_m} = 0,45 - \frac{75}{0,9 * 495,56} = 0,12 ;$$

$$\text{отсюда } \cos \phi = 0,98.$$

Результаты расчетов заносим в Таблицу 2.2.

Таблица 2.2. – Сводная ведомость нагрузок

| Параметр              | Cos<br>$\phi$ | tg<br>$\phi$ | Pм,<br>кВт | Qм,<br>квар | Sm,<br>кВА |
|-----------------------|---------------|--------------|------------|-------------|------------|
| Всего на НН без<br>КУ | 0,9<br>1      | 0,<br>45     | 495,5<br>6 | 129,<br>49  | 322,<br>68 |
| КУ                    |               |              |            | 75          |            |
| Всего на НН с<br>КУ   | 0,9<br>8      | 0,<br>12     | 495,5<br>6 | 54,4<br>9   | 300,<br>54 |
| Потери                |               |              | 6,45       | 3,28        | 7,23       |
| Всего на ВН с<br>КУ   |               |              | 302        | 57,7<br>7   | 307,<br>47 |

4) Определяем расчетную мощность трансформатора с учетом потерь:

$$\Delta P_T = 0,02 * S_{НН} = 0,02 * 322,68 = 6,45 \text{ кВт,}$$

$$\Delta Q_T = 0,1 * S_{НН} = 0,1 * 322,68 = 38,86 \text{ кВАр;}$$

$$\Delta S_T = \sqrt{\Delta P_T^2 + \Delta Q_T^2} = \sqrt{6,45^2 + 38,86^2} = 39,4 \text{ кВА}$$

## 2.5 Выбор силового трансформатора

По справочнику выбираем трансформатор ТМ – 400 со стандартной мощностью  $S_T = 400$  кВА.

Паспортные данные трансформатора:

$$U_{ВН} = 10 \text{ кВ};$$

$$U_{НН} = 0,4 \text{ кВ};$$

$$P_{ХХ} = 1,45 \text{ кВт};$$

$$P_{КЗ} = 5,5 \text{ кВт};$$

$$U_K = 4,5 \text{ \%};$$

$$I_{КЗ} = 2,1 \text{ \%}$$

Коэффициент загрузки трансформатора:

$$K_3 = S_{НН} / S_T = 307,47 / 400 = 0,76$$

## **2.6. Расчет и выбор элементов системы электроснабжения.**

### **2.6.1 Выбор аппаратов защиты и РУ.**

При эксплуатации электросетей длительные перегрузки проводов и кабелей, КЗ вызывают повышение температуры токопроводящих жил больше допустимой. Это приводит к преждевременному износу их изоляции, следствием чего может быть пожар, взрыв, поражение персонала.

Для предотвращения этого линия ЭСН имеет аппарат защиты, отключающий поврежденный участок.

Автоматические выключатели являются наиболее совершенными аппаратами защиты, надежными, срабатывающими при перегрузках и КЗ в линии.

Выключатели серии ВА разработок 51, 52, 53, 55 предназначены для отключений при КЗ и перегрузках в электрических сетях, отключений при недопустимых снижений напряжения, а также для нечастых оперативных включений и отключений электрических цепей. Выключатели серии ВА-51 и ВА-52 имеют тепловой и электромагнитный расцепители. Выключатели ВА-

53, ВА-55 и ВА-75 имеют полупроводниковый максимальный расцепитель с регулированием ступеней.

1) Для выбора выключателя для линии с одним двигателем необходимо выполнить условие:

$$I_{н.р} \geq 1,25 I_{н.д} \quad (2.2)$$

где  $I_{н.р}$  - номинальный ток расцепителя, А;

$I_{н.д}$  - номинальный ток двигателя, А (максимальный ток в линии).

2) Рассчитаем токи в линиях, отходящих от РП:

Номинальный ток двигателей станков определяется по формуле:

$$I_{н.д} = \frac{P_n}{\sqrt{3} * U_n * \cos \phi * \eta}, \quad (2.3)$$

где  $P_n$  – номинальная мощность двигателя, кВт;

$\cos \phi$  и  $\eta$  – средний коэффициент мощности и КПД соответственно.

Принимаем  $\cos \phi = 0,7$ ;  $\eta = 0,88$ .

Для электропечей и сварочных аппаратов принимают:

$$I_n = \frac{P_n}{\sqrt{3} * U_n} \quad (2.4)$$

3) Для токарных автоматов:

$$I_{н.д} = \frac{12}{\sqrt{3} * 0,38 * 0,4 * 0,88} = 52,17 \text{ А};$$

$$I_{н.р} = 1,25 * I_{н.д} = 1,25 * 52,17 = 65,2 \text{ А}$$

Соответственно выбираем выключатель ВА-51-31 с  $I_{н.р} = 80 \text{ А}$ ;

Для зубофрезерных станков:

$$I_{н.д} = \frac{15}{\sqrt{3} * 0,38 * 0,4 * 0,88} = 55,21 \text{ А};$$

$$I_{н.р} = 1,25 * I_{н.д} = 1,25 * 55,21 = 69,01 \text{ А}$$

Выбираем выключатель ВА-51-31 с  $I_{н.р} = 100 \text{ А}$ ;

Для круглошлифовальных станков соединенных в магистральную схему питающей сети:

$$I_{н.д} = \frac{4}{\sqrt{3} * 0,38 * 0,4 * 0,88} = 17,39 \text{ А};$$

$$I_{н.р} = 1,25 * I_{н.д} = 1,25 * 17,39 = 21,73 \text{ А}$$

Выбираем выключатель ВА-51-25 с  $I_{н.р} = 25 \text{ А}$ ;

Для круглошлифовальных станков соединенных в радиальную схему питающей сети:

$$I_{н.д} = \frac{8}{\sqrt{3} * 0,38 * 0,4 * 0,88} = 34,78 \text{ А};$$

$$I_{н.р} = 1,25 * I_{н.д} = 1,1 * 34,78 = 38,25 \text{ А}$$

Выбираем выключатель ВА-51-31 с  $I_{н.р} = 80 \text{ А}$ ;

Расчеты для пяти других РП производятся аналогично вышеприведенным.

Полученные данные и паспортные данные автоматов заносятся в ведомость монтируемого оборудования

4) При выборе выключателя для линии с группой электродвигателей (РП) необходимо выполнить следующее условие:

$$I_{н.р} \geq 1,1 I_{м} \quad (2.5)$$

где  $I_{м}$  – максимальный ток в линии, берется из сводной ведомости электрических нагрузок.

$$5) \text{ Для РП-1 } I_{н.р} = 1,1 * I_{м} = 1,1 * 64,6 = 71,06 \text{ А}$$

Выбираем выключатель ВА-51-31 с  $I_{н.р} = 80 \text{ А}$ ;

$$\text{Для РП-2 } I_{н.р} = 1,1 * I_{м} = 1,1 * 151,49 = 166,63 \text{ А}$$

Выбираем выключатель ВА-51-35 с  $I_{н.р} = 200 \text{ А}$ ;

$$\text{Для РП-3 } I_{н.р} = 1,1 * I_{м} = 1,1 * 16,27 = 17,9 \text{ А}$$

Выбираем выключатель ВА-51-25 с  $I_{н.р} = 20 \text{ А}$ ;

$$\text{Для РП-4 } I_{н.р} = 1,1 * I_{м} = 1,1 * 110,91 = 122 \text{ А}$$

Выбираем выключатель ВА-51-33 с  $I_{н.р} = 125 \text{ А}$ ;

$$\text{Для РП-5 } I_{н.р} = 1,1 * I_{м} = 1,1 * 4,05 = 4,45 \text{ А}$$

Выбираем выключатель ВА-51-25 с  $I_{н.р} = 5 \text{ А}$ ;

$$\text{Для РП-6 } I_{н.р} = 1,1 * I_{м} = 1,1 * 129,44 = 142,38 \text{ А}$$

Выбираем выключатель ВА-51-33 с  $I_{н.р} = 160 \text{ А}$ ;

### 2.6.2 Выбор проводников линий электрооборудования

Для внутрицехового электрооборудования, для питания электрооборудования применяем медный и алюминиевый четырехжильный кабель с поливинилхлоридной изоляцией марки ВВГ и АВВГ. Для питания мостовых кранов применяем гибкий кабель марки КППС.

Кабель марок ВВГ и АВВГ применяются для электрооборудования электроприемников. Способ прокладки в сухих и влажных производственных помещениях, на специальных кабельных эстакадах и в блоках.

Кабель марки КППС применяется для присоединения передвижных механизмов к электрическим сетям на номинальное переменное напряжение до 660 В частотой до 400 Гц или постоянное напряжение до 1000 В.

Сечения кабелей выбираем из справочных данных [7]. Основное условие выбора:

$$I_{\text{доп}} \geq I_{\text{н.д}}$$

где  $I_{\text{доп}}$  - допустимая токовая нагрузка для данного кабеля с данным сечением;

$I_{\text{н.д}}$  – расчетный ток в линии

Сравнивая эти токи, подбираем стандартные сечения кабелей ВВГ и КППС. Данные о выбранных проводниках заносятся в ведомость монтируемого оборудования.

Для линий от ТП к распределительным пунктам применяем кабель марки СПШВ, в соответствии с расчетными токами находим сечения

- для РП-1 СПШВ- 4×16,  $I_{\text{доп}} = 80 \text{ A}$ ;
- для РП-2 СПШВ- 4×70,  $I_{\text{доп}} = 185 \text{ A}$ ;
- для РП-3 ВВГ - 4×4,  $I_{\text{доп}} = 35 \text{ A}$ ;
- для РП-4 СПШВ- 4×50,  $I_{\text{доп}} = 145 \text{ A}$ ;
- для РП-5 ВВГ- 4×4,  $I_{\text{доп}} = 35 \text{ A}$ ;
- для РП-6 СПШВ- 4×70,  $I_{\text{доп}} = 185 \text{ A}$ ;

СПШВ- кабель с медными жилами с бумажной изоляцией, пропитанной маслоканифольной и нестекающей массажи, в свинцовой оболочке, прокладываемый в воздухе.

## 2.7. Расчет и выбор питающей линии 10 кВ

Для внешнего электроснабжения ремонтно-механического цеха имеется возможность применения воздушной линии, поэтому берем неизолированные провода. Линия одноцепная.

Для ВЛ характерны особые условия работы они находятся постоянно под высоким напряжением; подвергаются воздействию ветра, резких колебаний температуры воздуха и влажности; подвергаются воздействию разрядов молнии, гололеда, снега.

Под допустимой нагрузкой неизолированных проводов по условиям нагрева понимается токовая нагрузка повышающая температуру провода до предельного значения ( $70^{\circ}\text{C}$  при полном безветрии).

Выбираем сталеалюминиевый провод марки АС – 10/1,8 ;  $I_{\text{доп}} = 84 \text{ А}$  [7]  
Проверка проводов по нагреву выполняется из соотношения

$$I_{\text{п.а}} \leq I_{\text{доп.факт}} \quad (2.6)$$

где  $I_{\text{доп.факт}}$  – фактическая допустимая нагрузка на провод, определяется из выражения

$$I_{\text{доп.факт}} = I_{\text{доп}} * k_v * k_{\text{пер}} = 84 * 1 * 1,3 = 109,2 \text{ А};$$

где  $k_v = 1$  – поправочный коэффициент при температуре воздуха  $+25^{\circ}\text{C}$ ;

$k_{\text{пер}} = 1,3$  - коэффициент перегрузки проводов [5];

$I_{\text{п.а}}$  ( $I_p$ )– расчетный ток в послеаварийном режиме для проверки проводов по нагреву. Он определяется по формуле:

$$I_p = I_5 * a_i * a_t ;$$

где  $a_i = 1,05$  – коэффициент, учитывающий изменения нагрузки по годам эксплуатации;

$a_t$  – коэффициент, учитывающий число часов использования максимальной нагрузки линии ( $T_M$ ) и коэффициент ее попадания в максимум нагрузки энергосистемы  $a_t = 1$  при  $T_M = 5500$  ч;

$I_5$  – ток линии на пятый год ее эксплуатации, находится по формуле:

$$I_5 = \frac{S_{\text{вн}}}{\sqrt{3} * n_{\text{л}} * U_{\text{л}}} = \frac{329.9}{\sqrt{3} * 1 * 10} = 19.4$$

где  $S_{\text{вн}}$  – полная мощность, передаваемая по линии, в данном случае берем ее из таблицы 2

$n_{\text{л}}$  – количество цепей линии.

$$I_p = 19 * 1.05 * 1 = 19.95 \text{ A}$$

Таким образом, возвращаясь к соотношению (2.6), получаем

$$I_{\text{п.а}} = 19 \leq I_{\text{доп.факт}} = 19.95 \text{ A.}$$

То есть, выбранное сечение по условию нагрева подходит.

## 2.8 Расчет токов короткого замыкания в сети напряжением выше 1 кВ

Для расчетов составляем расчетную схему (Рисунок 2.2а) и схему замещения (Рисунок 2.2-б), в которых учитываем сопротивления трансформаторов на ГПП, линии от энергосистемы до ГПП и линию от ГПП до цехового трансформатора.

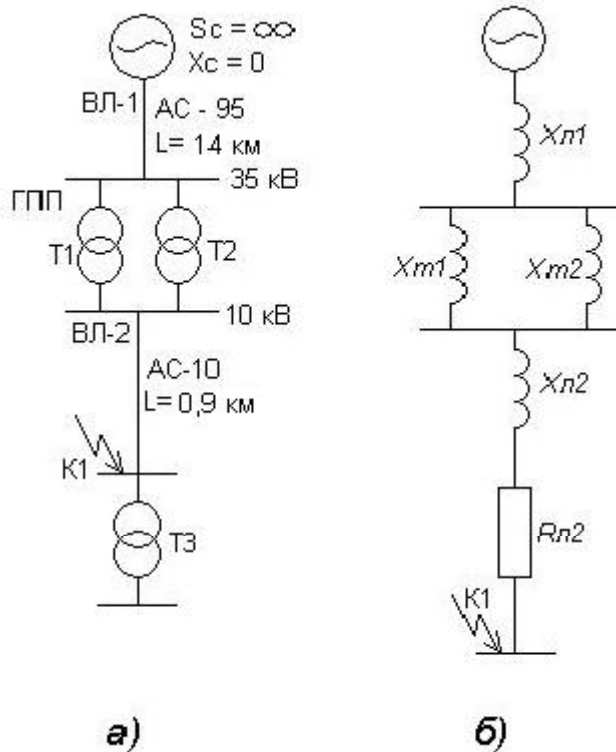


Рисунок 2.2 – Расчетная схема (а) и схема замещения (б)

Считаем, что питание осуществляется от системы неограниченной мощности, следовательно  $X_c = 0$ . Для генераторов, трансформаторов, высоковольтных линий обычно учитывают только индуктивные сопротивления. Для ВЛ-2 учитываем также и активное сопротивление.

ВЛ-1 выполнена проводом АС-95;  $x_0 = 0,4$  Ом/км.

ВЛ-2 выполнена проводом АС-10;  $x_0 = 0,4$  Ом/км.

На ГПП принимаем два трансформатора ТМ-1 напряжением 35/10,5 кВ; мощностью по 1000 кВА; потери напряжения на КЗ  $U_k = 6,5\%$  [4].

Принимаем базисную мощность  $S_b = 100$  МВА. Расчет сопротивлений производим в относительных единицах.

1) Вычисляем сопротивления элементов схемы:

$$\text{ВЛ-1: } X_{n1} = x_0 * l * \frac{S_b}{U_n^2} = 0,4 * 14 * \frac{100}{35^2} = 0,45 ;$$

$$\text{ВЛ-2: } X_{n2} = x_0 * l * \frac{S_b}{U_n^2} = 0,4 * 0,9 * \frac{100}{10^2} = 0,36 ;$$

Трансформаторы на ГПП:

$$X_{\Sigma} = (0,01 * U_{\Sigma} * \frac{S_{\Sigma}}{U_{\Sigma}}) / 2 = (0,01 * 6,5 * \frac{100}{1}) / 2 = 3,25 ;$$

Для расчета активного сопротивления необходимо найти удельное активное сопротивление  $r_0$ :

$$r_0 = \frac{1000}{\gamma * S} = \frac{1000}{30 * 10} = 3,33 \text{ Ом/км};$$

где  $\gamma$  – удельная проводимость материала, для алюминия  $\gamma = 30 \text{ м/(Ом*мм}^2\text{)}$ ;

$S$  – сечение проводника,  $\text{мм}^2$ .

Определяем активное сопротивление для ВЛ-2:

$$R_{\Sigma 2} = r_0 * l * \frac{S_{\Sigma}}{U_{\Sigma}^2} = 3,33 * 0,9 * \frac{100}{10^2} = 2,99$$

Суммарное и полное сопротивления до точки КЗ:

$$X_{\Sigma} = X_{\Sigma 1} + X_{\Sigma} + X_{\Sigma 2} = 0,45 + 3,25 + 0,36 = 4,06;$$

$$Z_{\Sigma} = \sqrt{X_{\Sigma}^2 + r_{\Sigma 2}^2} = \sqrt{4,06^2 + 2,99^2} = 5,04 ;$$

2) Базисный ток находится по формуле:

$$I_{\Sigma} = \frac{S_{\Sigma}}{\sqrt{3} * U_{\Sigma}} = \frac{100}{\sqrt{3} * 10} = 5,78 \text{ кА} ;$$

3) Ток короткого замыкания в точке К1:

$$I_{K1} = \frac{I_{\Sigma}}{Z_{\Sigma}} = \frac{5,78}{5,04} = 1146 \text{ А} ;$$

4) Определяем ударный ток КЗ. Так как активные сопротивления в схеме практически не учитываются, то принимаем значения ударного коэффициента  $K_y = 1,8$  и  $q = 1,52$

Ударный ток КЗ:

$$i_y = \sqrt{2} * K_y * I_{K1} = \sqrt{2} * 1,8 * 1146 = 2,92 \text{ кА} ;$$

5) Мощность короткого замыкания

$$S_k = \frac{S_{\Sigma}}{Z_{\Sigma}} = \frac{100}{5,04} = 19,84 \text{ МВА} ;$$

б) Действующее значение тока КЗ в установившемся режиме:

$$I_s^{(3)} = q * I_{k1} = 1,52 * 1,146 = 1,74 \text{ кА} .$$

## 2.9. Расчет токов короткого замыкания в сети напряжением до 1кВ.

### 2.9.1 Выбор точек и расчет токов КЗ

Расчетная схема от цехового трансформатора до вентилятора представлена на рисунке 2.3а.

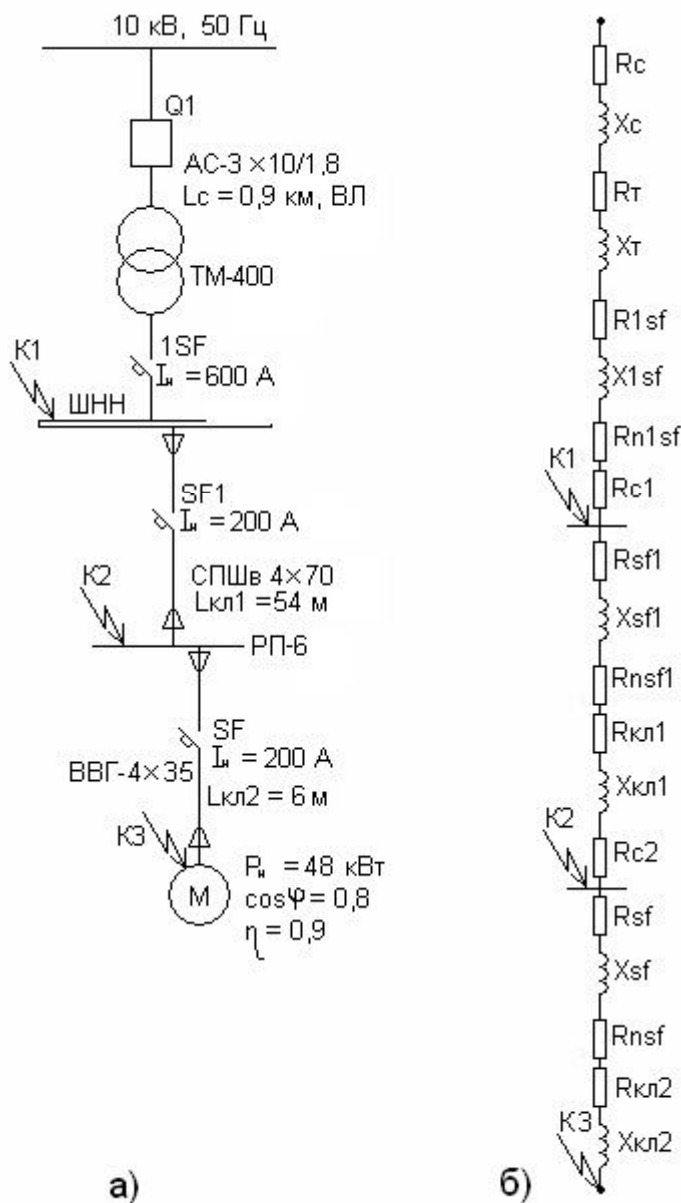


Рисунок 2.3 – Расчетная схема(а) и схема замещения(б) для расчета токов КЗ.

$$L_{BH} = 0,9 \text{ км};$$

$$L_{кп1} = 54 \text{ м (расстояние от шин НН до РП-6);}$$

$$L_{кп2} = 6 \text{ м (длина линии от РП-6 до вентилятора).}$$

Рядом с автоматами даны их номинальные токи. Расчет токов КЗ производим в трех точках – К1, К2 и К3.

1) Составляем схему замещения (Рисунок 5-б), и нумеруем точки КЗ в соответствии с расчетной схемой.

2) Вычисляем сопротивления элементов по соответствующим формулам.

Для системы:

$$I_c = \frac{S_T}{\sqrt{3} * U_c} = \frac{400}{\sqrt{3} * 10} = 23 \text{ А} \quad \text{- ток системы;}$$

Наружная ВЛ согласно 7 разделу курсового проекта –

$$\text{АС-3} \times 10/1,8; \quad I_{доп} = 84 \text{ А};$$

Удельные сопротивления провода (согласно предыдущим расчетам):

$$x_0 = 0,4 \text{ Ом/км; откуда } X'_c = x_0 * L_c = 0,4 * 0,9 = 0,36 \text{ Ом};$$

$$r_0 = 3,33 \text{ Ом/км; } R'_c = r_0 * L_c = 3,33 * 0,9 = 2,99 \text{ Ом}$$

Приводим сопротивления к стороне низкого напряжения

$$R_c = R'_c * \left(\frac{U_{HH}}{U_{BH}}\right)^2 = 2,99 * \left(\frac{0,4}{10}\right)^2 * 10^3 = 4,78 \text{ МОм};$$

$$X_c = X'_c * \left(\frac{U_{HH}}{U_{BH}}\right)^2 = 0,36 * \left(\frac{0,4}{10}\right)^2 * 10^3 = 0,57 \text{ МОм};$$

Для трансформатора сопротивления находим по таблице 1.9.1 [1] для мощности 630 кВА:

$$R_T = 5,5 \text{ МОм; } X_T = 17,1 \text{ МОм; } Z_T^{(1)} = 195 \text{ МОм}.$$

Для автоматов в соответствии с номинальным током выключателей по таблице определяем:

$$R_{1SF} = 0,12 \text{ МОм; } X_{1SF} = 0,13 \text{ МОм; } R_{n1SF} = 0,25 \text{ МОм;}$$

$$R_{SF1} = 0,4 \text{ МОм; } X_{SF1} = 0,5 \text{ МОм; } R_{nSF1} = 0,6 \text{ МОм;}$$

$$R_{SF} = 0,4 \text{ МОм; } X_{SF} = 0,5 \text{ МОм; } R_{nSF} = 0,6 \text{ МОм.}$$

Для кабельных линий в зависимости от сечения и материала жилы, а также от вида изоляции удельные сопротивления находим по таблице .

Для КЛ1:  $x_0 = 0,08 \text{ МОм/м}$ ;  $r_0 = 0,154 \text{ МОм/м}$ ;

$R_{кл1} = r_0 \cdot L_{кл1} = 0,154 \cdot 54 = 8,32 \text{ МОм}$ ;

$X_{кл1} = x_0 \cdot L_{кл1} = 0,08 \cdot 54 = 4,32 \text{ МОм}$ ;

Для КЛ2:  $x_0 = 0,085 \text{ МОм/м}$ ;  $r_0 = 0,37 \text{ МОм/м}$ ;

$R_{кл2} = r_0 \cdot L_{кл2} = 0,37 \cdot 6 = 2,22 \text{ МОм}$ ;

$X_{кл2} = x_0 \cdot L_{кл2} = 0,085 \cdot 6 = 0,51 \text{ МОм}$ ;

Для ступеней распределения (ШНН и РП-6) сопротивления определяем по таблице :

$R_{с1} = 15 \text{ МОм}$ ;  $R_{с2} = 20 \text{ МОм}$ .

3) Упрощаем схему замещения (Рисунок 2.4):

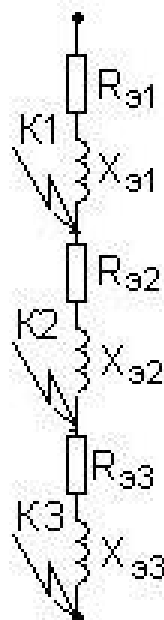


Рисунок 2.4– Упрощенная схема

$R_{э1} = R_c + R_T + R_{1SF} + R_{n1SF} + R_{с1} = 4,78 + 5,5 + 0,12 + 15 + 0,25 = 25,65 \text{ МОм}$ ;

$X_{э1} = X_c + X_T + X_{1SF} = 0,57 + 17,1 + 0,13 = 17,8 \text{ МОм}$ ;

$R_{э2} = R_{SF1} + R_{nSF1} + R_{кл1} + R_{с2} = 0,4 + 0,6 + 8,32 + 20 = 29,32 \text{ МОм}$ ;

$X_{э2} = X_{SF1} + X_{кл1} = 0,5 + 4,32 = 4,82 \text{ МОм}$ ;

$$R_{\Sigma 3} = R_{SF} + R_{nSF} + R_{кл2} = 0,4 + 0,6 + 2,22 = 3,22 \text{ МОм};$$

$$X_{\Sigma 3} = X_{SF} + X_{кл2} = 0,51 + 0,5 = 1,01 \text{ МОм}.$$

4) Вычисляем сопротивления до каждой точки КЗ:

$$R_{k1} = R_{\Sigma 1} = 25,65 \text{ МОм}; \quad X_{k1} = X_{\Sigma 1} = 17,8 \text{ МОм};$$

$$\text{отсюда } Z_{k1} = \sqrt{R_{k1}^2 + X_{k1}^2} = \sqrt{25,65^2 + 17,8^2} = 31,22 \text{ МОм};$$

$$R_{k2} = R_{\Sigma 1} + R_{\Sigma 2} = 25,65 + 29,32 = 54,97 \text{ МОм};$$

$$X_{k2} = X_{\Sigma 1} + X_{\Sigma 2} = 17,8 + 4,82 = 22,62 \text{ МОм};$$

$$Z_{k2} = \sqrt{54,97^2 + 22,62^2} = 59,44 \text{ МОм}$$

$$R_{k3} = R_{k2} + R_{\Sigma 3} = 54,97 + 3,22 = 58,19 \text{ МОм};$$

$$X_{k3} = X_{k2} + X_{\Sigma 3} = 22,62 + 1,01 = 23,63 \text{ МОм};$$

$$Z_{k3} = \sqrt{58,19^2 + 23,63^2} = 62,8 \text{ МОм};$$

Определяем отношения активного и реактивного сопротивлений:

$$\frac{R_{k1}}{X_{k1}} = \frac{25,65}{17,8} = 1,44; \quad \frac{R_{k2}}{X_{k2}} = \frac{54,97}{22,62} = 2,43; \quad \frac{R_{k3}}{X_{k3}} = \frac{58,19}{23,63} = 2,46.$$

5) Исходя из найденных отношений по зависимости  $K_y = F\left(\frac{R_k}{X_k}\right)$  [1] определяем ударные коэффициенты ( $K_y$ ) и коэффициенты действующего значения ударного тока ( $q$ ):

$$K_{y1} = 1; \quad q_1 = \sqrt{1 - 2 * (K_{y1} - 1)^2} = 1;$$

$$K_{y2} = 1; \quad q_2 = 1;$$

$$K_{y3} = 1; \quad q_3 = 1;$$

6) Вычисляем токи трехфазного КЗ:

$$I_{k1}^{(3)} = \frac{U_{k1}}{\sqrt{3} * Z_{k1}} = \frac{0,4 * 10^3}{1,73 * 31,22} = 7,39 \text{ кА};$$

$$I_{k2}^{(3)} = \frac{U_{k2}}{\sqrt{3} * Z_{k2}} = \frac{0,4 * 10^3}{1,73 * 59,44} = 3,88 \text{ кА};$$

$$I_{k3}^{(3)} = \frac{U_{k3}}{\sqrt{3} * Z_{k3}} = \frac{0,4 * 10^3}{1,73 * 62,8} = 3,67 \text{ кА};$$

Мгновенное и действующее значения ударного тока:

$$i_{yk1} = \sqrt{2} * K_{y1} * I_{k1}^{(3)} = 1,41 * 1 * 7,39 = 10,45 \text{ кА}; \quad I_{yk1} = c_1 * I_{k1}^{(3)} = 7,39 \text{ кА};$$

$$i_{yk2} = \sqrt{2} * K_{y2} * I_{k2}^{(3)} = 1,41 * 1 * 3,88 = 5,48 \text{ кА}; \quad I_{yk2} = c_2 * I_{k2}^{(3)} = 3,88 \text{ кА};$$

$$i_{yk3} = \sqrt{2} * K_{y3} * I_{k3}^{(3)} = 1,41 * 1 * 3,67 = 5,17 \text{ кА}; \quad I_{yk3} = c_3 * I_{k3}^{(3)} = 3,67 \text{ кА};$$

7) Составляем схему замещения для расчета токов однофазного КЗ и определяем сопротивления (Рисунок 2.5).

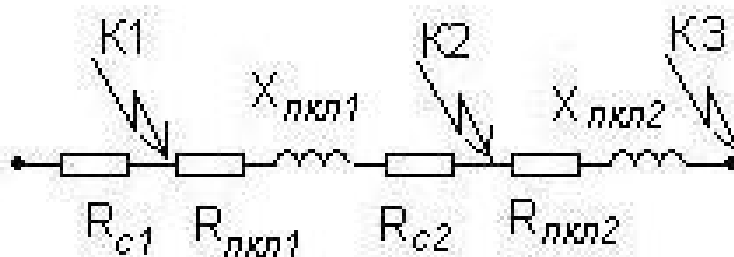


Рисунок 2.5– Схема замещения для расчета однофазных токов КЗ.

Для кабельных линий

$$X_{пкл1} = x_{0п} * L_{кл1} = 0,15 * 54 = 8,1 \text{ МОм};$$

где  $x_{0п} = 0,15 \text{ МОм/м}$  – сопротивление петли «Фаза-нуль» для кабельных линий до 1кВ;

$$R_{пкл1} = 2r_0 * L_{кл1} = 2 * 0,154 * 54 = 16,63 \text{ МОм};$$

$$X_{пкл2} = x_{0п} * L_{кл2} = 0,15 * 6 = 0,9 \text{ МОм};$$

$$R_{пкл2} = 2r_0 * L_{кл2} = 2 * 0,37 * 6 = 4,44 \text{ МОм};$$

$$Z_{п1} = R_{c1} = 15 \text{ МОм};$$

$$R_{п2} = R_{c1} + R_{c2} + R_{пкл1} = 15 + 20 + 16,63 = 51,63 \text{ МОм};$$

$$X_{п2} = X_{пкл1} = 8,1 \text{ МОм};$$

$$Z_{п2} = \sqrt{R_{п2}^2 + X_{п2}^2} = \sqrt{51,63^2 + 8,1^2} = 52,26 \text{ МОм};$$

$$R_{п3} = R_{п2} + R_{пкл2} = 51,63 + 4,44 = 56,07 \text{ МОм};$$

$$X_{п3} = X_{п2} + X_{пкл2} = 8,1 + 0,9 = 9 \text{ МОм};$$

$$Z_{п3} = \sqrt{56,07^2 + 9^2} = 56,78 \text{ МОм};$$

8) Вычисляем токи однофазного КЗ:

$$I_{k1}^{(1)} = \frac{U_{\text{нф}}}{Z_{\text{к1}} + Z_T^{(1)} / 3} = \frac{0,22 \cdot 10^3}{15 + 195/3} = 2,75 \text{ кА};$$

$$I_{k2}^{(1)} = \frac{0,22 \cdot 10^3}{52,26 + 195/3} = 1,87 \text{ кА};$$

$$I_{k3}^{(1)} = \frac{0,22 \cdot 10^3}{56,78 + 195/3} = 1,8 \text{ кА};$$

Результаты расчетов токов КЗ заносим в Таблицу 5.

Таблица 2.3 – Сводная ведомость токов КЗ

| Точка КЗ | Рк Ом | Хк Ом | Zk Ом | R/Xk | у | и | у   | и    | у   | и    | у   | и |
|----------|-------|-------|-------|------|---|---|-----|------|-----|------|-----|---|
| 3        | Ом    | Ом    | Ом    |      |   |   | кА  | А    | А   | Ом   | А   | А |
| 1        | 5,65  | 7,8   | 1,22  | ,44  |   |   | ,39 | 0,45 | ,39 | 5    | ,75 |   |
| 2        | 4,97  | 2,62  | 9,44  | ,43  |   |   | ,88 | ,48  | ,88 | ,1   | ,87 |   |
| 3        | 8,19  | 3,63  | 2,8   | ,46  |   |   | ,67 | ,17  | ,67 | 6,78 | ,8  |   |

### 2.9.2. Проверка элементов системы электроснабжения по токам КЗ

Проверке подлежат аппараты защиты, т.е автоматические выключатели. В данном случае проверяем автоматы SF1 и SF на Рисунке 2.5. Согласно условиям по токам КЗ аппараты защиты проверяются [1]:

1) на надежность срабатывания:

$$\text{SF1: } I_{k2}^{(1)} \geq 3I_{\text{н.р}}(\text{SF1}); \quad 1,87 > 3 \cdot 0,2 \text{ кА};$$

$$\text{SF: } I_{k3}^{(1)} \geq 3I_{\text{н.р}}(\text{SF}); \quad 1,8 > 3 \cdot 0,2 \text{ кА};$$

где  $I_k^{(1)}$  - однофазные токи КЗ, взятые из таблицы 5;

$I_{\text{н.р}}$  - номинальные токи расцепителей автоматов, берутся из 6 раздела

курсового проекта. Согласно условиям надежность срабатывания автоматов обеспечена;

2) на отключающую способность:

$$\text{SF1: } I_{откл(SF1)} > \sqrt{2} I_{k2\%}^{(3)} : 25 > 1,41 * 3,88 \text{ кА};$$

$$\text{SF: } I_{откл(SF)} \geq \sqrt{2} I_{k3\%}^{(3)} : 15 > 1,41 * 3,67 \text{ кА};$$

где  $I_{откл}$  – номинальный ток отключения автомата, берем из таблицы [1];

$I_{k\%}^{(3)}$  – 3-хфазный ток КЗ в установившемся режиме .

Таким образом, автомат при КЗ отключается, не разрушаясь.

3) на отстройку от пусковых токов:

$$\text{SF1: } I_{y(кз)} > I_{плк} (\text{для РУ})$$

$$\text{SF: } I_{y(кз)} > I_n (\text{для электродвигателя});$$

где  $I_{y(кз)}$  – ток установки автомата в зоне КЗ, определяется как  $I_{y(кз)} = 1,25 I_{н.р}$  – для РУ и  $I_{y(кз)} = 5 I_{н.р}$  – для двигателя, т.к. могут быть броски тока, обусловленные пуском двигателя;

$I_n$  – пусковой ток двигателя, определяется как  $I_n = K_n * I_{н.д} = 6,5 I_{н.д}$ ,

где  $I_{н.д}$  – номинальный ток двигателя (в данном случае приточного вентилятора);

$I_{плк}$  – пиковый ток, в данном случае максимальный расчетный ток в РП-

6.

Согласно условиям :

$$\text{SF1: } 1,25 * 200 > 129,44;$$

$$\text{SF: } 5 * 220 > 6,5 * 103,44 \text{ кА};$$

т.е. автоматы выдерживают пусковые токи.

### 2.9.3. Определение потери напряжения в сети до 1 кВ

Определим потери напряжения в сети, для которой выше был приведен расчет токов КЗ (смотри рисунок 2.3). Потери напряжения рассчитываются по выражению:

$$\Delta U = \sqrt{3} * I_p * l * (r_{уд} * \cos \varphi + x_{уд} * \sin \varphi) \quad (2.7)$$

где  $I_p$  – расчетный ток линии, в данном случае берем максимальный рабочий ток для РП-6 из Сводной ведомости (таблица 2.2), и номинальный ток вентилятора из таблицы;

$l$  – длина линии, км;

$r_{уд}$ ,  $x_{уд}$  – удельные сопротивления кабеля, принимаем из предыдущих расчетов;

$\cos \varphi = 0,8$  – средний коэффициент мощности. Отсюда  $\sin \varphi = 0,6$ .

Для кабельной линии 1 (до РП-6):

$$I_p = 129,44 \text{ А};$$

$$r_{уд} = 0,154 \text{ Ом/км}, \quad x_{уд} = 0,08 \text{ Ом/км}$$

$$l = 0,054 \text{ км.}$$

Подставляя в выражение (9.3):

$$\Delta U_1 = \sqrt{3} * I_p * l * (r_{уд} * \cos \varphi + x_{уд} * \sin \varphi) = \sqrt{3} * 129,44 * 0,054 * (0,154 * 0,8 + 0,08 * 0,6) = 2,07 \text{ В}$$

Для кабельной линии 2 (до вентилятора):

$$I_p = 103,44 \text{ А};$$

$$r_{уд} = 0,37 \text{ Ом/км}, \quad x_{уд} = 0,085 \text{ Ом/км}$$

$$l = 0,006 \text{ км.}$$

$$\Delta U_2 = \sqrt{3} * 103,44 * 0,006 * (0,37 * 0,8 + 0,085 * 0,6) = 0,37 \text{ В.}$$

Суммируя найденные потери, найдем общую потерю напряжения в сети:

$$\Delta U = \Delta U_1 + \Delta U_2 = 2,07 + 0,37 = 2,44 \text{ В.}$$

В процентах от номинального напряжения:

$$\Delta U\% = \frac{\Delta U}{U_n} * 100\% = \frac{2,44}{380} * 100 = 0,64\%$$

## 2.10. Выбор электрооборудования ТП-10/0,4 кВ

### 2.10.1. Выбор силового выключателя 10 кВ.

Условия выбора выключателя приведены в таблице 6. Для расчетов принимаем данные из 8 раздела курсового проекта.

Дано: напряжение установки  $U_{н.у} = 10 \text{ кВ}$ ;

номинальный ток установки находим по формуле

$$I_{н.у} = \frac{S_n}{\sqrt{3} * U_n} = \frac{400}{\sqrt{3} * 10} \approx 23 \text{ А};$$

ток КЗ на стороне ВН трансформатора  $I_k = 1146 \text{ А}$ ;

действующее значение тока КЗ  $I_{\infty}^{(3)} = 1,74 \text{ кА}$ ;

ударный ток КЗ  $i_y = 2,92 \text{ кА}$ ;

время действия КЗ  $t_d = 1 \text{ с}$ .

Выбираем из таблицы вакуумный выключатель ВВЭ-10-20/630 УЗ.

Паспортные данные выключателя

Номинальное напряжение  $U_n = 10 \text{ кВ}$ ;

Номинальный ток  $I_n = 630 \text{ А}$ ;

Номинальный ток отключения  $I_{н.отк} = 20 \text{ кА}$ ;

Ток термической стойкости  $I_{тс} = 20 \text{ кА}$ ;  $t_{тс} = 3 \text{ с}$ ;

Сквозной ток  $i_{ск} = 52 \text{ кА}$ ;

Собственное время отключения выключателя  $t_{ов} = 0,055 \text{ с}$ .

Рассчитаем отключающую способность выключателя

Расчетный ток отключения  $I_{р.отк} = I_{\infty}^{(3)} = 1,74 \text{ кА}$ ;

Мощность отключения

$$S_{р.отк} = \sqrt{3} * I_{р.отк} * U_{н.у} = 1,73 * 1,74 * 10 = 30,1 \text{ МВА},$$

$$S_{н.отк} = \sqrt{3} * I_{н.отк} * U_n = 1,73 * 20 * 10 = 346 \text{ МВА},$$

Расчетный ток термической стойкости:

$$I_{р.тс} = I_{р.отк} \sqrt{\frac{t_d}{t_{тс}}} = 1,74 * \sqrt{\frac{1}{3}} = 1 \text{ кА};$$

Заносим все расчеты в таблицу 2.4.

Таблица 2.4 – Ведомость силового выключателя ВН

| Параметры                            | Д. зм. | Условие выбора             | Данные выкл. |         | Дополнительные сведения |
|--------------------------------------|--------|----------------------------|--------------|---------|-------------------------|
|                                      |        |                            | Р асч.       | К атал. |                         |
| Номинальное напряжение               | кВ     | $U_{н.в} \geq U_{н.у}$     | 10           | 10      | ВВЭ-10-20/630УЗ         |
| Номинальный ток                      | А      | $I_n \geq I_{н.у}$         | 23           | 630     |                         |
| Ток отключения                       | кА     | $I_{н.отк} \geq I_{р.отк}$ | 1,74         | 20      | Отключающая способность |
| Мощность отключения                  | МВА    | $S_{н.отк} \geq S_{р.отк}$ | 30,1         | 346     |                         |
| Ударный сквозной ток                 | кА     | $i_{ск} \geq i_{уд}$       | 2,92         | 52      | Динамич. стойкость      |
| Предельный ток термической стойкости | кА     | $I_{тс} \geq I_{р.тс}$     | 10           | 20      | Термическая стойкость   |

Условия выбора выполнены, выключатель нам подходит.

### 2.10.2. Выбор трансформатора напряжения на стороне 10 кВ

Трансформаторы напряжения выбирают по номинальному напряжению и вторичной нагрузке – контрольным приборам.

Таблица 2.5 – Вторичная нагрузка трансформатора напряжения

| Прибор  | ИП | $S_0$<br>бмоткН<br>ВА | $\chi_n$<br>сло<br>обмото<br>к | $\cos \varphi$ | $i_{нф}$ | $\chi$<br>исло<br>приб. | Потреб.мощ<br>ность |           |
|---------|----|-----------------------|--------------------------------|----------------|----------|-------------------------|---------------------|-----------|
|         |    |                       |                                |                |          |                         | P,<br>Вт            | Q,<br>вар |
| Вольтме |    | 2                     | 1                              |                | 0        | 1                       | 2                   | -         |

|               |     |    |   |     |      |   |    |     |
|---------------|-----|----|---|-----|------|---|----|-----|
| тр            | -   |    |   |     |      |   |    |     |
| 335           |     |    |   |     |      |   |    |     |
| Ваттметр      |     | 1, | 2 |     | 0    | 1 | 3  | -   |
| р             | -   | 5  |   |     |      |   |    |     |
| 335           |     |    |   |     |      |   |    |     |
| Варметр       |     | 1, | 2 |     | 0    | 1 | 3  | -   |
|               | -   | 5  |   |     |      |   |    |     |
| 335           |     |    |   |     |      |   |    |     |
| Счетчик       |     | 2  | 2 |     | 0    | 1 | 4  | 9,7 |
| актив.энергии | -   |    |   | ,38 | ,925 |   |    |     |
| и             | 680 |    |   |     |      |   |    |     |
| Счетчик       |     | 3  | 2 |     | 0    | 1 | 6  | 14, |
| реак. энергии | -   |    |   | ,38 | ,925 |   |    | 5   |
|               | 673 |    |   |     |      |   |    |     |
| Частото       |     | 3  | 1 |     | 0    | 1 | 3  | -   |
| мер           | -   |    |   |     |      |   |    |     |
|               | 352 |    |   |     |      |   |    |     |
| Итого:        |     |    |   |     |      |   | 21 | 24, |
|               |     |    |   |     |      |   |    | 2   |

Вторичная нагрузка трансформатора напряжения (полная мощность):

$$S_2 = \sqrt{P^2 + Q^2} = \sqrt{21^2 + 24,2^2} = 32,041 \text{ ВА};$$

Из справочника [4] выбираем трансформатор НТМИ-10-66 с номинальной мощностью 120 ВА в классе точности 0,5.

Таким образом,  $S_{\text{ном}} = 120 \geq S_2 = 32,041$

следовательно, трансформатор будет работать в выбранном классе точности.

Для соединения ТН с приборами принимаем контрольный кабель КРВГ сечением  $2,5 \text{ мм}^2$  по условию механической прочности.

КРВГ- кабель контрольный с медными жилами, резиновой изоляцией, в ПВХ оболочке

### 2.10.3. Выбор трансформаторов тока на стороне 0,4 кВ

Выбор трансформатора тока выполняется по [9]:

- по напряжению установки  $U_{уст} \leq U_n$ ;
- по току  $I_p \leq I_{ном}$ ;
- по динамической стойкости  $i_{уд} < i_{дин}$ ;
- по термической стойкости;
- по вторичной нагрузке  $Z_2 < Z_{2ном}$ ;
- по конструкции и классу точности;

где  $Z_2$  – вторичная нагрузка трансформатора, Ом;

$Z_{2ном}$  – номинальная допустимая нагрузка трансформатора тока.

Вторичная нагрузка находится по формуле [9]:

$$r_2 = r_{приб} + r_{пров} + r_k$$

где  $r_{приб}$  – сопротивление приборов;

$r_{пров}$  – сопротивление проводов;

$r_k$  – переходное сопротивление контактов.

Сопротивление приборов определяется по выражению:

$$r_{приб} = \frac{S_{приб}}{I_{2н}^2}, \text{ Ом}$$

где  $S_{приб}$  – мощность, потребляемая приборами, ВА;

$I_{2н}^2$  – номинальный вторичный ток трансформатора.

Сопротивление контактов принимается  $r_k = 0,1$  Ом.

Сопротивление проводов находится по формуле:

$$R_{пров} = Z_{2ном} - r_{приб} - r_k$$

Сечение соединительных проводов определяется:

$$q = \frac{\rho \cdot L_{расч}}{r_{пров}}, \text{ мм}^2$$

Где  $\rho=0,0283$  – удельное сопротивление провода [9];

$L_{\text{расч}}$  – расчетная длина.

В таблице 2.6 приведены приборы, по которым определяется вторичная нагрузка трансформатора тока.

Таблица 2.6 – Вторичная нагрузка трансформатора тока.

| Прибор                      | Тип      | Нагрузка по фазам, ВА |     |     |
|-----------------------------|----------|-----------------------|-----|-----|
|                             |          | А                     | В   | С   |
| Амперметр                   | Э-350    | 0,5                   | -   | -   |
| Ваттметр                    | Д-350    | 0,5                   | -   | 0,5 |
| Счетчик реактивной мощности | СР-ЧИ676 | 2,5                   | 2,5 | 2,5 |
| Счетчик активной мощности   | СА-И670  | 2,5                   | 2,5 | 2,5 |
| Итого                       |          | 6                     | 5   | 5,5 |

Номинальный вторичный ток трансформатора  $I_{2н}=5\text{А}$ . По таблице 2.6 видно, что фаза А самая нагруженная, поэтому мощность потребляемая приборами  $S_{\text{приб}} = 6 \text{ ВА}$ . Рассчитаем общее сопротивление приборов:

$$R_{\text{приб}} = \frac{6}{5^2} = 0,24 \text{ Ом}$$

Из справочника[8] выбираем трансформатор тока ТНШЛ-0,66. Вторичная нагрузка равна  $Z_{2ном} = 0,6 \text{ Ом}$  в классе точности 0,5.

Допустимое сопротивление провода:  $r_{\text{пров}}=0,6-0,24-0,1=0,26 \text{ Ом}$ .

Применяем кабель с алюминиевыми жилами, длина которого 3 м. Трансформаторы тока соединены в неполную звезду, поэтому  $I_{\text{расч}}=\sqrt{3} \text{ л}$ . Рассчитаем сечение соединительных проводов.

$$q = \frac{0,0283\sqrt{3} * 3}{0,26} = 0,56 \text{ мм}^2$$

Выбираем кабель КРВГ с номинальным сечением жилы  $1,5 \text{ мм}^2$ , отсюда найдем сопротивление проводов:

$$r_{\text{пров}} = \frac{r\sqrt{3}L}{q} = \frac{0,0283\sqrt{3} * 3}{1,5} = 0,098 \text{ Ом}$$

Рассчитаем вторичную нагрузку трансформатора

$$R_2 = 0,24 + 0,098 + 0,1 = 0,44 \text{ Ом}$$

В таблице 2.7 произведем расчет трансформатора тока

Таблица 2.7 – Параметры выбора трансформатора тока ТНШЛ-0,66

| Условия выбора                              | Расчетные данные                  | Каталожные данные                  |
|---------------------------------------------|-----------------------------------|------------------------------------|
| $U_{\text{уст}} \leq U_{\text{н}}$          | $U_{\text{уст}} = 0,4 \text{ кВ}$ | $U_{\text{н}} = 0,66 \text{ кВ}$   |
| $I_p \leq I_{\text{ном}}$                   | $I_p = 578 \text{ А}$             | $I_{\text{ном}} = 1000 \text{ А}$  |
| $i_{\text{уд}} \leq i_{\text{дин}}$         | $i_{\text{уд}} = 11 \text{ кА}$   | $i_{\text{дин}} = 28 \text{ кА}$   |
| $B_k \leq I_{2\text{тер}} * t_{\text{тер}}$ | $B_k = 7.392 * 3 = 136.8$<br>кА2с | $B_k = 252 * 3 = 1875$<br>кА2с     |
| $Z_2 \leq Z_{2\text{ном}}$                  | $Z_2 = 0,44 \text{ Ом}$           | $Z_{2\text{ном}} = 0,6 \text{ Ом}$ |

В таблице

$$I_p = \frac{S_{\text{н}}}{\sqrt{3} * U_{\text{н}}} = \frac{400}{1,73 * 0,4} = 578 \text{ А};$$

$$B_k = (I_{k1}^{(3)})^2 * t_{\text{тер}};$$

Таким образом, трансформатор тока ТНШЛ-0,66 подходит по всем параметрам.

### 3 ПРОЕКТИРОВАНИЕ ПРИСПОСОБЛЕНИЯ ДЛЯ КОНТРОЛЯ ВАЛОВ

#### 3.1 Общие сведения о контроле деталей

Все основные виды контроля механической обработки деталей можно разбить на девять групп: контроль валов, контроль отверстий, контроль конических поверхностей, контроль плоскостей, контроль корпусных деталей, контроль шпоночных и шлицевых соединений, контроль резьбовых соединений, контроль зубчатых колес, контроль шероховатости.

Перед началом контроля любой детали необходимо ознакомиться с чертежом, по которому изготавливается деталь; с техническими условиями, указанными в чертеже; с технологическим процессом изготовления детали, а при операционном контроле — с той операцией, после выполнения которой деталь предъявляется на контроль.

На основании технологии изготовления и технологии контроля определяются методы и средства контроля.

Затем следует осмотреть контролируемую деталь и проверить выполнение предыдущих операций согласно технологическому процессу. При осмотре необходимо обращать внимание на отсутствие механических повреждений в виде забоин, трещин, раковин, рыхлости, пороков проката — волосовины и т. д. Это необходимо делать, так как приведенные выше пороки могут помешать правильному измерению или контролю деталей, а также послужить причиной считать их браком до контроля измерительными средствами.

|           |      |                |         |      |                                      |  |   |    |  |
|-----------|------|----------------|---------|------|--------------------------------------|--|---|----|--|
|           |      |                |         |      | ВКР 35.03.06.00118 КП 00.00.00ПЗ     |  |   |    |  |
| Изм.      | Лист | № докум.       | Подпись | Дата |                                      |  |   |    |  |
| Разраб    |      | Хайбуллин ДВ.  |         |      | Контрольное<br>приспособление        |  |   |    |  |
| Провер.   |      | Хусаинов РК.   |         |      |                                      |  |   |    |  |
|           |      |                |         |      |                                      |  |   |    |  |
| Н. Кантр. |      | Марданов РХ.   |         |      |                                      |  |   |    |  |
| Утвердил  |      | Халиуллин Д.Т. |         |      | Лит.      Лист      Листов           |  |   |    |  |
|           |      |                |         |      |                                      |  | 1 | 37 |  |
|           |      |                |         |      | Казанский ГАУ каф. МОА<br>243 группа |  |   |    |  |

В помещении, где производится измерение, не должно быть резких перепадов температуры, сотрясений, вызывающих вибрации стрелок измерительных приборов и т. п.

При контроле деталей скобами, пробками, плоскопараллельными плитками нельзя допускать, чтобы калибр долгое время находился в руке проверяющего. Так, штампованная скоба размером 90 мм, находясь в течение 15 мин в руке контролера, увеличивает свой размер на 0,004 мм. Перед началом контроля следует также, убедиться в правильности показаний измерительного инструмента и в отсутствии механических повреждений на нем.

### 3.2 Назначение и типы контрольных приспособлений

Контроль качества изделий весьма важен в современном машиностроении; в особенности велика роль контроля при производстве изделий по принципу полной взаимозаменяемости. Применение универсальных измерительных инструментов и калибров малопроизводительно, не всегда обеспечивает нужную точность и удобство контроля, а в условиях поточно-автоматизированного производства вообще неприемлемо.

Контрольные приспособления повышают производительность труда контролеров, улучшают условия их работы, повышают качество и объективность контроля. Так, при контроле гладкого валика диаметром 40 мм в трех сечениях микрометром обеспечивается производительность 90 деталей в час, при использовании предельной скобы — 300 деталей, контрольного приспособления с одним индикатором — 400, контрольного приспособления с тремя электроконтактными головками и световой сигнализацией — 1000 и контрольно-сортировочного автомата — 1500. Контрольные приспособления уменьшают попадание брака в годные детали и пропуск годных деталей в брак.

|     |      |         |         |      |                                |      |
|-----|------|---------|---------|------|--------------------------------|------|
|     |      |         |         |      | БКР 3503.06.001.18.00.00.00.13 | Лист |
| Изм | Лист | № докум | Подпись | Дата |                                | 2    |

Контрольные приспособления применяют для проверки заготовок, деталей и узлов машин. Приспособления для проверки деталей применяют на промежуточных этапах обработки (межоперационный контроль) и для окончательной приемки, выявляя точность размеров, взаимного положения поверхностей и правильность их геометрической формы.

Высокая точность современных машин обуславливает использование в контрольных приспособлениях измерителей высокой чувствительности и важность правильного выбора принципиальной схемы и конструкции приспособления.

Погрешность измерения, под которой понимают отклонение найденного значения величины от ее истинного значения, должна быть по возможности малой.

Однако чрезмерное повышение точности измерения может привести к усложнению и удорожанию приспособления и снижению его производительности.

Погрешности измерения в зависимости от назначения изделия допускают в пределах 8...30% поля допуска на контролируемый объект. Общая (суммарная) погрешность измерения определяется рядом ее составляющих: погрешностью, свойственной самой схеме; погрешностью установки контролируемого изделия; погрешностью настройки приспособления по эталону, износам деталей приспособления, а также колебаниями температуры.

При конструировании контрольных приспособлений необходимо изучить условия возникновения первичных погрешностей и выявить пути их уменьшения или полного устранения. На выбор принципиальной схемы контрольного приспособления большое влияние оказывает заданная производительность контроля. При 100 %-ной проверке деталей в поточном производстве время контроля не должно превышать темпа работы поточной линии. Для выборочного контроля деталей при стабильных технологических

|      |      |          |         |      |                            |      |
|------|------|----------|---------|------|----------------------------|------|
|      |      |          |         |      | БКР 3503.06.001:8.00000003 | Лист |
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дата |                            | 3    |

процессах их изготовления требования к производительности контрольного приспособления могут быть снижены.

Для проверки небольших и средних деталей применяют стационарные контрольные приспособления, а для крупных — переносные. Наряду с одномерными находят широкое применение многомерные приспособления, где за одну установку проверяют несколько параметров.

Контрольные приспособления делят на пассивные и активные. Пассивные применяют после выполнения операций обработки. Активные устанавливают на станках; они контролируют детали в процессе обработки, давая сигнал на органы станка или рабочему на прекращение обработки или изменение условий ее выполнения при появлении брака. Контрольные приспособления из самостоятельных устройств превращаются в составную часть автоматических систем. Это позволяет снизить себестоимость продукции в результате устранения брака и исключения контроля как самостоятельной операции.

Контрольные приспособления, обычные и автоматические, должны обеспечивать заданную точность и производительность контроля, быть удобными в эксплуатации, простыми в изготовлении, надежными при длительной работе и экономичными.

### 3.3 Приборы для контроля диаметров валов

В крупносерийном и массовом производстве для проверки точных диаметров валов и отверстий широко применяют пневматические приборы высокого или низкого давления, работающие в сочетании со специальными измерительными головками, скобами и пробками.

При измерении валов больших диаметров (св. 500 мм) жесткими скобами возникают затруднения, связанные с понижением жесткости скобы, деформациями измеряемых деталей и др. Все это увеличивает погрешности измерения. Для уменьшения погрешностей измерения при контроле

|      |      |          |         |      |                                |      |
|------|------|----------|---------|------|--------------------------------|------|
|      |      |          |         |      | БКР 3503.06.001.18.00.00.00.03 | Лист |
|      |      |          |         |      |                                | 4    |
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дата |                                |      |

диаметров деталей малой высоты (типа дисков) используют жесткие линейные скобы, имеющие меньшую массу и большую жесткость. Такие скобы применяют для размеров 1500...2000 мм и более. Использование жестких линейных скоб возможно только для контроля детали торца из-за малого вылета губок скобы. Для прямых (абсолютных) измерений наружных диаметров больших размеров применяют микрометры, штангенциркули, диаметрально-линейные скобы. Микрометрами и диаметрально-линейными скобами производят измерение диаметров валов в любом месте осевого сечения.

Диаметральная скоба для измерения больших размеров с одной стороны имеет микрометрическую головку для отсчета отклонений, а с другой — индикатор, служащий в качестве стабилизатора силы измерения. Наличие индикатора, пружина которого создает измерительное усилие порядка 1...2Н, предохраняет скобу от деформации, в связи с чем повышается достоверность измерения. Перед измерением диаметрально-линейную скобу устанавливают на номинальный размер вала по эталону или блоку концевых мер длины так, чтобы и микрометрическая головка и индикатор стояли в нулевом положении. При измерении диаметра снимают отсчет со шкалы микрометрической головки, по которому и судят о действительном размере абсолютные положительные отклонения прибавляют к настроечному размеру, а отрицательные — вычитают. Иногда в качестве настроечного принимают не номинальный размер детали, а наибольший или наименьший предельный ее размер. Это всегда следует знать и учитывать при измерении. При использовании диаметральных скоб и снятии отсчета со шкалы микрометрической головки необходимо следить за тем, чтобы указатель индикатора постоянно находился на нулевом делении шкалы.

Линейная скоба показана на рисунке 3.1. Такими скобами можно измерять диаметры валов более 2000 мм. Как и диаметрально-линейная скоба, линейная имеет микрометрическую головку 1, перемещающуюся по трубе 3 с кронштейном 2, в котором она закреплена, и индикатор 5, перемещающийся по трубе 3 с

кронштейном 4. В требуемом положении кронштейны 4 и 2 фиксируют с помощью винтовых устройств 6.

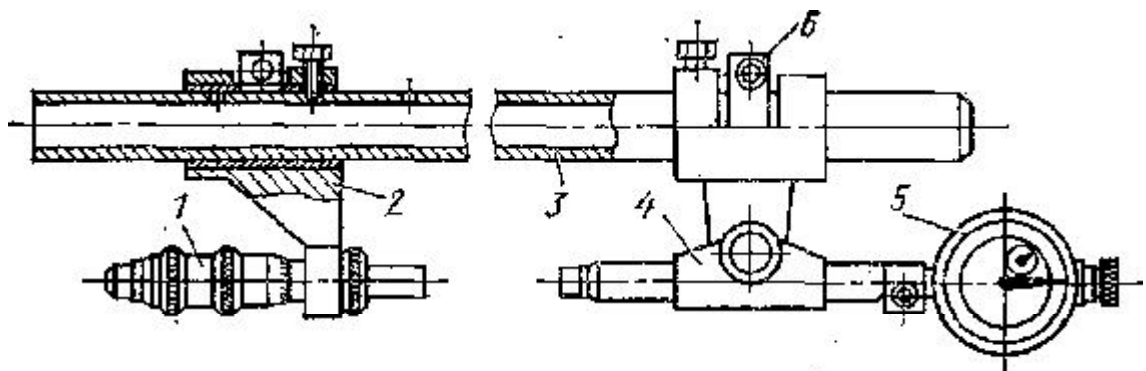


Рисунок 3.1 – Линейная скоба для измерения больших диаметров валов

Настройка линейной скобы и процесс измерения ею не отличаются от настройки и измерения диаметрными скобами. Линейными скобами можно определять размеры торца детали только со стороны, поэтому их используют для измерения диаметров наружных поверхностей деталей типа дисков, колец фланцев, крышек и т.п.

Для измерения больших наружных диаметров валов с торца могут применять также штангенциркули. Однако при этом следует учитывать, что точность измерения ими меньше точности измерения инструментами с микрометрическими измерительными головками, у которых отсчет по нониусу производят с точностью 0,01 мм, в то время как нониус штангенинструмента, как правило, имеет точность отсчета 0,05 мм и грубее. Выпускают облегченные штангенциркули с величиной отсчета по нониусу 0,1 мм и с пределами измерения 1500...3000 мм и 2000... 4000 мм. Линейные скобы с микрометрическими головками и штангенциркули применяют также для измерения длин деталей.

Для измерения больших диаметров валов успешно применяют инструменты, основанные на косвенных методах. При использовании способа опоясывания применяют рулетки с длиной стальной ленты 10...50 м, и специальные измерительные стальные ленты. При измерении больших диаметров в серийном производстве применяют специальные ленты, имеющие определенную длину.

|     |      |         |         |      |
|-----|------|---------|---------|------|
|     |      |         |         |      |
| Изм | Лист | № докум | Подпись | Дата |

БКР 3563.06.001:8.00.00.00.ГЗ

Лист

6

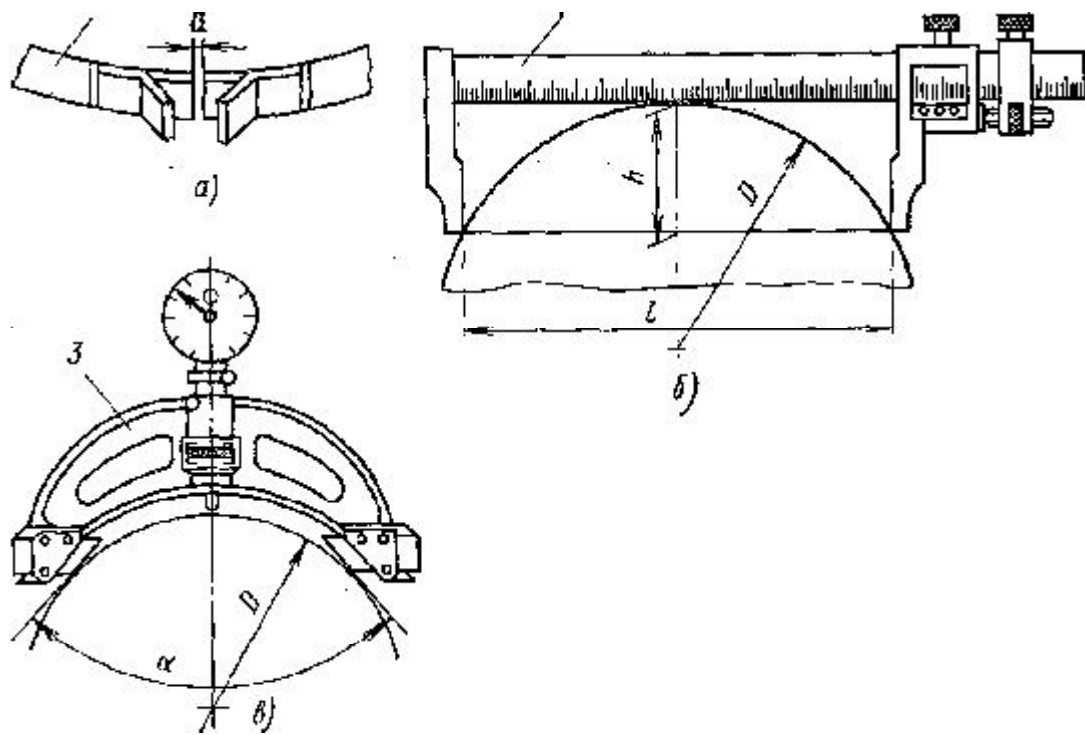


Рисунок 3.2 – Методы измерения валов

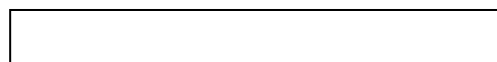
При таком методе измерения необходимо хорошее натяжение ленты (до ее полного прилегания к поверхности вала), поэтому применяют грузы или специальные натяжные устройства.

К методам измерения диаметра вала по хорде и высоте сегмента относится измерение штангенциркулем и седлообразными приборами с клиновыми (или роликовыми) вставками. Использование штангенциркуля показано на рисунке 3.2б.

Измерение диаметра вала с помощью седлообразного прибора с клиновыми вставками показано на рисунке 3.2в.

Седлообразные приборы перед измерением настраивают на нулевое деление по радиусным калибрам или шаблонам, радиусы которых равны номинальному (размеру радиуса измеряемой детали).

Иногда используют геодезические методы измерения, основанные на применении точного теодолита, с помощью которого визируют нужные точки на измеряемой детали, определяют угловые повороты оси прибора. Затем, зная базовое расстояние теодолита, рассчитывают искомые размеры.



Предельные погрешности методов измерения больших диаметров (1000...10000 мм):

- с помощью скоб 0,03...0,175 мм;
- с помощью обычных рулеток 0,2...0,345 мм.

Погрешности измерения с помощью измерительных лент в несколько раз меньше, чем с помощью рулеток.

К косвенным методам измерения больших диаметров относятся измерения детали на станке от дополнительных измерительных баз. На рисунке 3.3а показана схема определения от дополнительных баз размеров детали с большими габаритными размерами, обрабатываемой на токарно-карусельном станке

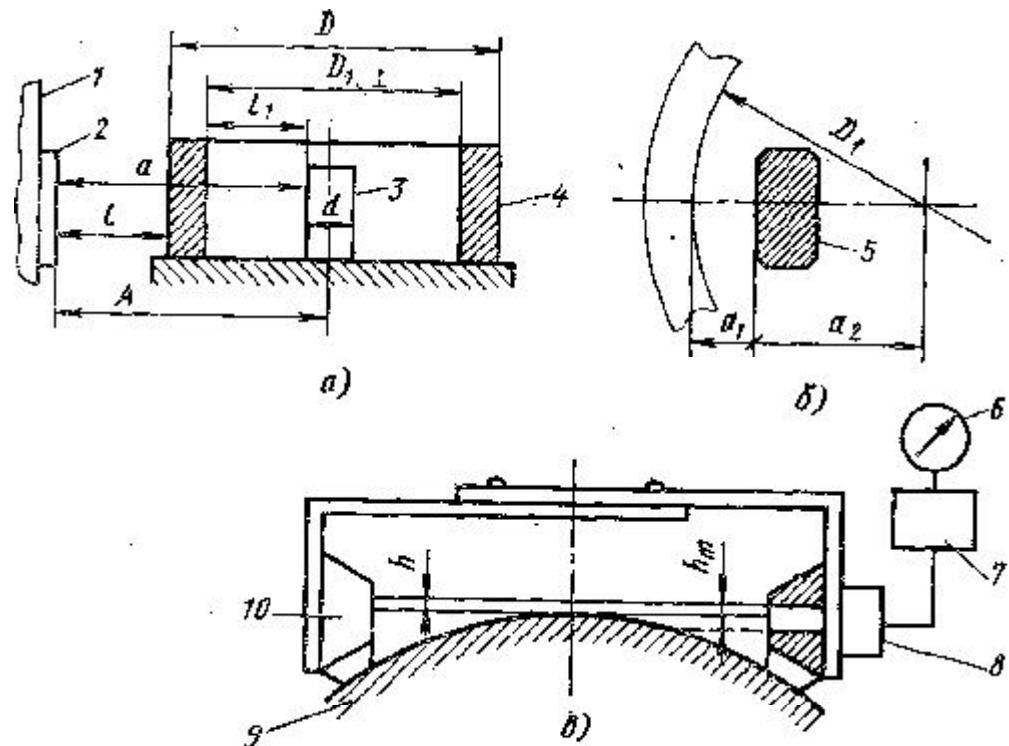


Рисунок 3.3 – Схема косвенного определения больших размеров

На колонке 1 станка закреплена закаленная пластина 2, расстояние А до которой от оси вращения планшайбы станка должно быть строго определенным. Это обеспечивается установкой на планшайбе станка контрольной оправки 3 диаметром d от которой определяют размер a до пластины 2.

|      |      |          |         |      |
|------|------|----------|---------|------|
|      |      |          |         |      |
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дата |

БКР 3563.06.001.18.00.00.00.03

Лист

8

Измерением от дополнительных баз можно обеспечить требуемую точность при обработке по 3-му классу точности (8- 9-му качествам). Если измерение расстояния произвести в нескольких точках обрабатываемой поверхности, то можно определить погрешности формы обрабатываемой поверхности.

### 3.4 Приборы для измерения отклонений формы и расположения поверхностей

Рассмотрим методы и средства контроля и измерения отклонений формы и расположения поверхностей наиболее часто встречающихся деталей. Непосредственный контроль формы поверхности представляет существенные трудности, и поэтому его часто заменяют проверкой реального профиля, являющегося сечением поверхности плоскостью, ориентированной в заданном направлении.

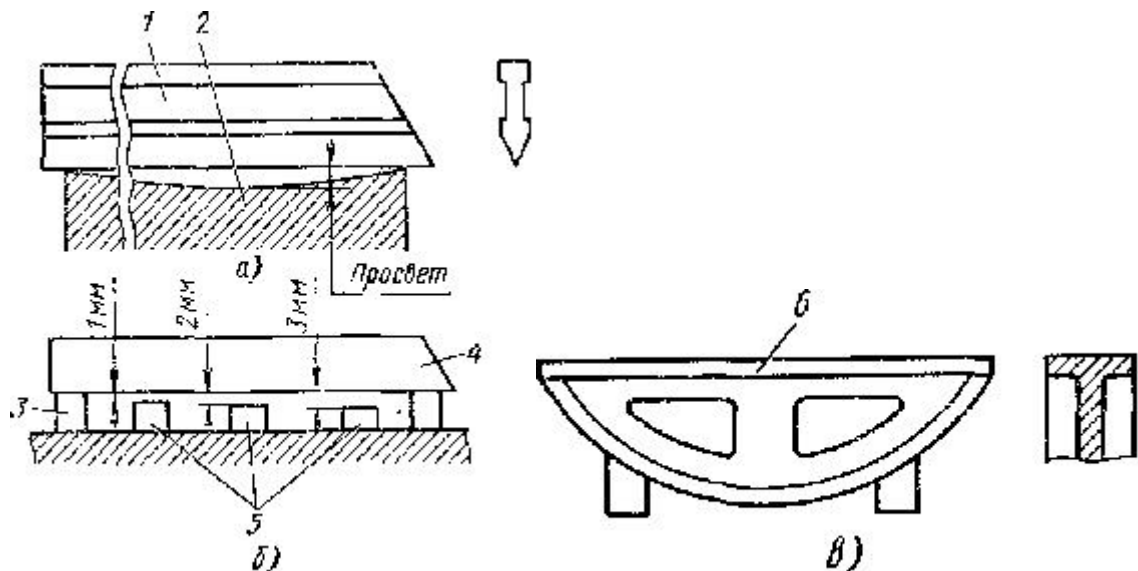


Рисунок 3.4 – Схемы измерения отклонений от прямолинейности

Измерения отклонений от прямолинейности и плоскостности производятся обычно при помощи поверочных линеек различных типов (рис. 3.4). Лекальными линейками (рис. 3.4а) измеряют «на просвет», (накладывая линейку 1 на проверяемую поверхность детали 2. При этом для определения величины про- света (световой щели), т. е. отклонения от прямолинейности, используют для сравнения образец просвета (рис. 3.4б). Лекальную линейку 4 укладывают на две концевые меры 5, а между лекальной линейкой и

концевыми мерами 5 образуется образцовый (эталонный) просвет. Правильная оценка видимого просвета требует у проверяющего определенного навыка. Погрешности измерения составляют, примерно 1—3 мкм. При измерении отклонений от прямолинейности образующих цилиндрических деталей лекальная линейка должна устанавливаться строго параллельно оси детали, а при измерении отклонений от прямолинейности плоских поверхностей — в заданном на чертеже направлении. Лекальные линейки выпускают длиной от 80 до 320 мм.

Если вместо блоков концевых мер длины между лекальной или поверочной линейкой и контролируемой поверхностью вводят измерительный прибор, то по его отсчетному устройству можно определить отклонение от прямолинейности. По этим отклонениям строятся графики действительного профиля поверхности, по которым с помощью расчетов определяют отклонение от прилегающей прямой, которое является отклонением от прямолинейности. Расстояние между сечениями, в которых производятся измерения, или шаг измерения, выбирают в пределах 0,1 длины измеряемой поверхности (не менее 100...200 мм). Шаговый метод измерения применяют для точных поверхностей большой длины (например, направляющих станин). Здесь широко используют автоколлиматоры с перемещающимся на шаг (измерения плоским зеркалом, оптическую линейку типа ИС-36 с перемещающейся измерительной кареткой, линейки ЛИП-3 с самописцем, записывающим график профиля поверхности, и другие приборы.

Поверочные линейки мостики (рис. 3.4 в) и угловые трехгранные применяют в основном при проверке плоскостности «на краску». Для этого рабочую поверхность 6 линеек покрывают тонким равномерным слоем краски берлинская лазурь или типографской краской. Затем линейку устанавливают на проверяемую поверхность и слегка перемещают в продольном направлении. При этом на выступающих частях проверяемой поверхности остаются следы краски. Чем больше пятен остается на

|      |      |          |         |      |                              |      |
|------|------|----------|---------|------|------------------------------|------|
|      |      |          |         |      | БКР 350306.001:8.00.00.00.03 | Лист |
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дата |                              | 10   |

поверхности, тем с большей точностью она выполнена. Минимальное число пятен краски в квадрате поверхности со стороной 25 мм должно составлять для III и IV степеней точности проверяемой поверхности по ГОСТ 10356-63 — 20...30 пятен; для V и VI степени точности — 12...20 пятен; для степеней точности VII и VIII — 5...12 пятен и для степеней точности IX и X менее 5 пятен. Угловые трехгранные линейки выпускаются с углом  $\alpha$ , равным  $45^\circ$ ,  $55^\circ$  и  $60^\circ$ , что позволяет использовать их также для проверки расположения плоскостей направляющих типа ласточкин хвост.

Контроль плоскостности обработанных поверхностей производят также поверочными плитами методом «на краску» (выпускают плиты с размерами  $240 \times 250$ — $4000 \times 1600$  мм) с помощью механических приборов уровней, выпускают две модели, позволяющие производить измерения деталей с диаметрами 900...1800 мм, оптических и других приборов.

Для измерения отклонений от плоскостности в практике широко используют шаговый метод с использованием поверочных и оптических линеек, автоколлиматоров и других приборов. Измерения производят в продольном и поперечном направлениях, по диагоналям контролируемой плоскости (аналогично измерению отклонений от прямолинейности).

Определение отклонений от плоскостности часто выполняют по следующей схеме: измеряемую деталь укладывают на контрольную (образцовую) плиту и выверяют с помощью прокладок так, чтобы расстояния от трех разных точек проверяемой поверхности до плиты были одинаковыми. Измерительной головкой, установленной на стойке, производят измерения в ряде точек поверхности при перемещении ее по образцовой плите. По разности показаний измерительной головки судят о величине действительных отклонений.

Схемы основных способов измерения отклонений формы цилиндрических деталей в поперечном сечении показаны рисунке 3.5. Проверку отклонений от круглости выполняют на кругломерах (рис. 3.5а). Измеряемую деталь 2 устанавливают на поворотном столе 1 прибора. Стол может перемещаться в

|      |      |         |         |      |                               |      |
|------|------|---------|---------|------|-------------------------------|------|
|      |      |         |         |      | БКР 3503.06.001.8.00.00.00.13 | Лист |
|      |      |         |         |      |                               | 10   |
| Изм. | Лист | № докум | Подпись | Дата |                               |      |

двух взаимно перпендикулярных направлениях, что необходимо для центрирования детали относительно оси вращения шпинделя стола прибора. В процессе измерения отклонения детали от правильной цилиндрической формы вызывают радиальные перемещения наконечника измерительного устройства 3, которые с помощью электронной схемы записываются в виде круглограммы 5 на бумажном диске (рис. 3.5б).

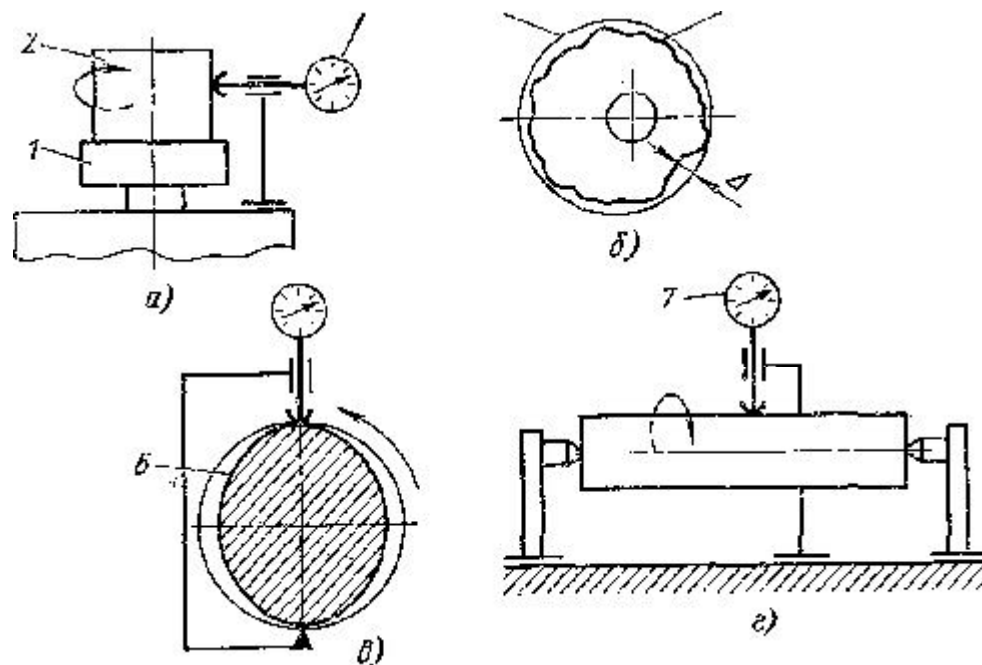


Рисунок 3.5 – Схема измерений отклонений формы цилиндрических деталей

Отклонение от круглости определяют как наибольшую разность расстояний между прилегающей окружностью и действительным профилем детали. Диск, на котором записывают круглограмму, и проверяемая деталь вращаются синхронно от общего электропривода. Запись автоматически прекращается при завершении одного оборота. По круглограмме оценивают отклонения от круглости; для упрощения процесса определения результата измерения используют прозрачные шаблоны, накладываемые на круглограмму.

|      |      |        |         |      |
|------|------|--------|---------|------|
|      |      |        |         |      |
| Изм. | Лист | № док. | Подпись | Дата |

БКР 3503.06.001:8.0000.00.03

Лист

12

Выпускают кругломеры четырех классов точности и нескольких моделей с пределами диаметров измеряемых поверхностей 0,5...350 мм и наибольшей высотой до 1500 мм. Пределы допускаемых собственных радиальных погрешностей кругломеров составляют 0,5 мкм.

На кругломерах можно измерять также отклонения от прямолинейности наружных и внутренних образующих цилиндрических деталей и отклонения от круглости конических деталей в заданных поперечных сечениях. Отклонения от круглости и огранку можно контролировать также путем вращения детали, установленной на призмах или роликах, с регистрацией отклонений измерительной головкой. Однако этот способ является менее совершенным и допускает большие погрешности измерения.

Овальность гладкой цилиндрической или конической детали определяют непосредственным измерением диаметров в двух взаимно перпендикулярных направлениях или отклонений диаметров в этих же направлениях. Для непосредственного измерения нужно произвести несколько проверок в различных точках поперечного сечения и зафиксировать наибольший из полученных результатов. Затем производят измерение диаметра в перпендикулярном сечении. Зная наибольший и наименьший диаметры, можно определить овальность детали.

Если на чертеже детали или в технологическом процессе нет особых указаний, то измерение производят в среднем сечении детали. В качестве измерительных инструментов, в зависимости от требуемой точности, используют штангенциркуль, микрометр или другой инструмент. Аналогично измеряют овальность внутренних цилиндрических поверхностей, используя при этом микрометрические, индикаторные или другие инструменты. Определение овальности по диаметрам в двух взаимно перпендикулярных сечениях является весьма приближенным и для точных измерений непригодно, так как в этом сечении диаметры не обязательно будут иметь наибольшее и наименьшее значения.

|      |      |          |         |      |                               |      |
|------|------|----------|---------|------|-------------------------------|------|
|      |      |          |         |      | БКР 3503.06.001:8.00.00.00.13 | Лист |
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дата |                               | 13   |

Большую точность измерения обеспечивают методы, при которых деталь в процессе измерения совершает полный оборот, а отклонения диаметров определяют измерительной головкой. Для этих измерений наибольшее распространение в производственных условиях получили двухконтактные приборы (рис. 3.5,в) или измерительные устройства с центрами и измерительной головкой 7 на стойке (рис. 3.5г). В этих случаях легко находят наибольший и наименьший размеры диаметра по соответствующему отклонению указателя измерительной головки, при этом второй отсчет выполняют при повороте детали на  $90^\circ$ . При измерении двухконтактным прибором овальность детали будет равна полуразности показаний прибора, а при измерении в центрах — разности показаний. Для упрощения расчета результата измерения целесообразно установить указатель измерительной головки в нулевое положение в точке наибольшего или наименьшего значения диаметра.

В продольном сечении цилиндрических деталей измеряют конусообразность, бочкообразность, седлообразность, изогнутость. Для определения первых трех показателей в зависимости от требуемой точности диаметры детали измеряют: у торцов для определения конусообразности; у торцов и в середине — для определения бочкообразности и седлообразности. Значения конусообразности, бочкообразности и седлообразности рассчитывают как полуразность наибольшего и наименьшего измеренных диаметров детали.

Изогнутость валков определяют при вращении детали на двух опорах под наконечником измерительной головки, установленной в середине длины валика. Изогнутость рассчитывают, как полуразность наибольшего и наименьшего показаний прибора. Изогнутость оси отверстия можно контролировать гладким калибром-пробкой, диаметр и длину которого рассчитывают исходя из заданных требований чертежа детали или сборочного соединения. О годности детали судят по прохождению калибра в отверстие, но величину изогнутости при этом не определяют.

|      |      |          |         |      |                                |      |
|------|------|----------|---------|------|--------------------------------|------|
|      |      |          |         |      | БКР 23.63.63.221:7 00.00.00.ПЗ | Лист |
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дата |                                | 14   |

### 3.5 Проект приспособления для контроля валов

Для контроля вала предлагается следующая конструкция приспособления представленная на рисунке 3.6

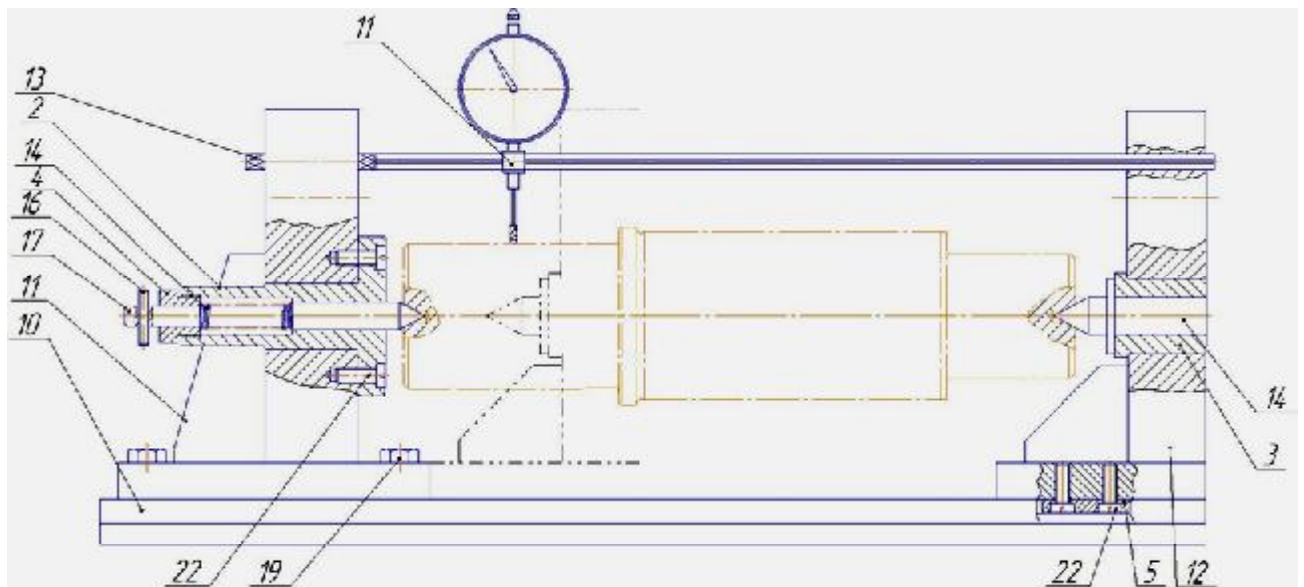


Рисунок 3.6 Конструкция приспособления для контроля валов

Приспособление работает следующим образом. Вал закрепляется в приспособлении при помощи штока поз. 17 и иглы поз. 8 после регулировки положения кронштейна поз.12 по горизонтали. Положение изменяется при помощи зажима поз.5 и винта поз. 22. Путем перемещения индикатора поз. 11 по направляющей поз. 13 измеряют требуемое место на вале. Максимальная длина вала при измерении составляет 345 мм, минимальная 32 мм.

При помощи приспособления можно измерить радиальное биение и параллельность по длине.

### 3.7 Выбор материалов и расчет прочности приспособлений

|     |      |         |         |      |                              |      |
|-----|------|---------|---------|------|------------------------------|------|
|     |      |         |         |      | БКР 3503.06.001.8.00.00.01.3 | Лист |
| Изм | Лист | № докум | Подпись | Дата |                              | 15   |

### 3.7.1. Выбор конструкционных материалов

После расчета точности изготовления приспособления и силового расчета необходимо выбрать конструкционные материалы для деталей приспособления, назначить термическую (химико-термическую, электрохимическую и т. п.) обработку или вид покрытия и рассчитать размеры элементов из условий прочности [3, 4, 10].

Материалы для деталей (элементов) приспособлений следует выбирать исходя из условий работы и эксплуатационных требований, предъявляемых к этим деталям. Так, к установочным элементам приспособлений, которые являются опорами заготовки в приспособлении и определяют ее положение в пространстве, предъявляются требования точности, прочности, жесткости, износостойкости. Применительно к зажимным элементам на первый план выдвигаются прочность, жесткость и надежность. Корпуса объединяют в единую конструкцию элементы приспособления и воспринимают все силы, действующие на заготовку в процессе ее закрепления и обработки. Поэтому они должны обладать достаточно высокой прочностью, демпфирующими свойствами, жесткостью и длительное время сохранять точность расположения рабочих поверхностей.

Подобные требования предъявляются и к другим элементам приспособлений. В определенной степени многие из названных требований обеспечиваются конструкцией и размерами деталей приспособлений. А вот износостойкость, прочность и жесткость элементов и компактность приспособлений в большей части зависят от правильного выбора конструкционных материалов, химико-термической и отделочной обработки.

Для обеспечения необходимой износостойкости, жесткости и прочности установочные элементы изготавливаются, например, из углеродистых сталей У7А...У10А с закалкой до твердости 56...61 HRC или из сталей 20, 20Х и 15ХМ с цементацией и последующей закалкой до той же твердости. Кроме того, контактирующие поверхности установочных элементов тщательно

|      |      |          |         |      |                                |      |
|------|------|----------|---------|------|--------------------------------|------|
|      |      |          |         |      | БКР 3503.06.001.18.00.00.00.13 | Лист |
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дата |                                | 16   |

обрабатываются с обеспечением шероховатости по параметру  $R_a = 0,63 \dots 0,16$  мкм.

### 3.7.2. Покрывия деталей и их химическая (электрохимическая) обработка

При выборе материалов для элементов приспособлений необходимо решить вопросы о виде покрытия поверхностей, химической и электрохимической обработки деталей. Покрытия и химическая обработка применяются для улучшения эксплуатационных, защитных и декоративных свойств деталей приспособлений. Существуют лакокрасочные, гальванические, химические и металлизационные покрытия, оксидные и фосфатоксидные процессы обработки деталей [3, 4, 8, 10, 15] и др.

Лакокрасочные покрытия классифицируются и обозначаются по ГОСТ 9.032—74; виды и обозначение материалов покрытий регламентируются ГОСТ 9825—73. В зависимости от условий эксплуатации лакокрасочные покрытия подразделяются на стойкие внутри помещений, атмосферостойкие, масло- и бензостойкие, водостойкие, электроизоляционные. В выборе цветов покрытия следует руководствоваться цветовыми решениями лакокрасочных покрытий оборудования, на котором предполагается использование данного приспособления.

К гальваническим покрытиям металлов относятся меднение, хромирование (износостойкое и защитно-декоративное), цинкование, кадмирование и другие процессы.

Меднение используется с целью обеспечения повышенных прирабочных свойств поверхностей деталей, работающих в узлах трения скольжения (шлицевые соединения, пары трения типа вал — втулка, выступ — паз, «ласточкин хвост» и т. п.); уплотнения зазоров; уменьшения шума и улучшения прирабатываемости зубчатых передач; защиты от коррозии. Средняя расчетная толщина слоя покрытия для достижения указанных выше целей составляет 5... 15 мкм.

|      |      |          |         |      |                               |      |
|------|------|----------|---------|------|-------------------------------|------|
|      |      |          |         |      | ЕКР 3503.06.001.8.00.00.00.13 | Лист |
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дата |                               | 18   |

Износостойкое хромирование приводит к повышению работоспособности (прежде всего износостойкости) деталей, работающих в условиях истирания (шейки валов, оси, пальцы, рейки, направляющие и установочные элементы и т. д.). Прочность соединения хрома с основным металлом достаточно высокая. Хромовое покрытие обладает стойкостью против воздействия азотной кислоты и растворов щелочей, длительное время сохраняет свои декоративные свойства (цвет и блеск), хорошо выдерживает равномерно распределенную по поверхности нагрузку, но разрушается в условиях ударных нагрузок. Толщина слоя покрытия обычно равна 10...30 мкм.

Защитно-декоративное хромирование применяется для деталей несложной формы, работающих в условиях истирания при незначительных силовых воздействиях (различные рукоятки, маховички, штурвалы и т. п.). Толщина слоя покрытия — 2...5 мкм.

Цинкование (толщина слоя 10...30 мкм) используется для защиты деталей из черных металлов от коррозии. Обычно этому покрытию подвергаются детали, работающие в условиях влаги, мелкие резьбовые (крепежные) детали и т. д.

Кадмирование (толщина слоя 7...15 мкм) применяется для покрытия деталей из стали, чугуна, меди и медных сплавов. Слой кадмиевого покрытия более пластичен, чем цинкового. Поэтому кадмирование широко используется для защиты ответственных резьбовых соединений и деталей сборочных единиц, которые требуют герметичной (плотной) сборки.

Из химически наносимых покрытий наибольшее внимание заслуживает химическое никелирование. В результате никелирования на обрабатываемую поверхность детали приспособления наносится никелевый осадок, образуемый путем химического восстановления ионов никеля ионами гипофосфата.

Химическое никелевое покрытие характеризуется высокой равномерностью слоя по толщине (отклонение не превышает 10 %),

|      |      |          |         |      |                               |      |
|------|------|----------|---------|------|-------------------------------|------|
|      |      |          |         |      | БКР 3503.06.001:8.00.00.00.03 | Лист |
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дата |                               | 18   |

повышенной коррозионной стойкостью, малой пористостью и высокой износостойкостью, особенно в условиях сухого трения. Толщина слоя покрытия— 10...12 мкм. Химическое никелирование рекомендуется для покрытия плунжеров, штоков, деталей прецизионных пар трения, работающих в условиях сухого трения, оно улучшает также декоративную отделку приспособлений.'

Металлизация распылением используется для защиты изделий от коррозии и декоративного оформления. В качестве покрытия применяются олово, свинец, цинк, алюминий, кадмий, сталь, бронза. В зависимости от применяемого металла толщина слоя, наносимого за один проход, составляет 0,025...0,08 мм. Преимуществами металлизации распылением являются возможность покрытия крупных деталей сложной конфигурации, простота нанесения металла и несложность требуемого для этого оборудования. При решении вопроса о металлизации напылением в конкретных условиях следует учитывать, что прочность сцепления слоя покрытия с основным металлом пониженная, потери напыляемого металла значительные, а в тонких слоях покрытия может наблюдаться пористость.

В качестве химической и электрохимической обработки деталей приспособлений применяются оксидирование, фосфатирование и другие процессы, заключающиеся в создании на поверхностях металлических деталей неорганической защитной пленки толщиной 5...8 мкм.

Оксидирование стальных деталей осуществляется термическим способом и может быть двух видов — воронение (для мелких деталей) и синение (для полированных деталей). Пленки, созданные в результате оксидирования и фосфатирования, защищают детали приспособлений от коррозии. Следует учитывать, что создаваемые пленки обладают пониженным сопротивлением истиранию, а фосфатирование можно использовать для защиты от коррозии стальных деталей, к декоративной отделке которых не предъявляется высоких требований.

|      |      |         |         |      |                               |      |
|------|------|---------|---------|------|-------------------------------|------|
|      |      |         |         |      | БКР 3503.06.001.8.00.00.00.13 | Лист |
| Изм. | Лист | № докум | Подпись | Дата |                               | 19   |

### 3.7.3. Прочность деталей приспособлений

Прочность — одно из основных требований, предъявляемых к деталям и приспособлениям в целом. Прочность деталей может рассматриваться по коэффициентам запаса или по номинальным допускаемым напряжениям. Расчеты по номинальным допускаемым напряжениям менее точны и прогрессивны, но значительно проще. С помощью расчета деталей (элементов) приспособлений на прочность можно решать две задачи:

а) проверку на прочность уже существующих деталей с определенными размерами сечений путем сравнения фактических напряжений (моментов, сил) с допускаемыми — проверочный расчет;

б) определение размеров сечений деталей — предварительный проектный расчет.

Расчет на прочность (задача а) детали в виде стержня круглого сечения, нагруженного осевой силой, по допускаемым напряжениям растяжения (сжатия) осуществляется по формуле

$$\sigma = \frac{4P}{\pi \cdot d^2} \leq [\sigma]$$

где  $\sigma$  — фактическое напряжение растяжения (сжатия), МПа;

$P$  — расчетная осевая сила, Н;

$d$  — диаметр опасного сечения (для резьбового стержня — внутренний диаметр резьбы), мм;

$[\sigma]$  — допускаемое напряжение растяжения (сжатия), МПа.

Определение необходимого размера опасного сечения (задача б) для подобного случая можно производить по формуле

$$d = \sqrt{\frac{4P}{\pi \cdot [\sigma]}}$$

Полученное значение округляется в сторону увеличения до целого или ближайшего стандартного значения. При наличии шпоночного паза в

|      |      |          |         |      |                               |      |
|------|------|----------|---------|------|-------------------------------|------|
|      |      |          |         |      | БкР 3503.06.001.8.00.00.00.13 | Лист |
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дата |                               | 20   |

опасном сечении детали полученное расчетом значение  $d$  следует увеличить на 5... 10 %.

Расчеты на прочность валов и осей с целью определения их размеров (задача б) можно производить по формулам: на изгиб (детали круглого сечения)

$$d = \sqrt[3]{\frac{M_{из}}{0,1 \cdot [\sigma]}}$$

на изгиб (детали кольцевого сечения)

$$d = \sqrt[3]{\frac{M_{из}}{0,1 \cdot \left( \frac{1}{k_0} - \frac{1}{k_0^3} \right) [\sigma]}}$$

на кручение

$$d = \sqrt[3]{\frac{M_{кр}}{0,2 \cdot [\tau]}}$$

где  $M_{из}$  — изгибающий момент, Н · мм;

$M_{кр}$  — крутящий момент, Н · мм;

$k_0 = d_0/d$  — отношение внутреннего диаметра вала (оси)  $d_0$  к наружному  $d$ .

Необходимо помнить, что оси рассчитываются только на изгиб, так как они не передают крутящего момента.

Валы и оси можно рассчитывать на жесткость, но диаметр деталей в этом случае получается большим, чем при расчете на прочность. Расчет на изгибную жесткость состоит из определения углов наклона и прогибов упругой линии осей и валов и сравнения их с допускаемыми значениями. Следует отметить и сложность расчетов деталей на жесткость. Например, расчет валов на жесткость (задача а) при кручении производится по формуле

$$\varphi = 180 \cdot M_{кр} \cdot \ell / (\pi \cdot G \cdot I_p) \leq [\varphi]$$

где  $\varphi$  — действительный угол закручивания вала, град;

|     |      |          |         |      |                                |      |
|-----|------|----------|---------|------|--------------------------------|------|
|     |      |          |         |      | БКР 3503.06.001.18.00.00.00.13 | Лист |
| Изм | Лист | № докум. | Подпись | Дата |                                | 21   |

$[\phi]$  — допускаемый угол закручивания (можно принимать для большинства валов  $[\phi] = 15'$  на 1 м длины; для менее ответственных валов  $[\phi]$  принимается до  $2^\circ$ );

$M_{\phi}$  — крутящий момент, Н·мм;

$l$  — длина скручиваемой части вала, мм;

$G$  — модуль упругости при сдвиге, МПа (для стали  $G = 8 \cdot 10^4$  МПа);

$I_p$  — полярный момент инерции сечения вала, мм<sup>4</sup>

Уточненный расчет валов на прочность, в случае возникновения такой необходимости, заключается в определении коэффициентов запаса для опасных сечений.

При нагружении соединения силами в плоскости (по поверхности) стыка деталей и в случаях установки штифта (цилиндрического гладкого стержня винта) без зазора и работы на срез проверочный расчет (задача а) штифта (винта) может осуществляться по формуле

$$\tau_{ср} = \frac{4P}{\pi \cdot d^2 \cdot i} \leq [\tau_{ср}]$$

где  $P$  — срезающая сила, Н;

$d$  — диаметр штифта (стержня винта), мм;

$i$  — число стыков (количество штифтов или винтов) в соединении;

$[\tau_{ср}]$  — допускаемое напряжение среза, МПа.

Расчет на прочность шпоночных и шлицевых соединений заключается в сравнении фактически передаваемого крутящего момента с допускаемым моментом из условий прочности шпонок (шлиц).

При необходимости расчеты на прочность сварных соединений, пружин, подшипников, клиноременных, зубчатых передач и других специфических сборочных единиц и деталей специальных приспособлений следует выполнять с помощью справочных и других литературных источников, приведенных в списке рекомендуемой литературы [3, 4, 15, 22] и др.

обеспечивать заданную точность.

|     |      |          |         |      |                                |      |
|-----|------|----------|---------|------|--------------------------------|------|
|     |      |          |         |      | ЕКР 3563.06.001.18.00.00.00.13 | Лист |
|     |      |          |         |      |                                | 22   |
| Изм | Лист | № докум. | Подпись | Дата |                                |      |

### 3.7.2 Расчёт и выбор посадок подшипников качения

Исходные данные:

Подшипник №205

Класс точности 0

Радиальная реакция  $R = 1,6 \text{ кН}$

Осевое усилие  $A = 2 \text{ кН}$

Характер нагрузки - с умеренными толчками и вибрациями, перегрузка до 150%

Размеры подшипника [2]:

$d = 25 \text{ мм}$

$D = 50 \text{ мм}$

$B = 21 \text{ мм}$

$r = 2 \text{ мм}$

$\beta = 12^\circ$

Для циркуляционно-нагруженного кольца определяется интенсивность нагружения  $P_R$ , Н.

$$P_R = \frac{R}{B - 2r} K_H \cdot F \cdot F_A, \quad (2.1)$$

где  $R$  – радиальная реакция опоры на подшипник, кН

$B$  – ширина подшипника, мм

$r$  – радиус фасок колец подшипника, мм

$K_H$  – динамический коэффициент посадки [1, табл.3.5]

$F$  – коэффициент ослабления посадочного натяга при полум валом или тонкостенном корпусе

$F_A$  – коэффициент неравномерности распределения радиальной нагрузки между рядами роликов или между сдвоенными шарикоподшипниками при наличии осевой нагрузки на опору [1, табл. 3.2]

|      |      |          |         |      |                              |      |
|------|------|----------|---------|------|------------------------------|------|
|      |      |          |         |      | БКР 3503.06.001.8.0000.00.03 | Лист |
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дата |                              | 23   |

$$P_R = \frac{1,6 \cdot 10^3}{21 - 2 \cdot 2} \cdot 1 \cdot 1,4 \cdot 2 = 263,5 \text{ Н/мм}$$

По величине интенсивности нагружения  $P_R$  выбираем вид посадки «js»  
 » - посадка на вал

Для колец, воспринимающих колебательное и местное нагружение, выбирается вид посадки в зависимости от характера нагружения и вида корпуса

«H» - посадка в корпус

Выбор качества для посадок колец подшипников

Для вала – 6 качество

Для корпуса – 7 качество

По ГОСТ 520 – 89 и ГОСТ 25347 – 82 определяем отклонения ES, EI, ei, es, строим поля допусков по наружному (D) и внутреннему (d) диаметрам и определяем табличные натяги  $N_{\max}$  и  $N_{\min}$

Отклонения для внутреннего кольца подшипника:

ES = +8 мкм, EI = -8 мкм

Отклонение для наружного кольца подшипника:

es = +25 мкм, ei = 0 мкм

Определяем поле допуска внутреннего (L5) и наружного (l5) колец  
 [1, табл. 3.9]

L0 = -12 мкм, l0 = -15 мкм

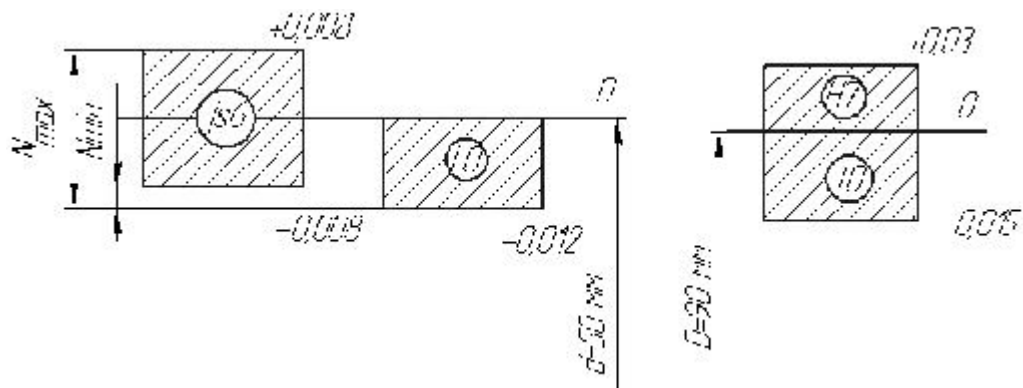


Схема расположения полей допуска

|     |      |         |         |      |                                |      |
|-----|------|---------|---------|------|--------------------------------|------|
| Изм | Лист | № докум | Подпись | Дата | БКР 3503.06.001.08.00.00.00.03 | Лист |
|     |      |         |         |      |                                | 24   |

$$N_{\min} = d_{\min} - D_{\max} = ei - ES \quad (3.1)$$

$$N_{\max} = d_{\max} - D_{\min} = es - EI \quad (3.2)$$

$$N_{\min} = -0,008 - (-0,012) = 0,004 \text{ [мм]}$$

$$N_{\max} = 0,008 - (-0,012) = 0,020 \text{ [мм]}$$

2.6 Вычислим минимальный допустимый натяг:

$$K = \frac{1}{\left[1 - \left(\frac{d}{d_0}\right)^2\right]} \quad (3.3)$$

$K$  - конструктивный фактор,

где  $d_0$  - приведенный диаметр внутреннего кольца

$$d_0 = d + \frac{D - d}{4} \quad (3.4)$$

$$d_0 = d + \frac{D - d}{4} = 50 + \frac{90 - 50}{4} = 60 \text{ мм}$$

$$K = \frac{1}{\left[1 - \left(\frac{50}{60}\right)^2\right]} = 3,273$$

$$U_{\min \text{ доп}} = \frac{13 \cdot R \cdot K}{(b - 2r) \cdot 10^6} \quad (3.5)$$

где  $R$  - радиальная реакция

$$U_{\min \text{ доп}} = \frac{13 \cdot R \cdot K}{(b - 2r) \cdot 10^6} = \frac{13 \cdot 1,6 \cdot 10^3 \cdot 3,273}{(1 - 2 \cdot 2) \cdot 10^6} = 0,004 \text{ мм} = 4 \text{ [мкм]}$$

Условие  $N_{\min} \geq U_{\min \text{ доп}}$  выполняется,

$0,004 = 0,004$  - условие выполнено

2.7 Вычислим максимальный допустимый натяг:

|     |      |          |         |      |                                |      |
|-----|------|----------|---------|------|--------------------------------|------|
|     |      |          |         |      | БКР 3503.06.001.18.00.00.00.03 | Лист |
|     |      |          |         |      |                                | 25   |
| Изм | Лист | № докум. | Подпись | Дата |                                |      |

$$U_{\max \text{ доп}} = 11,4 \frac{\sigma_{\text{доп}}}{K - 2 \cdot 10^6} \cdot K \cdot d \quad (3.6)$$

где  $\sigma_{\text{доп}} = 400$  – предел прочности шарикоподшипниковой стали

$$U_{\max \text{ доп}} = 11,4 \frac{400}{3,273 - 2 \cdot 10^6} \cdot 3,273 \cdot 50 = 0,164 \text{ [мм]}$$

$N_{\max} < U_{\max \text{ доп}}$  - условие выполнено.

$$0,020 < 0,164$$

Проверяем наличие посадочного рабочего зазора:

По внутреннему диаметру (d) определяем min и max радиальный зазор [1, табл. 3.11]:

$$G_{\min} = 12 \text{ мкм}, G_{\max} = 29 \text{ мкм}$$

Определяем начальный радиальный зазор:

$$G_n = \frac{G_{\max} + G_{\min}}{2} \quad (3.7)$$

$$G_n = \frac{G_{\max} + G_{\min}}{2} = \frac{29 + 12}{2} = 20,5 \text{ [мкм]} \text{ или } 0,0205 \text{ [мм]}$$

Определим эффективный натяг:

$$U_{\text{эф}} = 0,85 \cdot N_{\text{ср}} \quad (3.8)$$

где  $N_{\text{ср}}$  - усреднённый натяг

$$N_{\text{ср}} = \frac{N_{\max} + N_{\min}}{2} \quad (3.9)$$

$$N_{\text{ср}} = \frac{N_{\max} + N_{\min}}{2} = \frac{0,020 + 0,004}{2} = 0,012 \text{ [мм]}$$

$$U_{\text{эф}} = 0,85 \cdot 0,012 = 0,0102 \text{ [мм]}$$

Определим рабочий радиальный зазор:

$$G_p = G_n - \Delta d \quad (2.11)$$

$$\text{где } \Delta d = U_{\text{эф}} \cdot \frac{d}{d_0} = 0,0102 \cdot \frac{50}{60} = 0,0085 \text{ [мм]}$$

$$G_p = 0,0205 - 0,0085 = 0,012 \text{ [мм]}$$

|     |      |         |         |      |                               |      |
|-----|------|---------|---------|------|-------------------------------|------|
|     |      |         |         |      | БКР 3563.66.001.8.00.00.00.13 | Лист |
| Узм | Лист | № докум | Подпись | Дата |                               | 26   |

Условие  $G_p > 0$  - выполнено.

Определим усилие запрессовки подшипника на вал ( $P_{загр}$ ):

$$P_{загр} = \frac{U_{зф} \cdot f \cdot E \cdot \pi \cdot B}{2K} \quad (3.10)$$

Где  $f = 0,14$  - коэффициент трения при запрессовке

$E = 2 \cdot 10^{11} \text{ Па}$  - модуль упругости стали

$$P_{загр} = \frac{0,0102 \cdot 0,14 \cdot 2 \cdot 10^{11} \cdot 3,14 \cdot 21 \cdot 10^{-6}}{2 \cdot 3,273} = 2876,9 \text{ Н}$$

Определим температуру нагрева подшипника в масле для установки его на вал:

$$t_{под} = \frac{N_{max} + S_{св}}{\alpha \cdot d} + 20^\circ \text{C} \quad (3.11)$$

где  $\alpha = 12 \cdot 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$  - температурный коэффициент линейного расширения подшипниковой стали

$S_{св} = 0,008 \text{ мм}$  - сборочный зазор

$$t_{под} = \frac{0,020 + 0,008}{12 \cdot 10^{-6} \cdot 50} + 20^\circ \text{C} = 66,7 \text{ } ^\circ\text{C}$$

### 3.8. Организация техники безопасности и противопожарные мероприятия

Техника безопасности – это система организационных мероприятий и технических средств, предотвращающих воздействия, которые приводят к травмам или к ухудшению состояния здоровья, наступившему внезапно в результате несчастного случая.

Для уменьшения и предупреждения травматизма проводим следующие виды инструктажа:

|      |      |          |         |      |                                |      |
|------|------|----------|---------|------|--------------------------------|------|
|      |      |          |         |      | БКР 3563.06.001.18.00.00.00.13 | Лист |
|      |      |          |         |      |                                | 27   |
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дата |                                |      |

- 1) вводный- при поступлении рабочего на работу;
- 2) ежедневный- проводится на рабочем месте
- 3) периодический- через 3...6 месяцев
- 4) внеочередной- после каждого несчастного случая или при изменении технологии.

Тело рабочего должно быть защищено от повреждений при помощи спецодежды. В зависимости от вида и опасности выполняемых работ предусматривается специальная обувь. При работе, связанной с поднятием и переносом тяжелых предметов необходимо пользоваться перчатками. При работе с вредными или красящими жидкостями необходимо применять респиратор, а руки защищать резиновыми перчатками.

Для защиты рабочего от поражений электрическим током необходимо голые проводки, шины и другие токоведущие части оборудования, либо располагать в недоступном месте, либо защищать ограждениями. В некоторых случаях для защиты применяют крышки, короба, изоляцию и т.д.

Для безопасной эксплуатации внутрицехового транспорта и безопасного выполнения работ на участке необходимо четко разметить габариты проезжей части, места переходов и опасных выступающих частей оборудования, а также установить на участке предупредительные и запрещающие знаки, использовать для предупреждения об опасности звуковые и световые сигналы.

Для предотвращения возникновения пожаров на участке предусматриваем следующие меры:

- 1) не допускать нарушения технологического процесса
- 2) не допускать неисправностей оборудования ( короткое замыкание, перегрузка)
- 3) не допускать скопления промасленной ветоши и других материалов, склонных к самовозгоранию
- 4) ставить ограждения при проведении газо и электросварочных работ

5) заземлить все электроустановки

кроме того, согласно ГОСТ 12.1004-76 "Пожарная безопасность" на рабочих местах должны быть предусмотрены ящики с песком, пожарные щиты и кошмой, ведрами и шанцевым инструментом.

### 3.9 Мероприятия по снижению шума оборудования

В промышленности всегда имеет место шум как совокупность мешающих и раздражающих звуков.

Шум на производстве наносит большой ущерб: вредно воздействует на организм человека, снижает производительность труда.

Природа шума- колебания твердых, жидких и газообразных систем.

Можно выделить следующие направления снижения шума:

1) внедрение конструкторских решений: замена в кинематических цепях прямозубых шестерен на косозубые, цепных передач на ременные, применение специальных смазочных материалов.

2) Технологические решения: выбор менее шумных режимов

3) Применение специальных устройств- глушителей на транспорте

4) Применение акустической обработки машин и механизмов- ведется с применением пористых, волокнистых, многослойных материалов, противошумных мастик и т. д.

5) Необходимо принимать меры по снабжению рабочих берушами, наушниками или шлемами и другими индивидуальными средствами защиты.

### 3.10 Мероприятия по снижению вибраций машин и оборудования

Природа вибрации та же, что и у шума – колебания, но чисто вибрация без шумовых эффектов наблюдается на частотах ниже 16 Гц.

|     |      |         |         |      |                               |      |
|-----|------|---------|---------|------|-------------------------------|------|
|     |      |         |         |      | БКР 3503.06.001:8.00.00.00.13 | Лист |
| Изм | Лист | № докум | Подпись | Дата |                               | 29   |

Существует ряд частот колебаний, которые при воздействии на человека вызывают спазм сосудов и потерю чувствительности, а при длительном систематическом воздействии могут привести к виброболезням. Виброболезнь относится к группе профзаболеваний, поддающихся лечению лишь на ранних стадиях. Поэтому необходимо ежегодно проводить для рабочих профессиональные осмотры в поликлиниках.

Основными причинами вибраций являются различные дисбалансы, неуравновешенность механизмов, несовпадение осей, неравномерность материала конструкции (раковины), неравномерный нагрев и т. д.

Для снижения вибраций машин и оборудования проводят следующие мероприятия: подналадка оборудования, балансировка вращающихся частей, установка оборудования на достаточно прочный фундамент, применение вибродемпферов для гашения колебаний, применение специальных прокладок, резиновых муфт и т. д.

### 3.11 Разработка пылеулавливающих устройств

Промышленная пыль это мельчайшие частицы, которые могут находиться во взвешенном состоянии.

Пыль образуется при дроблении и размоле, транспортировке измельченного материала (например, песка), механической обработке поверхностей (например, при шлифовании); при сварке, уборке помещений и т. д.

Наибольшую опасность для организма человека представляет мелкодисперсная пыль, которая не исчезает из воздуха, легко проникает в легкие человека. При длительном вдыхании пыли у человека может возникнуть профессиональное заболевание- силикоз.

На спроектированном участке механического цеха по обработке вала мелкодисперсная пыль возникает в основном около шлифовальных станков. Для ее устранения на шлифовальных станках предусмотрен отсос пыли из

|     |      |         |         |      |                                |      |
|-----|------|---------|---------|------|--------------------------------|------|
|     |      |         |         |      | БКР 3503.06.001.18.00.00.00.13 | Лист |
|     |      |         |         |      |                                | 30   |
| Изм | Лист | № докум | Подпись | Дата |                                |      |

зоны резания. Кроме этого, на участке предусмотрена общая и местная вентиляция, которая обеспечивает необходимую циркуляцию воздуха.

### 3.12 Производственная гимнастика на рабочем месте

Производственная физическая культура - система методически обоснованных физических упражнений физкультурно-оздоровительных и спортивных мероприятий, направленных на повышение и сохранение устойчивой профессиональной дееспособности. Форма и содержание этих мероприятий определяются особенностями профессионального труда и быта человека. Заниматься ПФК можно как в рабочее, так и в свободное время.

В рабочее время производственная физическая культура (ПФК) реализуется через производственную гимнастику.

Производственная гимнастика - это комплексы специальных упражнений, применяемых в режиме рабочего дня, чтобы повысить общую и профессиональную работоспособность, а также с целью профилактики и восстановления.

Основная задача производственной гимнастики - повышение профессиональной работоспособности трудящихся за счет выполнения специально подобранных упражнений, направленных на восстановление работоспособности в процессе труда, снижение утомления. Одним из условий сохранения высокой профессиональной работоспособности является переключение деятельности. Таким переключением деятельности и является производственная гимнастика.

Ее гигиеническое значение заключается в оздоровительном эффекте, в улучшении функциональных показателей физического развития и физической подготовленности при систематическом применении в снижении нервно-психического напряжения. Осложняет проведение производственной гимнастики ограниченность во времени, выполнение физических упражнений непосредственно на рабочем месте, в рабочей одежде и т.д.

Производственная гимнастика имеет следующие основные формы.

|     |      |          |         |      |                               |      |
|-----|------|----------|---------|------|-------------------------------|------|
|     |      |          |         |      | БКР 3503.06.001:8.00.00.00.13 | Лист |
| Изм | Лист | № докум. | Подпись | Дата |                               | 31   |

Вводная гимнастика направлена на скорейшее включение организма в работу. С ее помощью достигается оптимальная возбудимость центральной нервной системы и привычный рабочий ритм, поэтому подбираются движения и ритм, соответствующие предстоящей деятельности. Комплексы вводной гимнастики состоят из 6- 8 упражнений, выполняемых в течение 5-7 мин в начале рабочего дня.

Физкультурная пауза, как форма активного отдыха, позволяет предупредить утомление и способствует поддержанию более высокой работоспособности. Она состоит из 5-7 упражнений и проводится в течение 5-7 мин при появлении первых отчетливых признаков наступающего утомления. Обычно это бывает во второй половине рабочего дня, за 2-2,5 ч до окончания работы. Упражнения для физкультпауз подбираются в зависимости от особенностей трудового процесса.

Физкультурные минутки относятся к малым формам активного отдыха и проводятся в течение 1-2 мин, состоят из 2-3 упражнений. Их целью является снижение местного утомления, возникающего, например, при длительном сидении в рабочей позе, сильном напряжении внимания, зрения и т.п. Чаще всего используются в режиме рабочего дня работников умственного труда - до 5 раз, по мере необходимости в активном отдыхе. Их использование не зависит от того, выполняется физкультпауза и вводная гимнастика или нет.

Микропаузы активного отдыха - самая короткая форма производственной гимнастики, длятся всего 20 - 30 с. Их цель - ослабить утомление.

Физическая нагрузка во время производственной гимнастики зависит от пола, возраста, состояния здоровья и степени подготовленности занимающихся. Поскольку производственный коллектив не однороден, следует ориентироваться на средние показатели по субъективным ощущениям занимающихся во время и после занятий. У них могут возникнуть жалобы на плохое самочувствие, усталость, сердцебиение, головокружение, головную боль и др., а также признаки утомления

|      |      |         |         |      |                               |      |
|------|------|---------|---------|------|-------------------------------|------|
|      |      |         |         |      | БКР 3503.06.001.8.00.00.00.13 | Лист |
|      |      |         |         |      |                               | 32   |
| Изм. | Лист | № докум | Подпись | Дата |                               |      |

(покраснение лица, повышенная потливость, одышка и др.). При появлении тех или иных неблагоприятных симптомов необходимо изменить дозировку упражнений - уменьшить темп движений или количество повторений, а при выраженных случаях утомления и жалобах на сердцебиение и головокружение - направить на консультацию к врачу.

Организация занятий производственной гимнастикой во многом основывается на требованиях гигиены и физиологии труда. Кроме того, необходимы надлежащие гигиенические условия в местах занятий. Гимнастика проводится в цехах, непосредственно у рабочего места, в проходах или расположенных вблизи коридорах и подсобных помещениях, удовлетворяющих гигиеническим требованиям. В теплый период года занятия по возможности следует проводить на открытом воздухе.

Проведение гимнастики на рабочих местах экономит время, но не всегда возможно из-за неудовлетворительного санитарного состояния окружающей среды. Поэтому при организации производственной гимнастики предполагаемое место занятий обследуется в санитарном отношении с привлечением инженера по технике безопасности. Когда это необходимо, проводят специальные гигиенические исследования заводская лаборатория, здравпункт или санэпидемстанция. С целью оценки мест занятий и определения контингента занимающихся в паспортизации отделов и цехов принимают участие медицинский работник и санитарный врач.

При определении условий профессионального труда и наличия вредностей учитывают характер трудового процесса (рабочая поза, степень нервно-психического и мышечного напряжения), особенности технологического процесса и производственного оборудования (степень механизации и автоматизации производственных процессов, герметичность оборудования, удобство его обслуживания и т.п.) и санитарно-гигиеническую обстановку (метеорологические условия, загрязнение воздуха пылью и газами, шум, вибрация, ионизирующая радиация, освещенность и др.).

|      |      |        |         |      |                              |      |
|------|------|--------|---------|------|------------------------------|------|
|      |      |        |         |      | БКР 3503.06.001:8.00.00.00/3 | Лист |
| Изм. | Лист | № док. | Подпись | Дата |                              | 33   |

Запрещается проводить занятия при температуре воздуха выше 25 °С и влажности выше 70%, при наличии в воздухе даже незначительных количеств ядовитых веществ, при повышенном или пониженном барометрическом давлении, при шуме свыше 70дБ. Оценка степени загрязнения воздуха производственных помещений газами и пылью проводится на основании сравнения с предельно допустимыми концентрациями этих веществ в рабочей зоне (мг/м<sup>3</sup>): аммиак - 20, бензин - 300, окись углерода - 20, пары ртути - 0,01, сероводород - 10; пыль нетоксическая, не содержащая двуокиси кремния - до 10, содержащая двуокись кремния - 2, пыль стеклянная и минерального волокна - 4.

В помещениях, где проводится производственная гимнастика, необходимо постоянно поддерживать чистоту, перед занятиями проветривать. В помещениях должно быть достаточно свободной площади. Санитарными нормами на промышленных предприятиях предусматривается ширина проходов между станками не более 1,5 м. Такая же ширина считается минимальной для групповых занятий гимнастикой. В среднем на каждого занимающегося должно приходиться не менее 1,5 м<sup>2</sup> свободной площади пола.

Место, выбранное для занятий, должно быть безопасным. У станков и машин, находящихся рядом с местами для занятий гимнастикой, все открытые и движущиеся части (ребенки, зубчатые сегменты, маховые колеса и т.п.), а также открытые передачи (шкивы, ремни и др.) и вообще все опасные части должны иметь конструктивные ограждения.

На места занятий гимнастикой распространяются и другие правила безопасности: ограждение проводов высокого напряжения, ограждение от непосредственного влияния лучистой энергии и др.

Во избежание травм при занятиях гимнастикой полы должны быть гладкими, нескользкими, удобными для уборки. Перед занятиями (не позже чем за 30 мин) в производственном помещении следует произвести влажную уборку (перед подметанием посыпать пол влажными опилками).

|     |      |          |         |      |                               |      |
|-----|------|----------|---------|------|-------------------------------|------|
|     |      |          |         |      | БКР 3503.06.001:8.00.00.00.13 | Лист |
| Изм | Лист | № докум. | Подпись | Дата |                               | 34   |

При внедрении производственной гимнастики по предприятию издается приказ, в котором отражаются задачи медико-санитарной части, здравпункта, меры по контролю за санитарно-гигиеническим состоянием мест, отведенных для занятий производственной гимнастикой. В состав методического совета по производственной гимнастике обязательно включается заведующий медико-санитарной частью (здравпунктом) предприятия. В дальнейшем параллельно с изучением эффективности производственной гимнастики, обновлением и составлением заново комплексов продолжается изучение санитарно-гигиенических условий труда и принимаются меры по их улучшению.

Составной частью профилактической деятельности медицинских работников предприятий является разъяснительная работа среди трудящихся о влиянии на организм занятий гимнастикой; подготовка и инструктаж методистов и общественных инструкторов производственной гимнастики по санитарным и гигиеническим вопросам, ознакомление их, а также трудящихся с простейшими методами самоконтроля за состоянием здоровья.

Здоровье врача - педиатра рассматривается как абсолютная социальная ценность, так как характеризует не только состояние человека определенной профессиональной принадлежности, но и является обязательным условием воспитания здоровой личности.

Врачи испытывают в своей профессиональной деятельности значительное психическое и физическое напряжение. Воздействие дополнительных неблагоприятных факторов: невысокий социальный статус, недостаточный, для удовлетворения основных потребностей человека, уровень заработной платы, влияние экологической обстановки, а так же специфика труда (принудительный характер общения, большое количество контактов в течение дня, гиподинамия) - способствуют снижению функциональных резервов организма. Хроническое снижение функциональных резервов организма ведет к развитию утомления, а длительное отсутствие полноценного отдыха к переутомлению, что снижает

|      |      |         |         |      |                              |      |
|------|------|---------|---------|------|------------------------------|------|
|      |      |         |         |      | БкР 3503.06.001:8.00.00.00/3 | Лист |
| Изм. | Лист | № докум | Подпись | Дата |                              | 35   |

защитные силы организма и может способствовать возникновению различных заболеваний, снижению или потере трудоспособности.

Рациональный режим труда и отдыха позволяет сохранить здоровье и высокую трудоспособность в течение длительного времени. Поэтому врачи - педиатры обязаны делать короткие перерывы в течение рабочего дня для выполнения производственной гимнастики.

Производственная гимнастика - это комплексы несложных физических упражнений, ежедневно включаемых в режим рабочего дня с целью улучшения функционального состояния организма, поддержания высокого уровня трудоспособности и сохранения здоровья работающих.

Каждое предприятие практикует собственную форму производственной гимнастики и собственный регламент ее проведения. Для этой цели используют разные формы занятий производственной гимнастикой, физкультурную микропаузу (не более одной минуты), физкультурную паузу (выполняется в течение 5 мин.), физкультурную минутку (1,5-2 мин.). С их помощью оказывается разнообразное воздействие на организм занимающихся, предупреждается или снимается утомление, улучшается самочувствие.

### **3.13 Экономическое обоснование конструкции приспособления**

#### **3.13.1 Расчет балансовой стоимости приспособления**

Экономический эффект от применения приспособлений определяют путем сопоставления годовых затрат и годовой экономии для сравниваемых вариантов обработки деталей. Годовые затраты состоят из амортизационных отчислений и расходов на содержание и эксплуатацию приспособления. Годовая экономия получается за счет снижения трудоемкости изготовления

|      |      |         |         |      |                               |      |
|------|------|---------|---------|------|-------------------------------|------|
|      |      |         |         |      | БКР 3503.06.001:8.00.00.00.13 | Лист |
| Изм. | Лист | № докум | Подпись | Дата |                               | 36   |



обрабатываемых деталей, т. е. за счет сокращения затрат на заработную плату рабочих-станочников и уменьшения цеховых накладных расходов.

Применение приспособления экономически выгодно в том случае, если годовая экономия от его применения больше годовых затрат, связанных с его эксплуатацией. Экономическая эффективность применения любого приспособления определяется также величиной срока окупаемости, т. е. срока, в течение которого затраты на приспособление будут возмещены за счет экономии от снижения себестоимости обрабатываемых деталей.

Необходимо отметить, что в некоторых случаях с целью достижения высокой точности обрабатываемых деталей применяют приспособления независимо от их экономической эффективности.

При технико-экономических расчетах, производимых при выборе соответствующей конструкции приспособления, необходимо сопоставлять экономичность различных конструктивных вариантов приспособлений для конкретной операции обрабатываемой детали. Считая, что расходы на режущий инструмент, амортизацию станка и электроэнергию для этих вариантов одинаковы, определяют и сравнивают лишь те элементы себестоимости операции, которые зависят от конструкции приспособления.

Масса приспособления определяется по формуле:

(3.1)

где  $G_k$  – масса сконструированных деталей, узлов и агрегатов, кг.;

$G_r$  – масса готовых узлов и агрегатов, кг.;

$K$  – коэффициент учитывающий массу расходуемых на изготовление конструкций монтажных материалов

$$K=1,05 \dots 1,15$$

Массу сконструированных деталей, узлов и агрегатов заносим в таблице 3.1

|      |      |         |         |      |                               |      |
|------|------|---------|---------|------|-------------------------------|------|
|      |      |         |         |      | БКР 3563.06.001:8.00.00.00.ПЗ | Лист |
| Изм. | Лист | № докум | Подпись | Дата |                               | 37   |

Таблица 3.1-Расчет массы сконструированных узлов

| Наименование детали | Объем детали, см <sup>3</sup> | Удельный вес, кг/см <sup>3</sup> | Масса детали, кг |
|---------------------|-------------------------------|----------------------------------|------------------|
| 1                   | 2                             | 3                                | 4                |
| Плита               | 985                           | $7,8 \times 10^{-3}$             | 7,6              |
| Кронштейн           | 143                           | $7,8 \times 10^{-3}$             | 1,15             |
| Направляющая        | 52                            | $7,8 \times 10^{-3}$             | 0,405            |
| Зажим               | 96                            | $7,8 \times 10^{-3}$             | 0,748            |
| Всего               | -                             | —                                | 9,903            |

$$G_M = 9,903 + 3,54 \cdot 1,05 = 14,115 \text{ кг.}$$

Для определения стоимости конструкции машин воспользуемся способом аналогии по сопоставимости массы

$$C_{\sigma} = \frac{C_{стар} \cdot G_{стар} \cdot \sigma}{G_{нов}} \quad (3.2)$$

где  $C_{стар}$ ,  $C_{\sigma}$  – балансовая стоимость проектируемой и старой конструкции, руб. ;

$G_{стар}$ ,  $G_{нов}$ . – масса старой и проектируемой конструкции ;

$\sigma$  – коэффициент удействление конструкции ( $\sigma = 0,9 \dots 0,95$ )

$$C_{\sigma} = \frac{25000 \cdot 12,1 \cdot 0,95}{13,443} = 21393 \text{ руб.}$$

Для расчетов принимаем  $C_{\sigma} = 21500$  рублей.

### 3.13.2 Расчет технико-экономических показателей эффективности конструкции приспособления

|     |      |         |         |      |                                |      |
|-----|------|---------|---------|------|--------------------------------|------|
|     |      |         |         |      | БКР 3503.06.001.18.00.00.00.13 | Лист |
| Изм | Лист | № докум | Подпись | Дата |                                | 38   |

Исходные данные для расчета заносим в таблицу 3.2

Таблица 3.2 -Исходные данные для расчета

| Наименование                              | Исходные | Проект |
|-------------------------------------------|----------|--------|
| Масса конструкции $G$ , кг.               | 12,1     | 13,44  |
| Балансовая стоимость $C_б$ , руб.         | 25000    | 21500  |
| Количество обслуживающего персонала, чел. | 1        | 1      |
| Разряд работы                             | IV       | IV     |
| Тарифная ставка $З$ , руб. чел/ч          | 60       | 60     |
| Норма затрат на ремонт и ТО $A_{pmo}$ , % | 16       | 16     |
| Норма амортизации $\alpha$ , %            | 14,2     | 14,2   |
| Годовая загрузка $T_{год}$ , час.         | 1200     | 1200   |
| Часовая производительность $W_ч$ , шт/час | 12,8     | 19,3   |
| Срок службы $T_{сл}$ , лет                | 10       | 10     |

При расчетах показатели исходной конструкции обозначаем с индексом 0, а показатели проектируемой конструкции обозначаем индексом 1

Металлоемкость процесса определяется по формуле:

$$M_e = \frac{G}{W_ч \cdot T_{год} \cdot T_{сл}}, \text{ кг/шт.} \quad (3.4)$$

где  $G$  – масса, кг;

$T_{год}$  – годовая загрузка, шт.;

$T_{сл}$  – срок службы, лет.

$$M_e^0 = \frac{12,1}{12,8 \cdot 1200 \cdot 10} = 7,88 \cdot 10^{-5} \text{ кг/шт.}$$

$$M_e^1 = \frac{13,44}{19,3 \cdot 1200 \cdot 10} = 5,81 \cdot 10^{-5} \text{ кг/шт.}$$

Фондоемкость процесса (общая):

где — балансовая стоимость, руб

|      |      |          |         |      |                              |      |
|------|------|----------|---------|------|------------------------------|------|
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дата | БКР 3503.06.001.18.000000.13 | Лист |
|      |      |          |         |      |                              | 39   |

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

. Себестоимость работы выполняемой с помощью спроектированной конструкции и в исходном варианте:

$$C_{\text{исх}} = Z \cdot T_e + A, \quad (3.6)$$

где  $Z$  – затраты на оплату труда, руб./шт.;

$A$  – затраты на ремонт и техническое обслуживание

$A$  – амортизационные отчисления по конструкции, руб./т

Затраты на заработную плату определяется по формуле:

$$C_{\text{зн}} = Z \cdot T_e, \quad (3.7)$$

$$T_e = \frac{n}{W_{\text{ч}}}, \quad (3.8)$$

где  $n$  – количество обслуживающего персонала

$$T_1 = \frac{1}{12,8} = 0,07 \text{ чел.} \cdot \text{ч/шт}$$

$$T_2 = \frac{1}{19,3} = 0,051 \text{ чел.} \cdot \text{ч/шт}$$

руб/шт;

руб/шт.

Затраты на ремонт и техническое обслуживание определяется из выражения

\_\_\_\_\_

где  $K_{\text{р}}$  – норма затрат на ремонт и техобслуживание, %

\_\_\_\_\_

|     |      |          |         |      |                                |      |
|-----|------|----------|---------|------|--------------------------------|------|
|     |      |          |         |      | ЕКР 3503.06.001.18.00.00.00.03 | Лист |
|     |      |          |         |      |                                | 40   |
| Изм | Лист | № док-м. | Подпись | Дата |                                |      |

Затраты на амортизацию определяется из выражения:

где  $a$  – норма амортизации, %

Приведенные затраты определяются по формуле:

(3.11)

где  $K$  – нормативный коэффициент эффективности капитальных вложений,

удельные капитальные вложения, руб/ед .

;

Годовая экономия определяется по формуле:

(3.12)

Годовой экономический эффект:

(3.13)

руб.

Срок окупаемости дополнительных капитальных вложений:

|      |      |         |         |      |                               |      |
|------|------|---------|---------|------|-------------------------------|------|
|      |      |         |         |      | БКР 3503.06.001:8.00.00.00.13 | Лист |
|      |      |         |         |      |                               | 41   |
| Изм. | Лист | № докум | Подпись | Дата |                               |      |

где балансовая стоимость спроектированной конструкции, руб

Коэффициент эффективности дополнительных капитальных вложений:

Таблица 3.3 Сравнительные технико-экономические показатели  
эффективности конструкции приспособления

| Наименование показателей                                  | Базовый<br>(исходный) | Проектируемый |
|-----------------------------------------------------------|-----------------------|---------------|
| Часовая производительность, шт./ч                         | 12,8                  | 19,3          |
| Фондоемкость процесса, руб./шт.                           | 1,62                  | 0,92          |
| Металлоемкость, г/шт.                                     | 7,88                  | 5,81          |
| Уровень эксплуатационных затрат, руб./шт.                 | 4,57                  | 3,39          |
| Уровень приведенных затрат, руб./шт.                      | 4,81                  | 3,52          |
| Годовая экономия, руб.                                    | —                     | 27792         |
| Годовой экономический эффект, руб.                        | —                     | 30339,6       |
| Срок окупаемости дополнительных капитальных вложений, лет | —                     | 0,77          |
| Коэффициент эффективности доп. капитальных вложений       | —                     | 1,29          |

По результатам вычислений видно, что конструкция приспособления является экономически эффективной.