


Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
«Уральский федеральный университет
имени первого Президента России Б.Н. Ельцина»

Институт новых материалов и технологий

Кафедра «Технологии машиностроения, станки и инструменты»

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ ПЕРЕД ГЭК

Зав. кафедрой 
Красильников А.Я.
(подпись) (Ф.И.О.)

« 11 » июня 2021 г.

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА

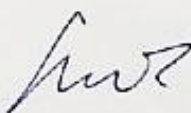
Разработка технических средств уменьшения температурных погрешностей обработки на высокоскоростных станках


Руководитель: Ф.И.О. Либерман Я.Л.

Доцент, кандидат технических наук

Нормоконтролер: Ф.И.О. Куряевский Я.А.

Студент группы НМТМ-292503 Ф.И.О. Оссовская Е.С.

 подпись

 подпись

 подпись

Екатеринбург
2021

РЕФЕРАТ

В начале работы рассматриваются факторы, которые влияют на точность станков, и учитывается роль температурных деформаций для обеспечения точности обработки на металлорежущих станках. Наблюдается, что большое влияние на точность станков оказывают тепловые деформации. После этого познакомились со способами уменьшения температурных деформаций узлов станков, которые используются в данное время, и с техническими средствами их реализации. Рассмотрев существующие системы, мы определили задачу разработки системы термостабилизации с водяным охлаждением электрошпинделя. Для начала мы модернизировали существующую систему термостабилизации шпиндельного узла, в которую включили цепь дифференциала. Потом, обозначив достоинства и целесообразность комбинированного управления, разработали более совершенную систему термостабилизации шпиндельного узла.

Далее рассмотрен другой фактор погрешности при обработке – это инструмент, в нашем случае резец для токарной обработки. Для него была разработана система охлаждения с учетом нагрева пластины.

ОГЛАВЛЕНИЕ

РЕФЕРАТ	2
ВВЕДЕНИЕ.....	5
ГЛАВА 1. СОСТОЯНИЕ ВОПРОСА И ПОСТАНОВКА ЗАДАЧ ДИССЕРТАЦИИ	6
1.1. Погрешности обработки на металлорежущих станках, их виды и условия возникновения	6
1.2. Мотор-шпиндель и резцовый блок как основные источники температурных погрешностей обработки на высокоскоростных токарных станках.....	7
1.4. Современные системы охлаждения мотор-шпинделей, их достоинства и недостатки.....	11
1.4.1. Система Панова и аналогичные	11
1.4.2. Система термостабилизации шпиндельного узла по патенту Я.Л.Либермана №102553.....	15
1.4.4. Система термостабилизации шпиндельного узла по патенту Я.Л.Либермана №116387.....	19
1.5. Прогрессивные конструкции токарных резцов с малой термической деформируемостью, принципы и особенности их конструирования.....	22
1.6. Выводы	24
ГЛАВА 2. ... РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ СРЕДСТВ ОХЛАЖДЕНИЯ ЭЛЕМЕНТОВ МОТОР-ШПИНДЕЛЯ ТОКАРНОГО СТАНКА.....	25
2.1. Построение быстродействующей системы охлаждения подшипников мотор-шпинделя станка.....	25
2.2. Сравнительный анализ новой системы охлаждения подшипников и наиболее прогрессивной из существующих	28
2.3. Разработка системы охлаждения двигателя станочного мотор- шпинделя.....	32
2.3.1. Схемные решения.....	32
2.5. Исследование характеристик разработанной системы охлаждения двигателя	37
Работа системы основана на использовании известных соотношений, описывающих потери асинхронного частотнорегулируемого двигателя: ..	37

1.5. Выводы	40
ГЛАВА 3. РАЗРАБОТКА НОВЫХ ТОКАРНЫХ РЕЗЦОВ С МАЛОЙ ДЕФОРМИРУЕМОСТЬЮ	41
3.1. Новая конструкция резца со встроенным авторегулятором охлаждения	41
3.3. Материалы, обеспечивающие малую термдеформируемость резца и разработка резца с применением инварного сплава.....	46
3.5. Выводы	49
ГЛАВА 5. ПРИМЕРЫ КОНСТРУКТИВНОЙ РЕАЛИЗАЦИИ ОХЛАЖДАЕМЫХ МОТОР-ШПИНДЕЛЕЙ	50
4.1 Высокоскоростной шпиндельный узел (пример 1)	50
4.2 Высокоскоростной шпиндельный узел (пример 2)	53
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	55
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ	56
Приложение	58

ВВЕДЕНИЕ.

Металлорежущие станки являются основным видом машиностроительного оборудования, предназначенным для производства современных машин, приборов, инструментов и других изделий.

Возрастающие требования к качеству и надежности выпускаемой продукции, точности обработки значительно повысили количество используемых на предприятиях дорогостоящих станков с числовым программным управлением, обладающих широкими технологическими возможностями. Но возможность покупки такого оборудования не всегда имеется, в первую очередь из-за высокой цены. Поэтому в данной работе мы предлагаем использовать оборудование, которое уже имеется на предприятии.

В ходе многочисленных исследований было выявлено, что большое влияние на точность станков оказывают температурные деформации. Для их уменьшения созданы различные методы и системы термостабилизации. Но существующие системы не могут полностью исключить тепловые погрешности станков.

ГЛАВА 1. СОСТОЯНИЕ ВОПРОСА И ПОСТАНОВКА ЗАДАЧ ДИССЕРТАЦИИ

1.1. Погрешности обработки на металлорежущих станках, их виды и условия возникновения

При механической обработке деталей на металлорежущих станках возникает ряд погрешностей, источниками которых являются станок, приспособление, инструмент и сама обрабатываемая деталь или, говоря сокращенно, система СПИД.

Исходя из характера образования погрешностей обработки, их можно разделить на постоянные, функциональные и случайные.

Постоянными называются такие погрешности, которые сохраняют свое значение при обработке каждой новой детали.

Функциональными называются такие погрешности, величина которых закономерно изменяется при обработке каждой новой детали.

Случайными называются такие погрешности, величина которых при обработке каждой новой детали может принять любое численное значение (в определенных пределах), заранее нам не известное.

Причин возникновения погрешностей обработки очень много, но для каждого вида погрешностей можно установить главные или доминирующие причины.

1.2. Мотор-шпиндель и резцовый блок как основные источники температурных погрешностей обработки на высокоскоростных токарных станках

Высокоскоростным считается резание, при котором скорость возрастает в 5 и более раз по сравнению с уровнем, установившемся для данного обрабатываемого материала. В последние годы отмечается устойчивый рост интереса к этому инновационному процессу в связи с тем, что:

- во-первых, в современных машинах увеличивается процент деталей с пространственно-сложными поверхностями. Это связано с развитием сложной формообразующей оснастки, с оптимизацией массогабаритных показателей в авиационной и космической технике, в гоночных автомобилях. Обработка таких элементов оснастки и сложных деталей с обычными режимами резания длится несколько десяткой часов. Значительно сократить время обработки позволяет метод высокоскоростной обработки (ВСО);
- во-вторых, высокоскоростная обработка значительно сокращает длительность полного производственного цикла от идеи нового продукта до готовой детали, что является одним из центральных моментов сохранения конкурентоспособности предприятия;
- в-третьих, внедрение ВСО мобилизует предприятие на освоение сопутствующих наукоемких технологий и способов управления производством.

Развитию метода высокоскоростной обработки (HSC - High Speed Cutting) послужили высокие достижения информационных технологий, и в частности создание высокотехнологичных наукоемких CAD/CAM- систем. Внедрению метода ВСО способствовали теоретические предпосылки теории резания:

- 1) При повышении скорости резания происходит перераспределение тепла, образующегося при резании, в сторону тепла, уносимого стружкой (рис. 1). Доля тепла, передаваемого заготовке, понижается

так, что заготовка практически не нагревается. Именно это позволяет производить обработку даже закаленных сталей, не опасаясь отпуска поверхностного слоя.



Рис. 1 Диаграмма относительного распределения тепла

2) При анализе зависимости силы резания от скорости резания (рис. 2) было отмечено, что в определенном интервале скоростей резания наблюдается значительный спад сил резания (такие зависимости за рубежом называют кривыми Соломона).

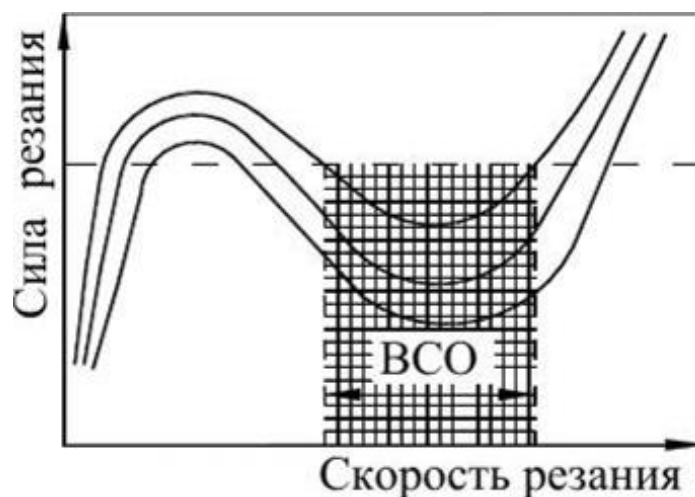


Рис. 2 Кривые Соломона. Зависимость сил резания от скорости резания

Проведенные исследования показали, что высокоскоростная обработка возможна на станках с ЧПУ при определенных условиях:

- небольшие сечения среза;

- малые динамические нагрузки при изменении направления движения инструмента;
- равномерная нагрузка на инструмент во время всего цикла обработки заготовки.

Особенности ВСО предъявляют особые требования к конструкции станков, обеспечивающих этот вид обработки. Это касается не только всех элементов самого станка, но и систем и устройств, обеспечивающих его работу, а также целого ряда работ по обслуживанию станка и подготовки его к работе. В общем случае среди требований к высокоскоростному оборудованию можно отметить следующее:

- 1) Конструкция станка в целом должна иметь высокую жесткость и хорошие виброгасящие и демпфирующие характеристики, что обычно обеспечивается большой массой базовых частей. Особые требования у высокоскоростного оборудования предъявляются к конструкции направляющих, которые должны обеспечить плавное безлюфтовое движение перемещающихся частей станка.
- 2) Конструкция станка в процессе работы должна обеспечить всем его элементам термическую стабильность при минимальных температурных деформациях, поскольку тепловое расширение частей и элементов станка напрямую влияет на качество обработки. В современных высокоскоростных станках применяется специальная система охлаждения его основных элементов, в которой охлаждающая жидкость от специальной холодильной установки циркулирует по специальным отверстиям в шпинделе, ходовых винтах, в элементах корпуса и т.п.

Также для уменьшения тепловых деформаций у станков для изготовления отдельных деталей можно использовать натуральный гранит и специальную минеральную керамику. От материала базовых элементов, особенно станин, стоек, столов, зависит не только склонность к температурным деформациям,

но и целый ряд других характеристик станков – вибростойкость, прочность, электропроводность и др., многие из которых и определяют главную характеристику – точность оборудования.

Высокоскоростной шпиндель - наиболее важный компонент станка для ВСО. Система ЧПУ, инструмент и все другие составляющие процесса служат единой задаче - использовать высокую частоту вращения шпинделя наиболее эффективно.

Высокоскоростной шпиндель — это компромисс между силами и скоростью резания. Но наиболее критичный фактор ограничения – подшипники, долговечность которых особенно важна. В любом высокоскоростном шпинделе подшипник - первый компонент, который выходит из строя. Для высокоскоростных шпинделей используют подшипники разных типов – шариковые, гидростатические, аэростатические, электростатические и др. выбор типа подшипника зависит, естественно, от принятой для станка максимальной частоты вращения шпинделя.

1.4. Современные системы охлаждения мотор-шпинделей, их достоинства и недостатки

1.4.1. Система Панова и аналогичные

Система автоматической стабилизации температуры станка была разработана за счет отвода тепла из зоны его выделения [6].

Экспериментальные исследования проводились в термостатированной лаборатории на станке мод. 16Б16П. В связи с тем, что температурные деформации влияют на точность обработки, главным образом на финишных операциях (когда силы резания малы), станок исследовался на холостом ходу. Превышение температуры в различных точках станка над температурой окружающей среды при скорости шпинделя $n = 890$ об/мин без системы термостабилизации представлено на рис. 3.

Температурные деформации δ шпинделя без системы стабилизации температуры, измеренные по схеме рис. 3,

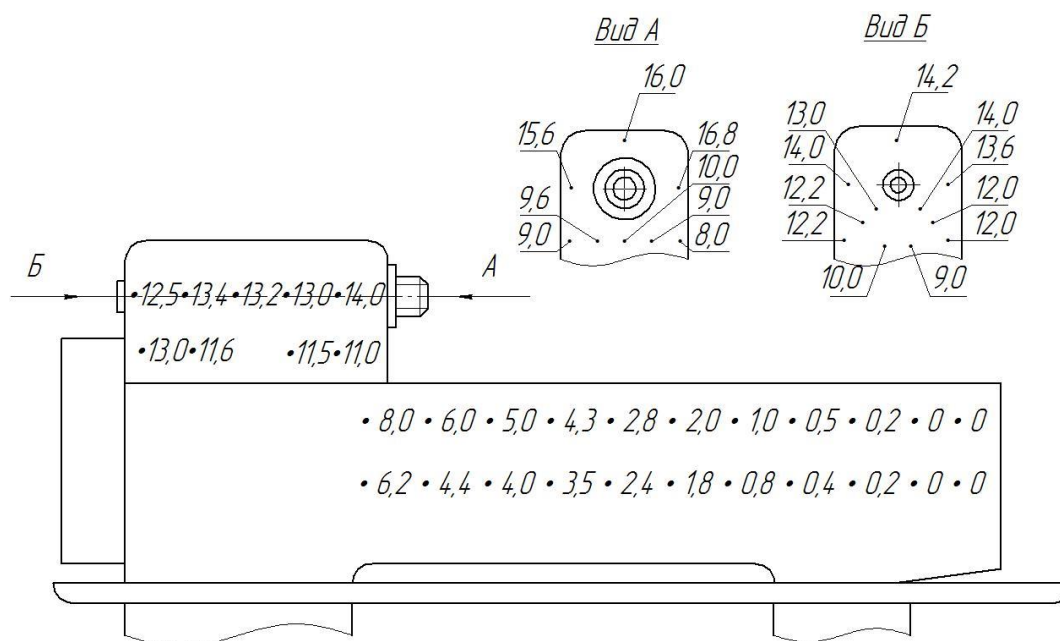


Рис. 3. Избыточные температуры при финишной обработке на станке модели 16Б16П при $n = 890$ об/мин

а показаны: на рис. 4,б при $n = 2000$ об/мин; на рис. 4,в при $n = 1600$ об/мин; на рис. 4,г при $n = 890$ об/мин.

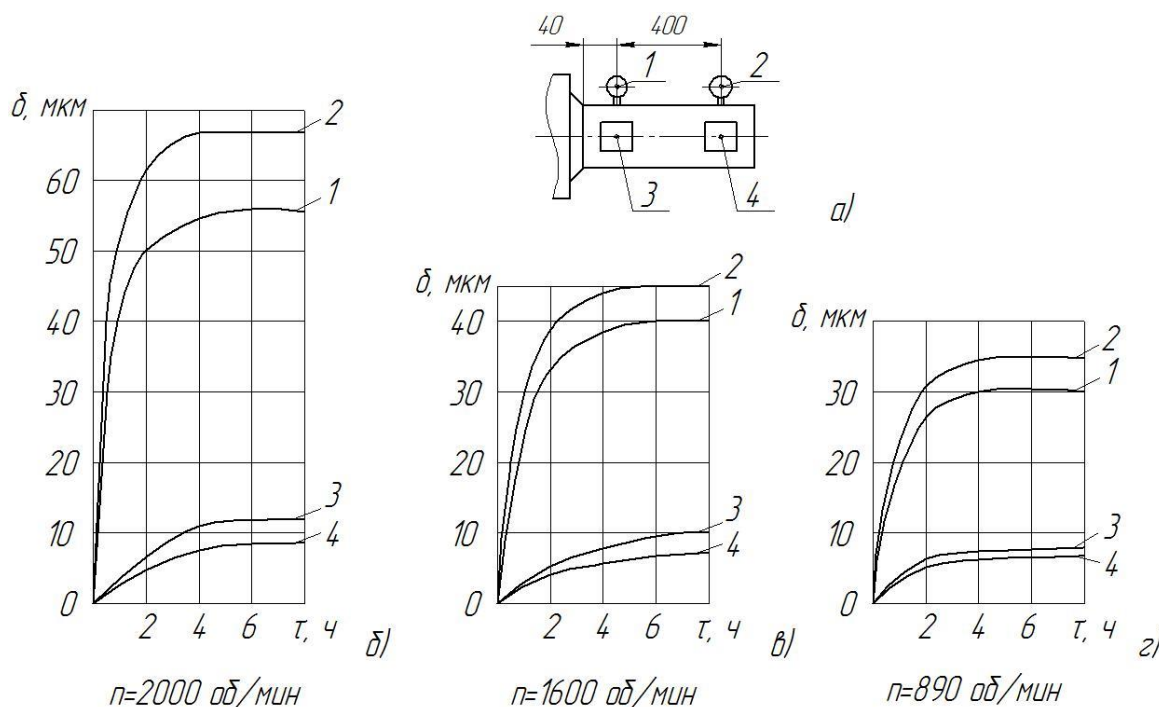


Рис. 4. Температурные деформации шпинделя

Экспериментальные исследования показали, что полное исключение температурных деформаций при использовании масла в качестве теплоотводящей среды невозможно из-за резкого возрастания вязкости масла при снижении его температуры. Это приводит к повышенному выделению тепла в результате внутреннего трения между слоями масла при перемешивании. Наиболее эффективным для термостабилизации являются полупроводниковые охлаждающие батареи, устанавливаемые непосредственно на корпусные детали станка.

Функциональная схема системы автоматической стабилизации температуры представлена на рис. 5. При повышении температуры шпиндельной бабки станка изменяется сопротивление термистора 3, установленного вблизи переднего подшипника шпинделя и являющегося одним из плеч измерительного моста 5, питающегося от источника 6. Возникающий при этом сигнал разбаланса моста после преобразования в

усилителе 7 включает с помощью реле и контактора 8 блок БП питания двух полупроводниковых охлаждающих ребристых батарей 1, встроенных в бак 2 смазки шпиндельной бабки.

Одновременно включается вентиль 4, пропускающий воду через горячие спаи батарей. Масло в баке охлаждается и поступает на шпиндельную бабку, а тепло от спаев батарей, большая площадь которых обеспечивает интенсивный теплообмен, отводится проточной водой. При достижении заданной температуры сигнал разбаланса моста исчезнет, реле отключает питание батарей, а вентиль 4 перекрывается.

Температурные деформации δ шпинделя при включенной системе стабилизации температуры, измеренные по схеме рис. 6, а показаны: на рис. 6, б при $n = 2000$ об/мин; на рис. 6, в при $n = 1600$ об/мин; на рис. 6, г при $n = 890$ об/мин.

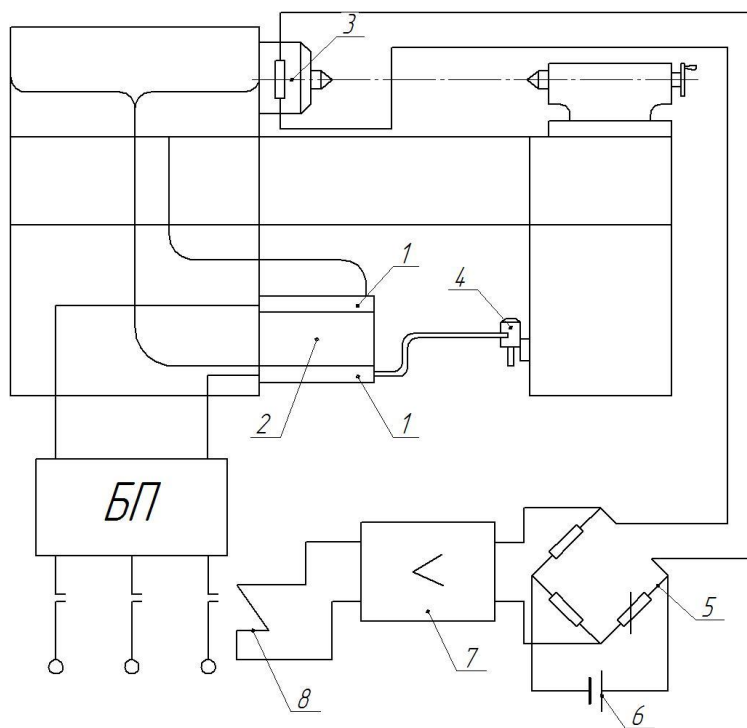


Рис. 5. Система термостабилизации шпиндельного узла по авторскому свидетельству

Н.Н.Панова и др. №248435

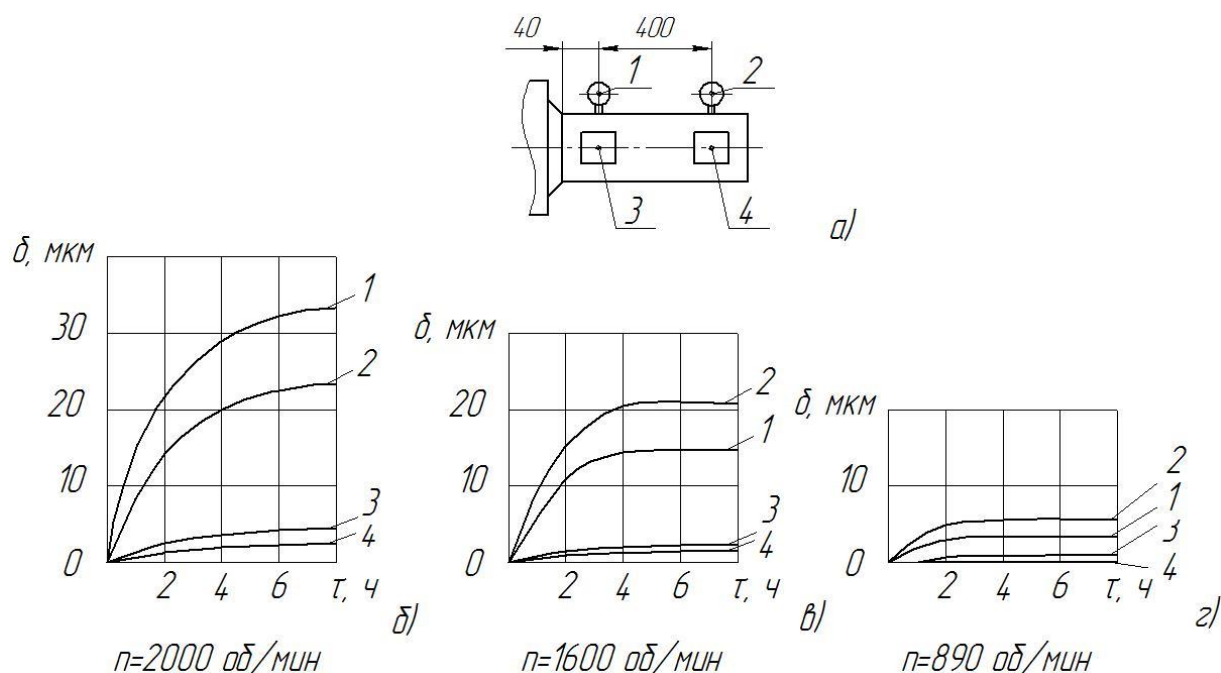


Рис. 6. Температурные деформации шпинделя

Приведенные результаты показывают, что с помощью батарей, установленных непосредственно на шпиндельной бабке станка, удастся поддерживать его температуру и снизить температурные деформации до 1 мкм в горизонтальной плоскости и до 4 мкм в вертикальной.

У данной системы есть несколько недостатков. Первым недостатком является усложнение конструкции, удорожание за счет установки полупроводниковых охлаждающих устройств. Второй недостаток – система стабилизации температуры срабатывает, когда температура шпиндельной бабки достигает установленного порогового значения; т.е. температура не остается всегда постоянной, а наблюдаются скачки температуры, которые могут привести к тепловым деформациям.

1.4.2. Система термостабилизации шпиндельного узла по патенту

Я.Л.Либермана №102553

Задачей разработки устройства было повышение точности поддержания температуры подшипников на заданном уровне при высокой экономичности масляного туманообразования [8].

Достигается решение поставленной задачи за счет того, что высокоскоростной шпиндельный узел металлорежущего станка, содержащий: шпиндель, установленный в корпусе на подшипниках качения; многоходовой блок управления, первый вход которого соединен с датчиком напряжения; электроуправляемый маслораспылитель, выходное сопло которого размещено в корпусе, а управляющий вход связан с выходом блока управления; термодатчик, соприкасающийся с наружным кольцом переднего подшипника шпинделя и соединенный со вторым входом блока управления; тензодатчик, встроенный в наружное кольцо переднего подшипника шпинделя, дополнительно снабжен формирователем импульсов и сглаживающим фильтром, входы которых соединены с тензодатчиком, частотомером, вход которого подключен к выходу формирователя импульсов, а выход – к третьему входу блока управления, причем выход фильтра соединен с четвертым входом блока управления, а блок управления выполнен в виде сумматора напряжений.

На рис. 7 приведена схема прилагаемого шпиндельного узла, на рис. 8 – схема расположения термодатчика и тензодатчика относительно переднего подшипника шпинделя, на рис. 9 – временная диаграмма сигналов напряжения при вращении шпинделя на выходах тензодатчика, сглаживающего фильтра и формирователя импульсов.

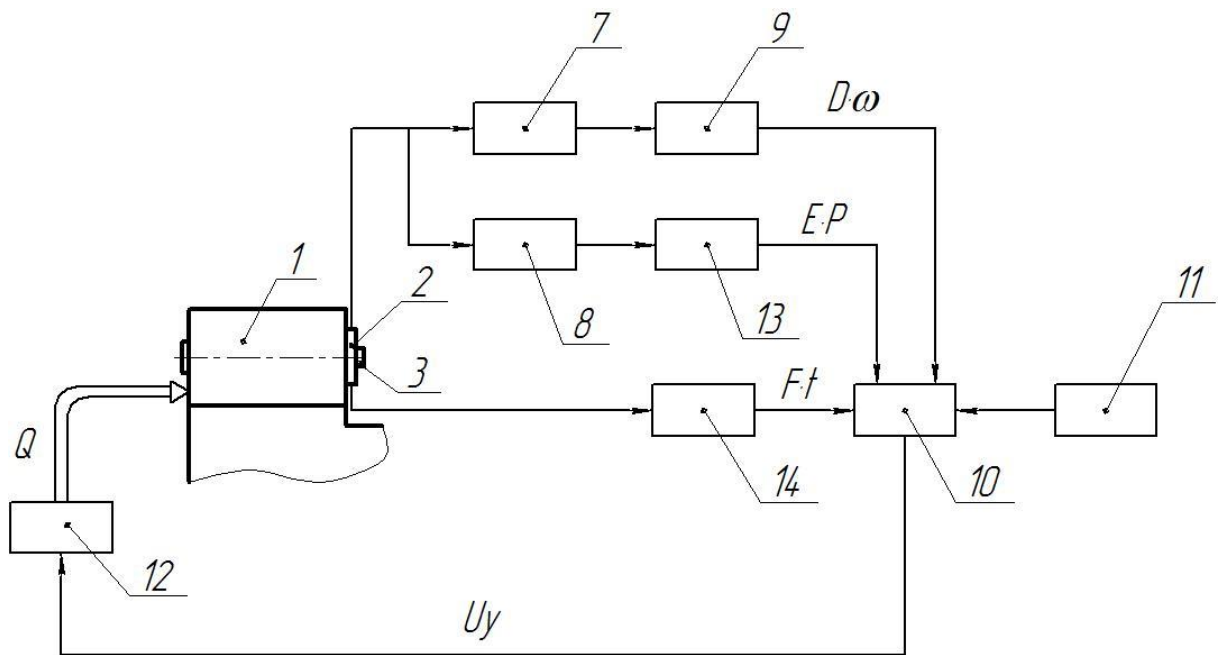


Рис. 7. Система термостабилизации шпиндельного узла

Как видно из рисунков, шпиндельный узел состоит из корпуса 1, в котором на подшипниках качения (на рисунке показан только передний

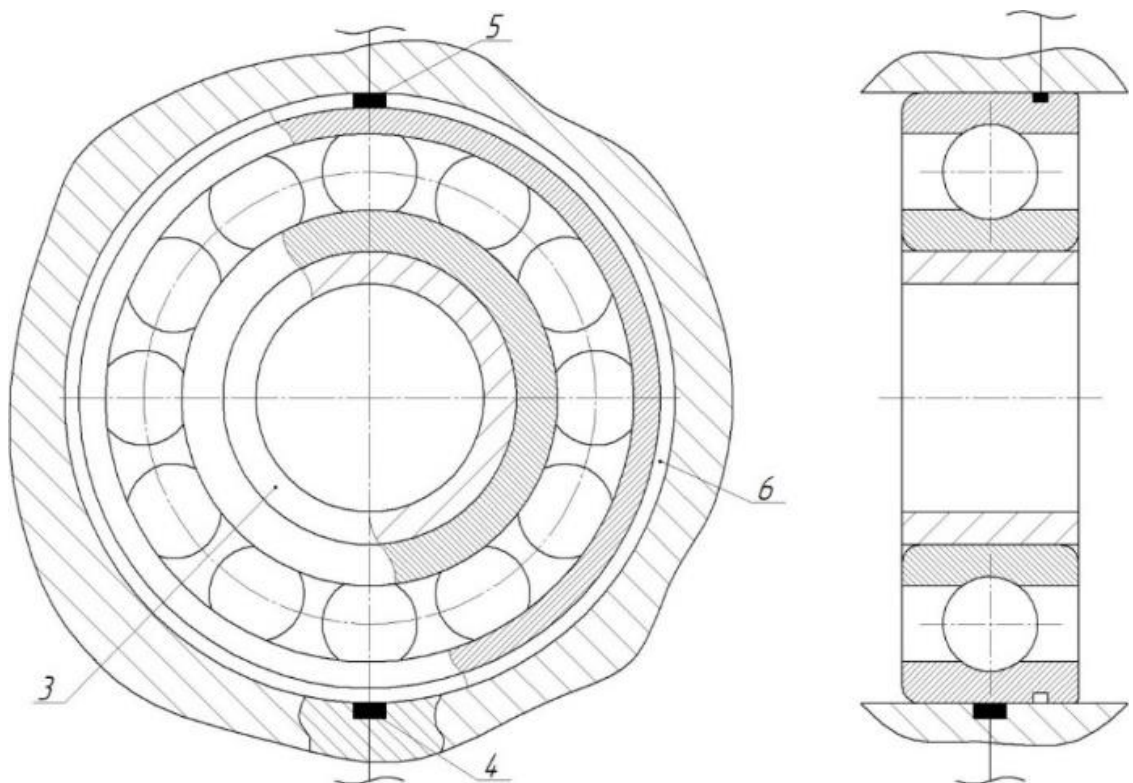


Рис. 8. Схема расположения термодатчика и тензодатчика относительно переднего подшипника шпинделя

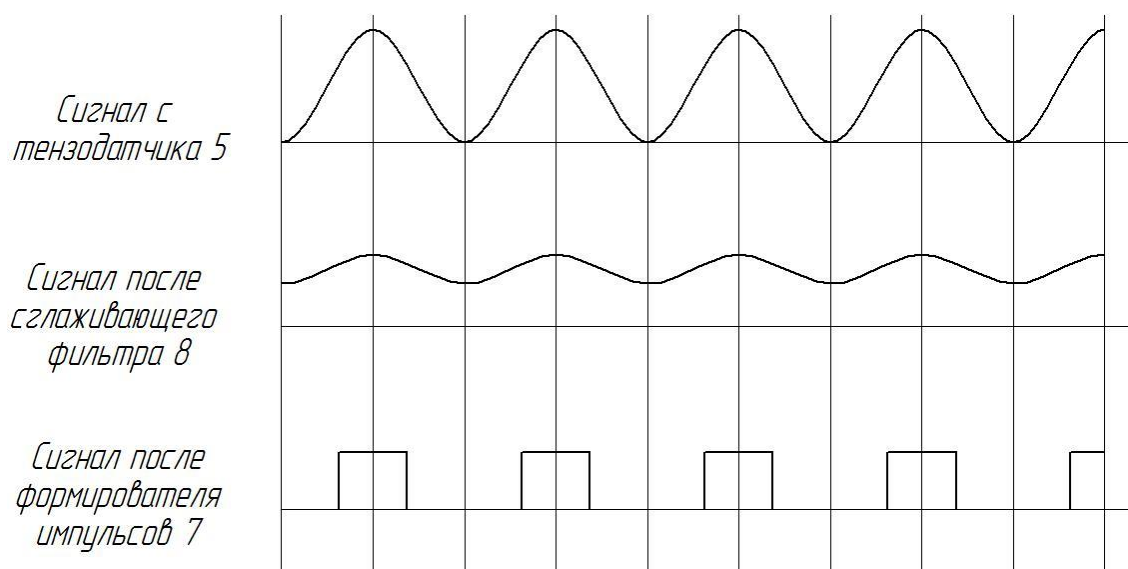


Рис. 9. Временная диаграмма сигналов напряжения при вращении шпинделя на выходах тензодатчика сглаживающего фильтра и формирователя импульсов

подшипник 2) установлен шпиндель 3. В корпусе 1 в соприкосновении с подшипником 2 размещен термодатчик 4, а в наружное кольцо подшипника 2 встроены тензодатчик 5. Последний установлен в кольцевой проточке 6, выполненной в наружном кольце так, как это показано на рис.15, что является типовым способом установки тензодатчиков в подобных случаях. Выход тензодатчика 5 соединен со входами формирователя импульсов 7 и сглаживающего фильтра 8. При этом выход формирователя связан со входами частотомера 9, а выход частотомера, выход фильтра 8 и термодатчика 4 соединены со входами блока управления 10, выполненного в виде четырехвходового сумматора (термодатчик соединен со вторым входом блока 10, частотомер – с третьим входом блока 10, а фильтр – с четвертым входом блока 10). К первому же входу блока 10 подключен датчик напряжения 11, к выходу блока 10 подключен управляющий вход электроуправляемого маслораспылителя 12, а выходное сопло маслораспылителя подключено к корпусу 1 шпиндельного узла, а именно, размещен в нем. Для настройки устройства (согласования сигналов от частотомера 9, фильтра 8 и термодатчика 4) фильтр и термодатчик могут быть соединены с блоком 10 (сумматором), соответственно, через усилители 13 и 14 с регулируемыми

коэффициентами усиления. Однако применение этих усилителей не обязательно – параметры выходных сигналов частотомера, фильтра и термодатчика могут быть согласованы и при изготовлении всего шпиндельного узла.

То есть, если при работе шпиндельного узла скорость вращения шпинделя или/и нагрузка увеличатся, то температура подшипника возрастет на Δt , а если они уменьшатся, то уменьшится на Δt и температура.

Величина Δt – есть погрешность стабилизации температуры шпиндельного узла, обеспечиваемая системой.

Достоинством является повышение точности поддержания температуры подшипников на заданном уровне.

Работа системы основана на сравнении температуры – это является существенным недостатком, т.к. тепловые процессы нелинейные, нельзя просто вычитать сигналы. Для более производительной работы надо ставить регулятор. Вместе с тем, еще один недостаток системы – она обладает низким быстродействием.

1.4.4. Система термостабилизации шпиндельного узла по патенту

Я.Л.Либермана №116387

Задачей разработки системы явилось повышение быстродействия системы термостабилизации шпиндельного узла металлорежущего станка при точности стабилизации такой же, как и в предыдущей системе [9].

Достигается решение поставленной задачи за счет того, что система термостабилизации шпиндельного узла металлорежущего станка, содержащая шпиндель, установленный в корпусе на подшипниках качения, сумматор напряжений, первый вход которого соединен с датчиком напряжения, электроуправляемый маслораспылитель, выходное сопло которого размещено в корпусе, а управляющий вход связан с выходом сумматора, термодатчик, соприкасающийся с наружным кольцом переднего подшипника шпинделя и соединенный со вторым входом сумматора, тензодатчик, встроенный в наружное кольцо переднего подшипника шпинделя, формирователь импульсов и сглаживающий фильтр, входы которых соединены с тензодатчиком, частотомер, вход которого подключен к выходу формирователя импульсов, снабжена первым и вторым блоками умножения на два, первой и второй линиями задержки и первым и вторым компараторами, причем выход частотомера соединен со входами первого блока умножения и первой линии задержки, выходы которых соединены со входами первого компаратора, выход сглаживающего фильтра соединен со входами второго блока умножения и второй линии задержки, выходы которых соединены со входами второго компаратора, а выходы компараторов соединены с третьим и четвертым входами сумматора.

На рис. 10 приведена схема предлагаемой системы, на рис. 8 – схема расположения термодатчика и тензодатчика относительно переднего подшипника шпинделя, на рис.9 – временная диаграмма сигналов напряжения

при вращении шпинделя на выходах тензодатчика, сглаживающего фильтра и формирователя импульсов.

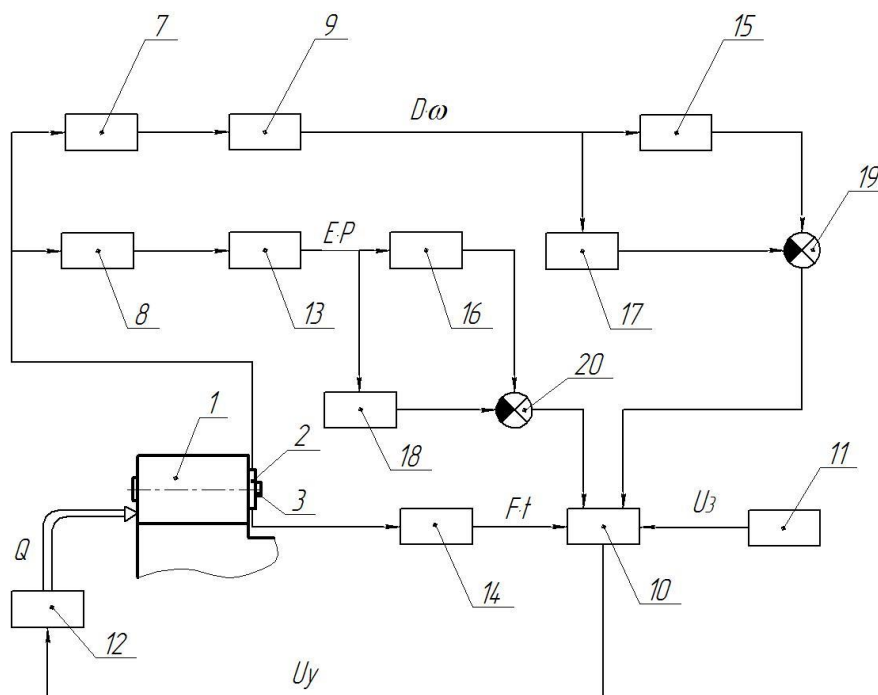


Рис. 10. Система термостабилизации шпиндельного узла

Как видно из рисунков, система термостабилизации состоит из корпуса 1, в котором на подшипниках качения (на рисунке показан только передний подшипник 2) установлен шпиндель 3. В корпусе 1 в соприкосновении с подшипником 2 размещен термодатчик 4, а в наружное кольцо подшипника 2 встроен тензодатчик 5. Последний установлен в кольцевой проточке 6, выполненной в наружном кольце так, как это показано на рисунке 2, что является типовым способом установки тензодатчиков в подобных случаях. Выход тензодатчика 5 соединен со входами формирователя импульсов 7 и сглаживающего фильтра 8. При этом выход формирователя связан со входом частотомера 9, выход термодатчика 4 соединен со вторым входом сумматора 10. К первому же входу блока 10 подключен датчик напряжения 11, к выходу блока 10 подключен управляющий вход электроуправляемого маслораспылителя 12, а выходное сопло маслораспылителя подключено к корпусу 1 шпиндельного узла, а именно, размещено в нем. Для настройки

устройства (согласования сигналов от частотомера 9, фильтра 8 и термодатчика 4) фильтр и термодатчик могут быть соединены с блоком 10 (сумматором) соответственно через усилители 13 и 14 с регулируемыми коэффициентами усиления. Однако применение этих усилителей не обязательно – параметры выходных сигналов частотомера, фильтра и термодатчика могут быть согласованы и при изготовлении всей системы термостабилизации.

Помимо описанного, система содержит первый 15 и второй 16 блоки умножения на два, первую 17 и вторую 18 линии задержки, первый 19 и второй 20 компараторы. Выход частотомера 9 соединен со входами блока умножения 15 и линии задержки 17, выходы которых соединены со входами компаратора 19 (выход блока 15 – с суммирующим входом, а выход линии задержки 17 – с вычитающим), выход сглаживающего фильтра 8 соединен со входами блока 16 и линии задержки 18, выходы которых соединены со входами компаратора 20 (выход блока 16 – с суммирующим входом, выход линии задержки 18 – с вычитающим), выход компаратора 19 соединен с третьим входом сумматора 10, а выход компаратора 20 – с его четвертым входом.

Быстродействие предлагаемой системы оказывается действительно выше, чем у предыдущей. В случае увеличения скорости изменения скорости вращения подшипника и нагрузки скорость увеличения температуры уменьшается. То есть, предлагаемая система быстрее решает задачу стабилизации температуры, в чем как раз и состоит технический результат разработки. Остальные недостатки у данной системы остались такими же, как и у предыдущей.

1.5. Прогрессивные конструкции токарных резцов с малой термической деформируемостью, принципы и особенности их конструирования

Металлорежущий инструмент является орудием производства, без которого не представляется возможным полностью реализовать заложенные в оборудовании технологические возможности (точность и качество обработки), обеспечить все требования, представленные в чертеже детали и достичь необходимых технико-экономических показателей обработки.

Уменьшение износа, повышение стойкости металлорежущего инструмента при обработке материалов являются наиболее актуальными задачами технологии машиностроения и, прежде всего, в автоматизированном производстве и на станках с программным управлением.

Главное требование к металлорежущему инструменту – высокая производительность при заданных параметрах шероховатости и точности обработки – обеспечивается выполнением условий в отношении допусков на изготовление, отклонений геометрических параметров, твердости режущей части, внешнего вида. При создании новых конструкций металлорежущего инструмента стремятся усовершенствовать их геометрические параметры и конструктивные элементы, а также использовать материалы с повышенными режущими свойствами и новые материалы. Решение этих проблем позволит повысить стойкость металлорежущего инструмента, улучшить дробление стружки, особенно для станков с программным управлением [17].

Применение сборного инструмента со сменными многогранными пластинами (СМП) позволяет повысить эксплуатационные качества инструмента, обеспечивает значительную экономию дефицитных режущих материалов. Вместе с тем создаются благоприятные условия для широкого применения более износостойких и теплостойких режущих материалов.

Сборный инструмент с СМП нашел широкое применение, выпуск его постоянно увеличивается, как по объему, так и по номенклатуре. Удельный вес такого инструмента сегодня составляет 35 %–40 % общего объема выпуска режущего инструмента.

Существует множество конструкций резцов, различающихся по способу крепления СМП, часть которых с целью удобства крепления изготавливают с отверстиями. Анализ многочисленных конструктивных решений крепления пластин позволил свести их к следующим схемам крепления (Рис. 1):

- прихватом сверху;
- рычагом через отверстие с прижатием к боковым стенкам гнезда;
- винтом с конической головкой;
- штифтом через отверстие и прихватом сверху.

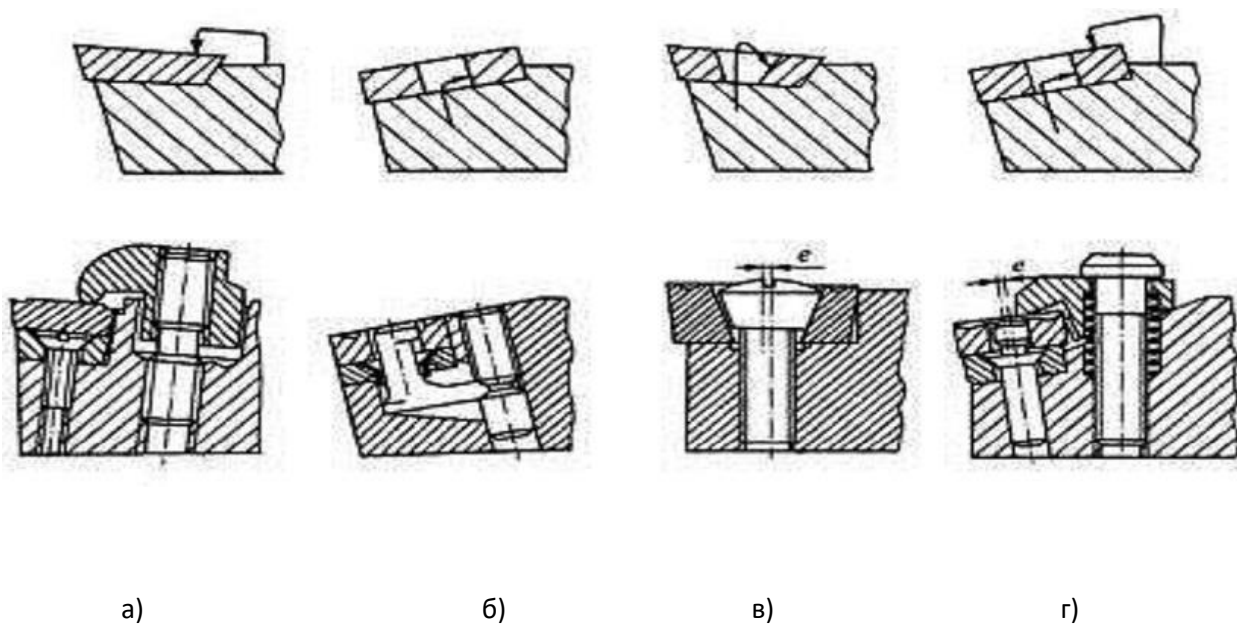


Рис. 11. Схемы механического крепления твердосплавных СМП: а – прихватом сверху; б – рычагом через отверстие; в – винтом с конической головкой; г – штифтом через отверстие и прихватом сверху

1.6. Выводы

В данной главе были представлены уже известные методы понижения температурных деформация при высокоскоростном резании — это системы термостабилизации шпиндельного узла и некоторые конструктивные особенности токарных резцов. Достоинством систем термостабилизации шпиндельного узла является повышение точности поддержания температуры подшипников на заданном уровне.

ГЛАВА 2. РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ СРЕДСТВ ОХЛАЖДЕНИЯ ЭЛЕМЕНТОВ МОТОР-ШПИНДЕЛЯ ТОКАРНОГО СТАНКА

2.1. Построение быстродействующей системы охлаждения подшипников мотор-шпинделя станка

Достигается решение поставленной задачи за счет того, что система термостабилизации шпиндельного узла металлорежущего станка, содержащая шпиндель, установленный в корпусе на подшипниках качения, сумматор напряжений, первый вход которого соединен с датчиком напряжения, электроуправляемый маслораспылитель, выходное сопло которого размещено в корпусе, а управляющий вход связан с выходом сумматора, термодатчик, соприкасающийся с наружным кольцом переднего подшипника шпинделя и соединенный со вторым входом сумматора, тензодатчик, встроенный в наружное кольцо переднего подшипника шпинделя, формирователь импульсов и сглаживающий фильтр, входы которых соединены с тензодатчиком, частотомер, вход которого подключен к выходу формирователя импульсов, снабжена первым и вторым блоками умножения на два, первой и второй линиями задержки и первым и вторым компараторами, причем выход частотомера соединен со входами первого блока умножения и первой линии задержки, выходы которых соединены со входами первого компаратора, выход сглаживающего фильтра соединен со входами второго блока умножения и второй линии задержки, выходы которых соединены со входами второго компаратора, а выходы компараторов соединены в блоке умножения и потом с третьим входом сумматора, четвертый вход сумматора соединен с цепью дифференциала.

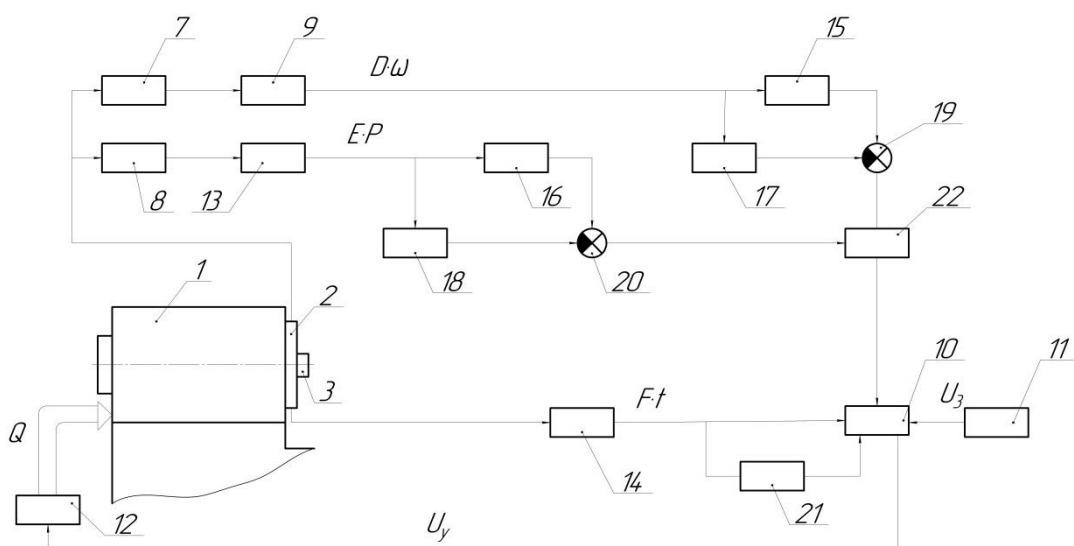


Рис. 12. Модернизация системы термостабилизации шпиндельного узла

На рис. 12 приведена схема предлагаемой системы, на рис. 8 – схема расположения термодатчика и тензодатчика относительно переднего подшипника шпинделя, на рис.9 – временная диаграмма сигналов напряжения при вращении шпинделя на выходах тензодатчика, сглаживающего фильтра и формирователя импульсов.

Как видно из рисунков, система термостабилизации состоит из корпуса 1, в котором на подшипниках качения (на рисунке показан только передний подшипник 2) установлен шпиндель 3. В корпусе 1 в соприкосновении с подшипником 2 размещен термодатчик 4, а в наружное кольцо подшипника 2 встроен тензодатчик 5. Последний установлен в кольцевой проточке 6, выполненной в наружном кольце так, как это показано на рисунке 2, что является типовым способом установки тензодатчиков в подобных случаях. Выход тензодатчика 5 соединен со входами формирователя импульсов 7 и сглаживающего фильтра 8. При этом выход формирователя связан со входом частотомера 9, выход термодатчика 4 соединен со вторым входом сумматора 10. К первому же входу блока 10 подключен датчик напряжения 11, к выходу блока 10 подключен управляющий вход электроуправляемого маслораспылителя 12, а выходное сопло маслораспылителя подключено к

корпусу 1 шпиндельного узла, а именно, размещено в нем. Для настройки устройства (согласования сигналов от частотомера 9, фильтра 8 и термодатчика 4) фильтр и термодатчик могут быть соединены с блоком 10 (сумматором) соответственно через усилители 13 и 14 с регулируемыми коэффициентами усиления. Однако применение этих усилителей не обязательно – параметры выходных сигналов частотомера, фильтра и термодатчика могут быть согласованы и при изготовлении всей системы термостабилизации.

Помимо описанного, система содержит первый 15 и второй 16 блоки умножения на два, первую 17 и вторую 18 линии задержки, первый 19 и второй 20 компараторы. Выход частотомера 9 соединен со входами блока умножения 15 и линии задержки 17, выходы которых соединены со входами компаратора 19 (выход блока 15 – с суммирующим входом, а выход линии задержки 17 – с вычитающим), выход сглаживающего фильтра 8 соединен со входами блока 16 и линии задержки 18, выходы которых соединены со входами компаратора 20 (выход блока 16 – с суммирующим входом, выход линии задержки 18 – с вычитающим), выход компаратора 19 и 20 соединены блоком умножения 22, который в свою очередь соединен с третьим входом сумматора 10, а выход цепи дифференциала 21 – с его четвертым входом.

Быстродействие предлагаемой системы оказывается действительно выше, чем у предыдущей. В случае увеличения скорости изменения скорости вращения подшипника и нагрузки скорость увеличения температуры уменьшается. То есть, предлагаемая система быстрее решает задачу стабилизации температуры, в чем как раз и состоит технический результат разработки.

2.2. Сравнительный анализ новой системы охлаждения подшипников и наиболее прогрессивной из существующих

Работы предлагаемых систем №116387 и модернизированной №116387 происходит следующим образом. При вращении шпинделя 3 тела вращения (шарики) подшипника 4 создают пульсирующую нагрузку на тензодатчик 5. Тензодатчик выдает также пульсирующий сигнал напряжения, амплитуда которого пропорциональна нагрузке на подшипник, а частота – скорости его вращения. Проходя через сглаживающий фильтр 8, этот сигнал усредняется, в результате чего нагрузка P теперь отображается уровнем сигнала $E \cdot P$ на выходе фильтра. Этот сигнал поступает на блок 16 умножения на два, что дает на его выходе сигнал $2 \cdot E \cdot P$ или, что то же самое, $E \cdot P + E \cdot P$. Кроме того, сигнал $E \cdot P$ поступает на линию задержки 18, где задерживается на время dt . Далее, с выхода линии задержки 18 он поступает на вычитающий вход компаратора 20. На суммирующий вход компаратора 20 поступает же сигнал $E \cdot P + E \cdot P$. Это создает на выходе компаратора 20 сигнал, имеющий смысл $E \cdot P + E \cdot \frac{dP}{d\tau}$, где $\frac{dP}{d\tau}$ - приращение сигнала P за время dt . Это приращение, по сути, есть первая производная P , то есть скорость его изменения. От компаратора 20 сигнал поступает на четвертый вход сумматора 10. Одновременно с этим, сигнал тензодатчика 5 проходит через формирователь импульсов 7 и дальше на частотомер 9. На выходе частотомера возникает сигнал $D \cdot \omega$, уровень которого отображает скорость ω вращения подшипника 2. Сигнал $D \cdot \omega$ поступает на блок 15 умножения на два и на его выходе появляется сигнал $2 \cdot D \cdot \omega = D \cdot \omega + D \cdot \omega$, который подается на суммирующий вход компаратора 19. Поскольку сигнал $D \cdot \omega$ поступает также на линию задержки 17, и подается на вычитающий вход компаратора 19 с задержкой на время dt , на выходе компаратора 19 будет сигнал, имеющий смысл $D \cdot \omega + D \cdot \frac{d\omega}{d\tau}$, где $\frac{d\omega}{d\tau}$, по существу, есть скорость изменения ω . Этот сигнал поступает на третий вход сумматора 10. Наряду с описанным, на выходе термодатчика 4 при работе

системы имеется сигнал $F \cdot t$, уровень которого отображает температуру t подшипника 2 (D, E, F - коэффициенты пропорциональности). Этот сигнал поступает на второй вход сумматора 10. На этот же сумматор (на его первый вход) подается сигнал U_3 от датчика напряжения 11, которым задается минимально допустимая производительность маслораспылителя 12. В результате на выходе сумматора 10 получается сигнал

$$U_y = D \cdot w + D \frac{dw}{d\tau} + E \cdot P + E \cdot \frac{dP}{d\tau} + F \cdot t + U_3.$$

$$U_y = D \cdot w + D \frac{dw}{d\tau} + E \cdot P + E \frac{dP}{d\tau} + \Delta t_1 + \frac{d\Delta t_1}{d\tau} + U_3.$$

Сигнал U_y поступает на маслораспылитель 12 и обеспечивает его производительность Q . Чем больше U_y , тем больше Q . А чем больше Q , тем лучше охлаждаются подшипники шпиндельного узла и тем меньше температура t . Иначе говоря, чем больше некоторая величина $C \cdot U_y$, тем меньше t (здесь C – коэффициент пропорциональности, подобный D, E, F). Если учесть, что чем больше ω , тем больше t , и чем больше P , тем также больше t , то в общем виде можно записать

$$t = A \cdot \omega + B \cdot P - C \cdot U_y,$$

$$t = A \cdot \omega + B \cdot P + G \cdot \Delta t_1 - C \cdot U_y,$$

где A, B и G – коэффициенты пропорциональности, аналогичные C . Подставив в эту формулу величину U_y , получим

$$t = \frac{(A - C \cdot D) \cdot \omega + (B - C \cdot E) \cdot P - C \cdot (D \frac{d\omega}{d\tau} + E \frac{dP}{d\tau}) - C U_3}{1 + C \cdot F}.$$

$$t = \frac{(A - C \cdot D) \cdot w + (B - C \cdot E) \cdot P + (G - C \cdot \Delta t_1) - C \left(D \frac{dw}{d\tau} + E \frac{dP}{d\tau} + \frac{d\Delta t_1}{d\tau} \right) - CU_3}{1 + C \cdot F}$$

Из этой формулы следует, что при неизменных U_3 , скорости изменения ω (величины $\frac{d\omega}{d\tau}$) и скорости изменения P нагрузки на передний подшипник шпиндельного узла (величины $\frac{dP}{d\tau}$), величина t изменится на

$$\Delta t = \frac{(A - C \cdot D)\Delta\omega + (B - C \cdot E)\Delta P}{1 + C \cdot F},$$

если ω изменится на $\Delta\omega$, а P изменится на ΔP .

Это легко показать следующим образом, полагая, что быстроедействие системы есть скорость изменения t при изменении ω и P . Но скорость изменения t есть его первая производная $\gamma = \frac{dt}{d\tau}$. Поэтому, (полагая $U_3 = \text{const}$), продифференцировав t для прототипа, получим:

$$\gamma^* = \frac{dt}{d\tau} = \frac{A - C \cdot D}{1 + C \cdot F} \cdot \frac{d\omega}{d\tau} + \frac{B - C \cdot E}{1 + C \cdot F} \cdot \frac{dP}{dt}.$$

$$\gamma^* = \frac{dt}{d\tau} = \frac{A - C \cdot D}{1 + C \cdot F} \cdot \frac{dw}{d\tau} + \frac{B - C \cdot E}{1 + C \cdot F} \cdot \frac{dP}{d\tau} + \frac{G - C \cdot \Delta t_1}{1 + C \cdot F} \cdot \frac{d\Delta t_1}{d\tau}$$

Та же операция для предлагаемой системы дает:

$$\gamma^{**} = \frac{dt}{d\tau} = \frac{A - C \cdot D}{1 + C \cdot F} \cdot \frac{d\omega}{d\tau} + \frac{B - C \cdot E}{1 + C \cdot F} \cdot \frac{dP}{dt} - \frac{C \cdot \left(D \frac{d^2\omega}{d\tau^2} + E \frac{d^2P}{d\tau^2} \right)}{1 + C \cdot F}.$$

$$\gamma^{**} = \frac{dt}{d\tau} = \frac{A - C \cdot D}{1 + C \cdot F} \cdot \frac{dw}{d\tau} + \frac{B - C \cdot E}{1 + C \cdot F} \cdot \frac{dP}{d\tau} + \frac{G - C \cdot \Delta t_1}{1 + C \cdot F} \cdot \frac{d\Delta t_1}{d\tau} - \frac{C \cdot \left(D \frac{d^2w}{d\tau^2} + E \frac{d^2P}{d\tau^2} + \frac{d^2\Delta t_1}{d\tau^2} \right)}{1 + C \cdot F}.$$

Разность

$$\Delta\gamma = \gamma^{**} - \gamma^* = -\frac{C \cdot \left(D \frac{d^2\omega}{d\tau^2} + E \frac{d^2P}{d\tau^2} \right)}{1 + C \cdot F}.$$

$$\Delta\gamma = \gamma^{**} - \gamma^* = -\frac{C \cdot \left(D \frac{d^2w}{d\tau^2} + E \frac{d^2P}{d\tau^2} + \frac{d^2\Delta t_1}{d\tau^2} \right)}{1 + C \cdot F}.$$

Она показывает, что быстродействие предлагаемой системы оказывается действительно выше, чем у предыдущей. Знак «минус» перед правой частью $\Delta\gamma$ при этом говорит о том, что в случае увеличения скорости изменения ω и P скорость увеличения t уменьшается. То есть, предлагаемая система быстрее решает задачу стабилизации температуры, в чем как раз и состоит технический результат разработки.

2.3. Разработка системы охлаждения двигателя станочного мотор-шпинделя

2.3.1. Схемные решения

Предлагаемая система относится к области частотнорегулируемого асинхронного электропривода и может быть использована в высокоскоростных технологических машинах типа металлорежущих станков.

Системы, аналогичные предлагаемой, известны. К ним относится, например, система водяного охлаждения, описанная на сайте reinolds.com.ua/service/serv_nasos/ohlag-dvigatelya.php, состоящая из электродвигателя, насоса, соединенного с его валом, и охлаждающего кожуха двигателя, через который насосом прокачивается вода. Такие системы охлаждения весьма просты, но применимы чрезвычайно ограниченно, т.к. требуют размещения двигателя в водной среде. Последнее обуславливает их использование преимущественно в погружных насосах и не позволяет их устанавливать на технологических машинах, к которым относятся станки. Вместе с тем существуют системы водяного охлаждения электродвигателей, лишенные отмеченного недостатка. Эта система по технологической сущности близка к предлагаемой и принята нами за прототип. На указанном сайте она приведена на рис.6 и включает в себя циркуляционную гидросистему, выполненную в виде соединенных кольцевым трубопроводом проточной емкости, окружающей подверженные нагреву элементы электродвигателя, насоса для подачи воды в емкость и охладителя воды на выходе ее из емкости. Она содержит также датчики температуры воды и манометры, установленные на трубопроводе на входе и выходе емкости, и регулятор расхода воды, представляющий собой задвижку с электроприводом. Кроме того, в ней имеются водяные фильтры, электроуправляемый клапан и настроечные дроссели.

Система-прототип вполне применима для охлаждения электродвигателей высокоскоростных технологических машин, но обладает

низким быстродействием, поскольку регулирование ее работы по данным термометров осуществляется оператором. Но от быстродействия зависит точность поддержания температуры, допустимой при эксплуатации двигателя и, как следствие, долговечность последнего (его межремонтные сроки).

В связи с изложенным, проблемой, подлежащей решению предлагаемой системой охлаждения, явилось повышение быстродействия системы.

Технически решение данной проблемы достигается за счет того, что система водяного охлаждения электродвигателя, содержащая циркуляционную гидросистему, выполненную в виде соединенных кольцевым трубопроводом проточной емкости, окружающей подверженные нагреву элементы электродвигателя, насоса для подачи воды в емкость и охладителя воды на ее выходе из емкости, датчик температуры воды, установленный на участке трубопровода между емкостью и охладителем, и регулятор расхода воды, отличается от прототипа тем, что она снабжена датчиком фазного тока электродвигателя, выход которого через фильтр низкой частоты соединен с частотомером и параллельным последнему сглаживающим фильтром, блоком возведения сигнала в степень «одна и три десятых», вход которого соединен с выходом частотомера, а выход – со входом первого усилителя с регулируемым коэффициентом усиления, блоком возведения сигнала в «квадрат», вход которого соединен со сглаживающим фильтром, а выход – со входом второго усилителя с регулируемым коэффициентом усиления, компаратором, прямой вход которого соединен с задатчиком предельно допустимый температуры воды, инверсный – с выходом датчика температуры воды, а выход – со входом третьего усилителя с регулируемым коэффициентом усиления, первым трехходовым сумматором, первый вход которого через блок задержки и инвертор соединен с выходом третьего усилителя, второй вход соединен напрямую с выходом третьего усилителя, а третий вход – напрямую с выходом второго усилителя, вторым трехходовым сумматором, первый вход которого соединен с

выходом первого сумматора, второй вход – с выходом третьего усилителя, а третий – с выходом первого усилителя, при этом насос выполнен регулируемым по производительности, регулятор расхода воды выполнен в виде регулятора производительности насоса, а вход регулятора соединен с выходом второго сумматора.

Схема предлагаемой системы приведена на рис.12. На рис.13 показаны временные диаграммы, иллюстрирующие работу входящих в систему фильтров.

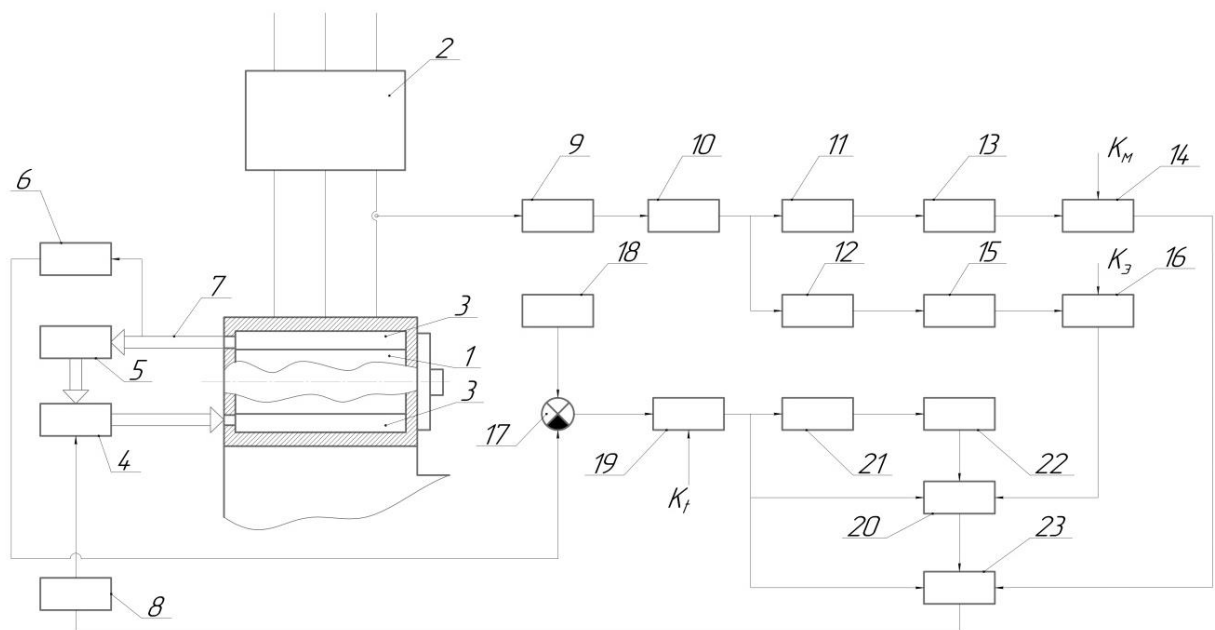
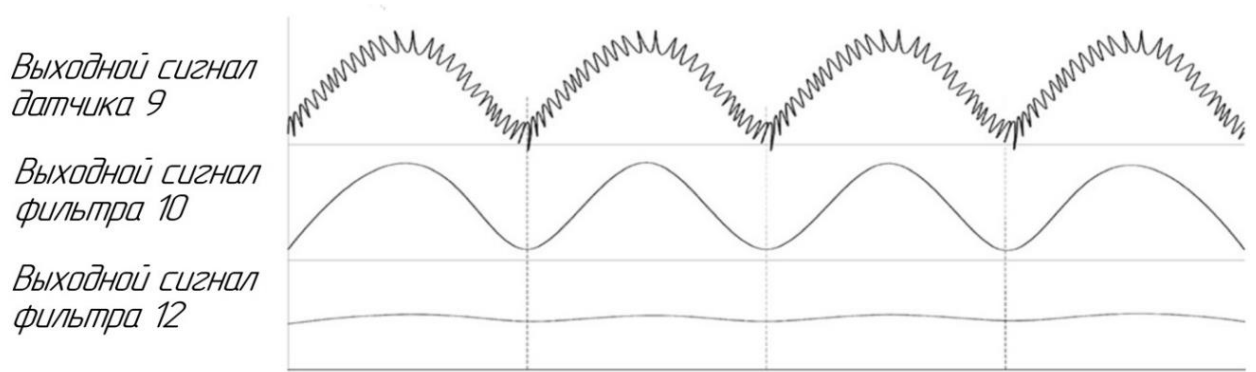


Рис. 12 Система водяного охлаждения электродвигателя

Система водяного охлаждения электродвигателя 1, питающегося от частотного преобразователя 2, содержит циркуляционную гидросистему, выполненную в виде соединенных кольцевым трубопроводом проточной емкости 3, окружающей подверженные нагреву элементы электродвигателя 1, насоса 4 для подачи воды в емкость и охладителя 5 воды на ее выходе из емкости, датчик температуры воды 6, установленный на участке 7 трубопровода между емкостью 3 и охладителем 5, и регулятор 8 расхода воды.



Дополнительно она снабжена датчиком 9 фазного тока электродвигателя 1, выход которого через фильтр низкой частоты 10 соединен с частотомером 11 и параллельным последнему сглаживающим фильтром 12, блоком 13 возведения сигнала в степень «одна и три десятых», вход которого соединен с выходом частотомера, а выход – со входом первого усилителя 14 с регулируемым коэффициентом усиления K_m , блоком 15 возведения сигнала в «квадрат», вход которого соединен со сглаживающим фильтром 12, а выход – со входом усилителя 16 с регулируемым коэффициентом усиления K_s , компаратором 17, прямой вход которого соединен с датчиком 18 предельно допустимой температуры воды, инверсный – с выходом датчика температуры 6 воды, а выход – со входом третьего усилителя 19 с регулируемым коэффициентом усиления K_t , первым трехходовым сумматором 20, первый вход которого через блок задержки 21 и инвертор 22 соединены с выходом третьего усилителя 19, второй вход соединен напрямую с выходом третьего усилителя 19, а третий вход – напрямую с выходом второго усилителя 16, вторым трехходовым сумматором 23, первый вход которого соединен с выходом первого сумматора 20, второй вход – с выходом третьего усилителя 19, а третий – с выходом первого усилителя 14, при этом насос 4 выполнен регулируемым по производительности, регулятор 8 расхода воды выполнен в виде регулятора производительности насоса, а вход регулятора соединен с выходом второго сумматора 23.

Рис. 13. Временные диаграммы, иллюстрирующие работу входящих в систему фильтров

2.5. Исследование характеристик разработанной системы охлаждения двигателя

Работа системы основана на использовании известных соотношений, описывающих потери асинхронного частотнорегулируемого двигателя:

$$P_3 = 3 \cdot I^2 \cdot r_a,$$

где P_3 – электрические потери в обмотках двигателя; I – фазный ток обмотки; r_a – активное сопротивление обмотки.

$$P_M = k \cdot \left(\frac{P}{M}\right)_{\frac{10}{50}} \cdot B^2 \left(\frac{f}{50}\right)^{1,3} \cdot M,$$

где P_M – магнитные потери в двигателе; k – поправочный коэффициент; $\left(\frac{P}{M}\right)_{\frac{10}{50}}$ – удельные потери в стали на единицу массы при индуктивности 1 Тл и частоте 50 Гц; B – среднее значение индукции; f – частота напряжения питания двигателя; M – масса сердечника.

С достаточной для практики точностью правомерно считать, что для конкретного двигателя:

$$P_3 \approx K_3 \cdot I^2,$$

$$P_M \approx K_M \cdot f^{1,3},$$

где K_3 и K_M – некоторые постоянные коэффициенты. Поскольку P_3 и P_M вызывают нагрев двигателя при его работе, но он происходит с некоторым запаздыванием по отношению к ним, то целесообразно определенное «упреждение», увеличивающее производительность насоса, входящего в систему, сразу же после увеличения P_3 и P_M , не дожидаясь, когда температура двигателя недопустимо возрастает. Когда температура начинает возрастать, то, очевидно, производительность насоса тоже следует увеличивать. Причем выполнять это имеет смысл тем быстрее, чем быстрее температура двигателя растет. Если все это учесть, то система охлаждения будет обладать весьма высоким быстродействием.

Перед эксплуатацией двигателя, оснащенного предложенной системой водяного охлаждения, ее необходимо настроить. Для этого усилители 14 и 16 регулируют, делая их коэффициенты усиления, соответственно равными K_M и K_3 , рассчитанными заранее в зависимости от параметров двигателя 1. Коэффициент усиления K_t регулируют на основе предварительных пробных запусков двигателя. После этого задатчиком 18 вводят в систему сигнал, эквивалентный допустимому значению температуры нагрева двигателя t_3 , и включают двигатель. На выходе датчика 9 появляется сигнал, имеющий вид, показанный на первой временной диаграмме на фиг.2. Проходя через фильтр 10, он превращается в сигнал, показанный на второй временной диаграмме, а проходя через фильтр 12 – в сигнал, показанный на третьей временной диаграмме. Частотомер 11 выдает сигнал, соответствующий частоте питающего двигатель напряжения f , на выходе блока 13 появляется сигнал $f^{1,3}$, а на выходе усилителя 14 – сигнал $K_M \cdot f^{1,3}$. На выходе фильтра 12 возникает сигнал, в среднем равный I , на выходе блока 15 – сигнал I^2 , а на выходе усилителя 16 – сигнал $K_3 \cdot I^2$. При возрастании температуры t_ϕ – фактической температуры, отображаемой сигналом датчика 6, на выходе компаратора 17 имеет место возрастающий сигнал $(t_3 - t_\phi) = \Delta t$, а на выходе усилителя 19 – сигнал $K_t \cdot \Delta t$. Он поступает на сумматор 20 непосредственно, а на инвертор 22 – с задержкой на время τ , обусловленной применением блока 21.

Сигналы на выходе инвертора 22 и усилителя 19 отличаются на величину $\Delta(K_t \cdot \Delta t)$, характеризующую скорость изменения сигнала $K_t \cdot \Delta t$. Сумматор 20 алгебраически складывает $K_3 \cdot I^2$ и $\Delta(K_t \cdot \Delta t)$, а затем сумматор 23 складывает сигнал $K_3 \cdot I^2 + \Delta(K_t \cdot \Delta t)$ с сигналами $K_t \cdot \Delta t$ и $K_M \cdot f^{1,3}$. В результате на выходе сумматора 23 окажется сигнал, отображающий электрические потери в двигателе, магнитные потери, температуру на выходе проточной емкости и скорость ее изменения. Этот сигнал, поступая на регулятор 8, заставляет соответствующим образом работать насос, обеспечивая определенную скорость циркуляции воды в гидросистеме. При увеличении частоты f

питающего двигатель напряжения, тока I , температуры t или скорости увеличения последней, скорость циркуляции воды будет возрастать. В противном случае – снижаться. Так как факторов, инициирующих указанные увеличение или снижение четыре, причем два из них действуют с «упреждением», то происходить это будет достаточно быстро.

Быстро будет осуществляться и необходимый и достаточный теплоотвод от двигателя. А это, в свою очередь, повлечет за собой повышение точности поддержания температуры, допустимой при эксплуатации двигателя, повышение экономичности системы (насосу не нужно будет всегда работать с максимальной производительностью) и повышение долговечности двигателя.

Таким образом, предлагаемая система водяного охлаждения электродвигателя обеспечивает существенный технический результат, проистекающий из увеличения ее быстродействия.

1.5. Выводы

Рассмотренные в данной главе системы охлаждения элементов мотор-шпинделя токарного станка, показывают эффективность в своем применении. Так система модернизированная по патенту №116387 учитывает погрешности изменения температурных деформаций во времени, в зависимости от этого подается определенный объем масляного тумана.

Система водяного охлаждения двигателя, также эффективна, т.к. она содержит циркуляционную гидросистему, выполненную в виде соединенных кольцевым трубопроводом проточной емкости, окружающей подверженные нагреву элементы электродвигателя. Такая система повышает точность поддержания температуры, допустимой при эксплуатации двигателя, а также повышает экономичность системы, за счет того, что насосу не нужно будет всегда работать с максимальной производительностью, и повышается долговечность двигателя.

ГЛАВА 3. РАЗРАБОТКА НОВЫХ ТОКАРНЫХ РЕЗЦОВ С МАЛОЙ ДЕФОРМИРУЕМОСТЬЮ

3.1. Новая конструкция резца со встроенным авторегулятором охлаждения

Предлагаемая полезная модель относится к области машиностроения и, в частности, к обработке резанием на токарных станках.

В настоящее время инструменты, аналогичные предлагаемому, известны. К ним относятся, например, инструменты с внутренним охлаждением, такие, как защищённые Авторскими свидетельствами СССР №1230799 и №1393533. В первом из них описывается предложенный авторами Гуном Г.С., Гункиным Ю.Г., Огарковым Н.Н. и Соколовым В.Е. инструмент, содержащий державку и режущую пластину, к которой через распределительную камеру и параллельные отверстия, открытые к пластине, извне подаётся охлаждающая жидкость. Настройка инструмента на требуемый режим охлаждения осуществляется с помощью шайбы, через которую жидкость подаётся к распределительной камере. При изменении режима эксплуатации инструмента (режима резания) шайбу приходится заменять, для чего инструмент нужно разбирать. Это приводит к снижению производительности металлообработки, а потому нерационально. Вторым аналогом, разработанным М.М. Соколовым и В.Н. Коцаренко, для перенастройки разбирать не требуется, но он тоже имеет существенные недостатки. Он содержит полую державку, частично заполненную охлаждающей жидкостью, трубку, выполненную из теплопроводного материала, и холодильник, соединённый с трубкой через низкотеплопроводящую вставку. Трубка соединена с полостью державки и при работе инструмента отводит тепло к холодильнику путем образования в полости державки пара и конденсации его при прохождении через вставку в холодильник. Пока жидкость в полости державки вся не испарится, инструмент охлаждается более или менее приемлемо, хотя и не всегда достаточно эффективно. Но когда парообразование прекращается, охлаждение инструмента происходит

практически перестает. Недостаточная эффективность охлаждения даже, когда оно еще осуществляется, вызвана тем, что процесс передачи тепла от режущей пластины (рабочего элемента инструмента) к холодильнику является управляемым чрезвычайно грубо, неточно.

Более точно регулирование теплоотвода от рабочего элемента (пластины) инструмента в процессе эксплуатации последнего происходит в инструменте, разработанном А.Н. Резниковым, Н.И. Живоглядным и В.И. Живоглядным, защищенном Авторским свидетельством СССР №1426750 и принятым нами в качестве прототипа предлагаемого инструмента.

Металлообрабатывающий инструмент с охлаждением, принятый за прототип, насколько можно судить из его описания, формулы изобретения и рисунков, содержит полую державку с трубчатым отверстием для охладителя, установленный на ней рабочий элемент и размещенный в ее полости биметаллический теплопроводник, взаимодействующий (соприкасающийся) с рабочим элементом. Теплопроводник выполнен в виде разрезного эллиптического кольца, продольная ось которого параллельна рабочему элементу, причем материал кольца с большим коэффициентом линейного расширения расположен на внутренней поверхности кольца. Трубчатое отверстие в державке частично заполнено жидкостью и выполняет функции тепловой трубы, соединенной с холодильником – радиатором. При нагревании жидкости в тепловой трубе образуется пар, который поступает в холодильник-радиатор, отдает ему тепловую энергию и выходит из державки наружу. В зависимости от режимов резания и температуры нагрева рабочего элемента инструмента биметаллическое кольцо деформируется по-разному, его теплопроводность изменяется, парообразование в тепловой трубе также меняется, и процесс охлаждения рабочего элемента регулируется. Происходит это более точно, чем при работе инструментов – аналогов. Тем не менее, «более точно», не означает «всегда достаточно точно». Устройство – прототип обладает невысокой чувствительностью к малым колебаниям температуры

рабочего элемента. Это не позволяет осуществлять «тонкую» регулировку охлаждения инструмента, например, в случае повышения температуры из-за увеличения фаски износа указанного элемента.

Проблемой, решаемой предлагаемой полезной моделью, является недостаточная точность прототипа и создание инструмента, обладающего более высокой точностью и чувствительностью к малым колебаниям температуры, чем прототип.

Технически решение проблемы достигается за счет того, что металлообрабатывающий инструмент с охлаждением, содержащий полую державку с трубчатым отверстием для охладителя, установленный на ней рабочий элемент и размещенный в ее полости биметаллический теплопроводник, взаимодействующий с рабочим элементом, отличается от прототипа тем, что он снабжен стержнем, закрепленным в полости державки на упругой подвеске, и регулируемым дросселем, отверстие для охладителя выполнено проточным и направленным к передней поверхности рабочего элемента, при этом дроссель расположен в отверстии для охладителя, теплопроводник выполнен в виде плоской консоли, один конец стержня соединен с регулятором дросселя, а другой установлен с возможностью взаимодействия со свободным концом консоли со стороны металла с меньшим коэффициентом линейного расширения.

Он содержит полую державку 1 с трубчатым отверстием 2 для охладителя, установленный на ней рабочий элемент 3 и размещенный в её полости биметаллический теплопроводник 4, взаимодействующий с рабочим элементом 3.

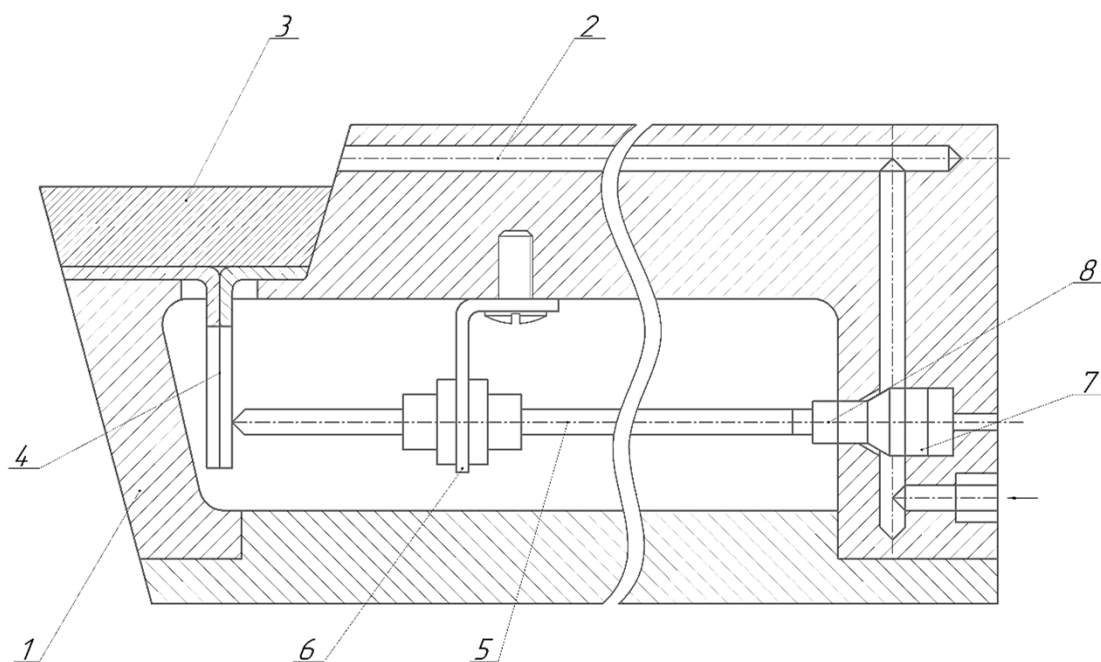


Рис. 13 Конструктивная схема предлагаемого металлообрабатывающего инструмента

Инструмент также снабжен стержнем 5, закрепленным в полости державки 1 на упругой подвеске – пластине 6, и регулируемым дросселем 7. Отверстие 2 для охладителя выполнено проточным и направленным к передней поверхности рабочего элемента 3, при этом дроссель 7 расположен в отверстии 2 для охладителя. Теплопроводник 4 выполнен в виде плоской консоли, один конец стержня 5 соединен с регулятором 8 дросселя 7, а другой установлен с возможностью взаимодействия со свободным концом консоли 4 со стороны металла с меньшим коэффициентом линейного расширения.

При использовании инструмента через трубчатое отверстие 2 к рабочему элементу 3 подается охлаждающая жидкость (на фиг.1. это обозначено стрелкой). Дроссель 7 при изготовлении инструмента отрегулирован на пропускание некоторого минимального необходимого количества жидкости в единицу времени. В процессе работы инструмента температура рабочего элемента 3 повышается, и теплопроводник 4 начинает под ее воздействием изгибаться. Поскольку теплопроводник биметаллический (значит, состоит из двух металлических слоев) и выполнен в виде консоли, его изгиб происходит со смещением свободного конца в сторону металлического слоя с меньшим

коэффициентом расширения. Изгибаясь, конец консоли 4 воздействует на конец стержня 5, взаимодействующий с ним, и смещает стержень в направлении к отверстию 2. Вторым концом стержень 5 воздействует на регулятор 8 дросселя 7, а последний увеличивает сечение отверстия 2 и соответственно, увеличивает поступление охлаждающей жидкости к рабочему элементу 3. По мере охлаждения элемента 3 теплопроводник – консоль 4 приходит в исходное состояние, и стержень 5 под действием упругой подвески – пластины 6 смещается обратно. Регулятор 8 дросселя 7 изменяет проходное сечение отверстия 2 в сторону исходного и подача охлаждающей жидкости к элементу 2 уменьшается. Таким образом температура рабочего элемента 3 предлагаемого инструмента стабилизируется.

Поскольку в инструменте, в отличие от прототипа, имеется обратная связь между управляемым параметром (температурой рабочего элемента) и подачей охлаждающей жидкости, точность соблюдения требуемого температурного режима при его использовании оказывается выше, чем у прототипа. Обратная связь построена на жестком элементе (стержень 5), а это способствует обеспечению высокой чувствительности устройства.

Повышение точности и чувствительности устройства является техническим результатом предложения, способствующим снижению износа инструмента и повышению стойкости его рабочего элемента.

3.3. Материалы, обеспечивающие малую термдеформируемость резца и разработка резца с применением инварного сплава

Основное требование, предъявляемое к материалу рабочей части резца, — это твердость, которая должна быть больше твердости любого материала, обрабатываемого данным резцом. Твердость не должна заметно уменьшаться от теплоты резания. Одновременно с этим материал резца должен быть достаточно вязким (не хрупким); режущая кромка резца не должна выкрашиваться во время работы. Материал резца должен хорошо сопротивляться истиранию, которое происходит от трения стружки о переднюю поверхность резца, а также от трения задней поверхности резца о поверхность резания.

Этим требованиям в различной степени удовлетворяют инструментальные материалы — металлокерамические твердые сплавы, минералокерамика, быстрорежущие и углеродистые стали разных марок. Наиболее современными материалами для токарных резцов являются металлокерамические твердые сплавы, сохраняющие свои режущие свойства при нагревании в процессе работы до температуры 800—900° С. Эти сплавы состоят из тончайших зерен карбидов 1 тугоплавких металлов — вольфрама, титана и тантала, сцементированных кобальтом. Металлокерамические твердые сплавы разделяются на три группы: вольфрамовые, титано-вольфрамовые и титано-танталовольфрамовые.

Вольфрамовые твердые сплавы предназначены для обработки чугуна, цветных металлов и их сплавов и неметаллических материалов. Для изготовления токарных резцов используются вольфрамовые твердые сплавы марок ВК2, ВК3М, ВК4, В КГ, ВК6М, ВК8, ВК8В. Буква В в каждой из этих марок означает Карбид вольфрама, буква К — кобальт; цифра, стоящая в марке после буквы К — указывает количество (в процентах) содержащегося в данном сплаве кобальта. Остальное — карбид вольфрама. Таким образом,

например, в сплаве марки ВК2 содержится 2% кобальта и 98% карбида вольфрама.

Металлокерамические сплавы выпускаются в виде пластинок различных форм и размеров. В последнее время, при определенных условиях, в качестве инструментального материала находят применение минералокерамические материалы, основной частью которых является окись алюминия. В состав этих материалов не входят относительно редкие элементы: вольфрам, титан, кобальт и др. Теплостойкость резцов, оснащенных минералокерамикой, очень высокая и достигает 1200° С и более. В этом главное преимущество минералокерамических материалов в сравнении с твердыми сплавами, основными составляющими которых являются редкие и дорогие элементы и теплостойкость которых ниже. Недостатком минералокерамического сплава является его относительно небольшая и нестабильная прочность на изгиб (хрупкость). Поэтому он применяется при получистовой и чистовой обработке чугуна, стали и цветных сплавов. Минералокерамические материалы выпускаются также в виде пластинок.

Высокоточные механические системы являются неотъемлемой частью многих современных технологий. Однако для производства высокоточных механических систем требуется соответствующий материал – металл или сплав, характеристики которого позволяют достичь нужного результата. И здесь на сцену механической инженерии выходит Инвар — металл, применимый там, где желательна высокая степень стабильности размеров при изменении температуры.

Инвáр (лат. *invariabilis* — неизменный) — сплав, состоящий из никеля (Ni, 36 %) и железа (Fe, остальное), и отличающийся уникально низким коэффициентом температурного расширения.

К физическим свойствам относятся:

- Коэффициент теплового расширения. Он достаточно низкий при очень широком диапазоне температуры (от -80°C до $+100^{\circ}\text{C}$).
- Температура плавления. Она составляет 1430°C .
- Предел механической прочности равен 49 кгс/мм^2 .
- Плотность стандартного сплава составляет 8130 кг/м^3 ,

Эти уникальные физические характеристики объясняются следующими химическими свойствами:

- Имеет характерно выраженную однофазную структуру.
- Маленький коэффициент теплового расширения объясняется тем, что при нагреве общее тепловое расширение компенсируется магнитострикционным снижением объёмного показателя.

3.5. Выводы

В данной главе рассмотрен был инструмент резец с внутренним охлаждением и применением биметаллической пластины с использованием инварного сплава. Такая конструкция позволяет существенно снизить нагрев режущей пластины, что придает резцу большее время работы без переточек и замен. В дальнейшем такие резцы будут пользоваться большим спросом, потому что при работе резца учитывается нагрев его пластины, с учетом охлаждения пластины, можно добиться большего срока службы.

ГЛАВА 5. ПРИМЕРЫ КОНСТРУКТИВНОЙ РЕАЛИЗАЦИИ ОХЛАЖДАЕМЫХ МОТОР-ШПИНДЕЛЕЙ

4.1 Высокоскоростной шпиндельный узел (пример 1)

Шпиндельная группа, встроенная в электродвигатель (электрошпиндель), применяется в быстроходных шпиндельных фрезерных, сверлильных шлифовальных станках (рис. 14) [12].

Вал 7 с насаженным на него ротором вращается на радиально-упорных подшипниках 6 и 8. Передние подшипники 6 закреплены жестко гайкой 1, упорными крышками 2 и винтами 3, 4, 5, а задние установлены в корпус 9 с зазором 0,006-0,008 мм на диаметр и закреплены гайкой 10. Корпус 9 соединен с крышками 15 и 14 болтами 13. Предварительный осевой натяг в подшипниках осуществляется благодаря комплекту пружин 11.

Смазываются подшипниковые опоры масляным туманом, который подают по штуцеру 12. Для создания масляного тумана применяют велоситовое масло. Подготовка масляного тумана выполняется по схеме, показанной на рис. 14.

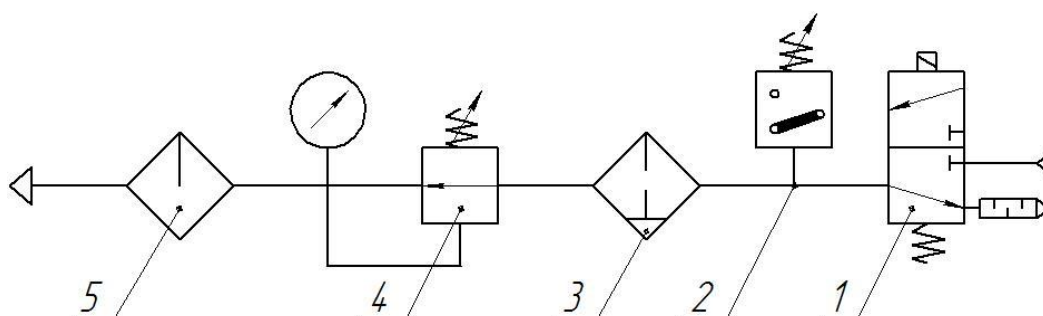


Рис. 14. Схема смазывания масляным туманом

Воздух подается из сети через электропневматический клапан 1, реле давления 2 и очищается от воды во влагоотделителе 3, далее давление воздуха снижается до 0,18 – 0,2 Мпа регулятором давления 4 и поступает в маслораспределитель 5, который подает 80-100 капель в 1 мин. В

маслораспределителе происходит насыщение воздуха парами масла, который затем подается по трубопроводу к штуцеру в корпусе электрошпинделя.

Включение установки подачи масляного тумана осуществляется электропневматическими клапанами одновременно с включением электрошпинделя посредством пусковой кнопки, расположенной на пульте управления. В случае прекращения подачи сжатого воздуха, реле давления В-62-12 отключает установку масляного тумана и шпинделя. Масляный туман через штуцер 12 подается в камеру под крышкой 14 и поступает в подшипники 8, а затем через отверстие в валу 7 – в зону подшипников 6. Отработанное масло выходит через отверстие в корпусе 9 и крышке 14, а также через лабиринты гайки 1 и крышки 2.

Статор охлаждается антикоррозионной жидкостью, которая поступает в полость корпуса 9 из насосной станции. Охлаждающая жидкость, пройдя по кольцевому каналу, сливается в бак насосной станции. Рабочий конец вала имеет цилиндрическое отверстие для крепления оправки с режущим инструментом.

Для измерения температуры передней опоры шпинделя используем термопреобразователь сопротивления 16 (типа ТСП-1388). Пределы измерения температуры $-50 \dots +120^{\circ}$. Термопреобразователь виброустойчивый, вибропрочный, выдерживает 10...60 Гц с амплитудой смещения 0,20 мм.

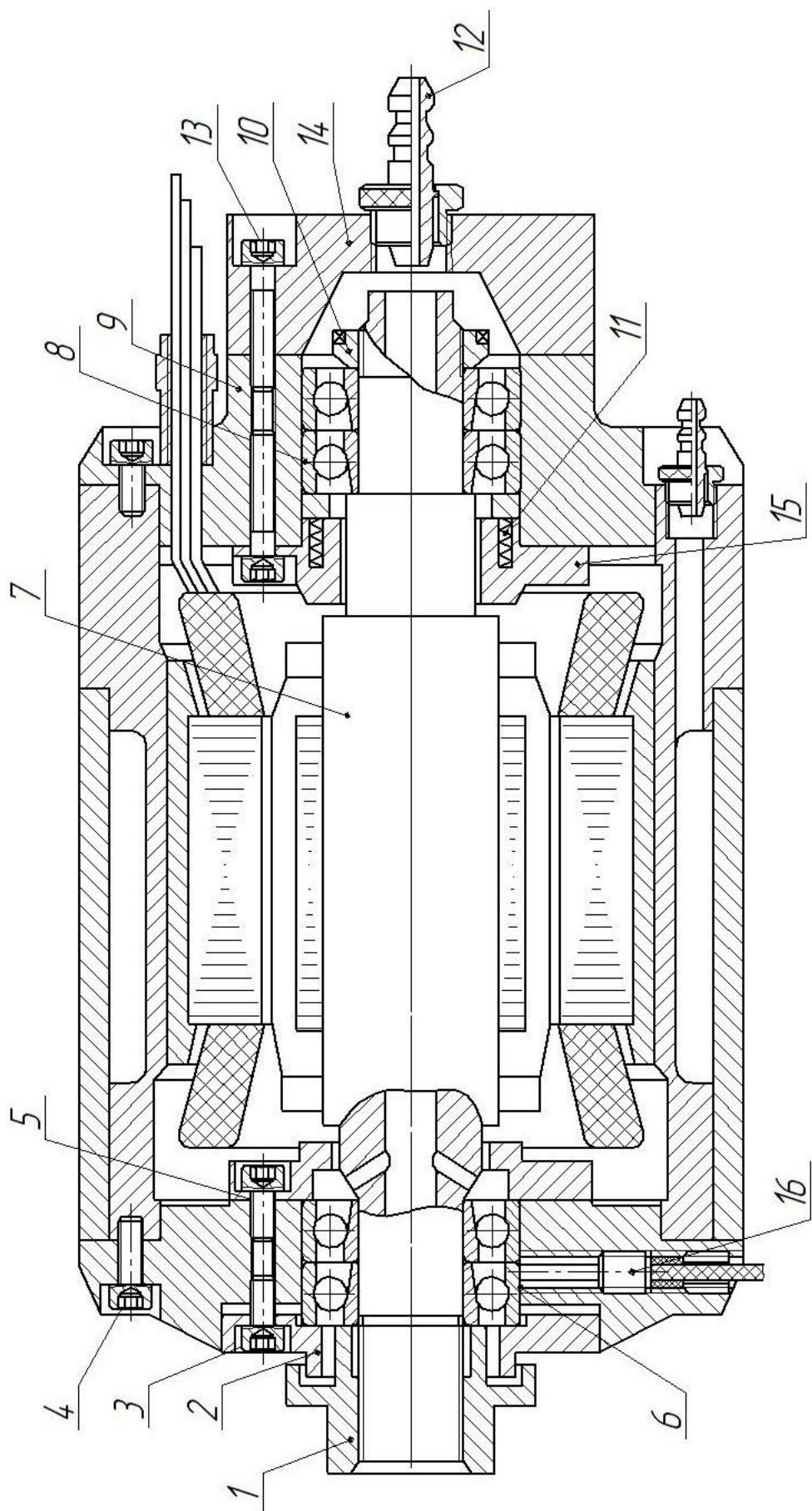


Рис. 15. Высокоскоростной шпиндельный узел (пример1)

4.2 Высокоскоростной шпиндельный узел (пример 2)

В данной конструкции охлаждение происходит: воздух подается через 2 ряда сопел 1 (рис. 16), установленных в непосредственной близости к опорам. Осевой зазор составляет около 0,01 мм, а радиальный – около 0,02 мм. Радиальное биение составляет около 0,1 мкм, а осевое – не превышает 0,05 мкм. Вращение шпинделя производится встроенным электродвигателем 2, тепловое воздействие которого снижается за счет охлаждения при подаче охлаждающей жидкости в винтовую канавку 7, через штуцеры 8 и 9. Балансировка шпинделя производится грузиком 4.

Охлаждение подшипников масляным туманом, происходит также как в примере 1. Тепловое воздействие снижается за счет подачи масла в винтовую канавку 3 с помощью 5 и 6 отверстия.

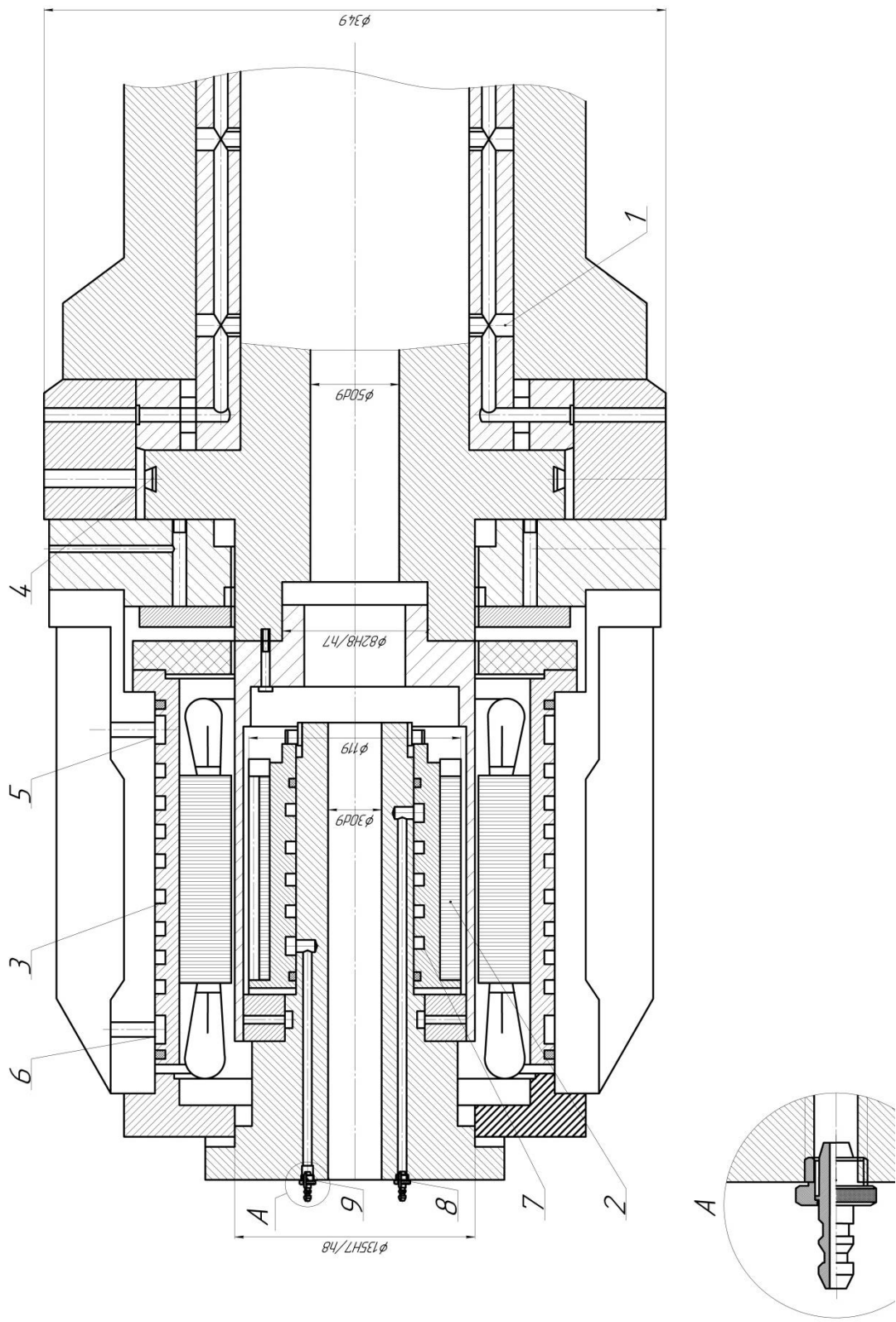


Рис. 16. Высокоскоростной шпиндельный узел (пример 2)

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В связи с общей тенденцией к повышению точности механической обработки с целью повышения нагрузочной способности деталей машин и их долговечности значительно возросли требования к точности обработки деталей.

Изменение температуры деталей станков, инструмента и заготовок приводят к следующим неблагоприятным явлениям: понижению точности обработки вследствие обратимых температурных деформаций элементов системы; понижению точности измерений; ухудшению условий работы трущихся пар в связи с понижением несущей способности масляных слоев, температурными изменениями зазоров, уменьшением коэффициента трения, структурными изменениями трущихся поверхностей во фрикционных парах и понижению стойкости инструмента.

В ходе дипломного проекта был проведен анализ основных факторов, определяющих точность станков и влияние температурных деформаций на точность механообработки, а также анализ различных современных способов уменьшения этих деформаций и существующих систем термостабилизации.

По результатам анализа были разработаны «интеллектуальные» системы термостабилизации шпиндельного узла, использование которых повлечет за собой снижение температурных деформаций и повышение точности металлорежущих станков. Данными системами можно оснастить как новые, так и уже находящиеся в эксплуатации металлорежущие станки.

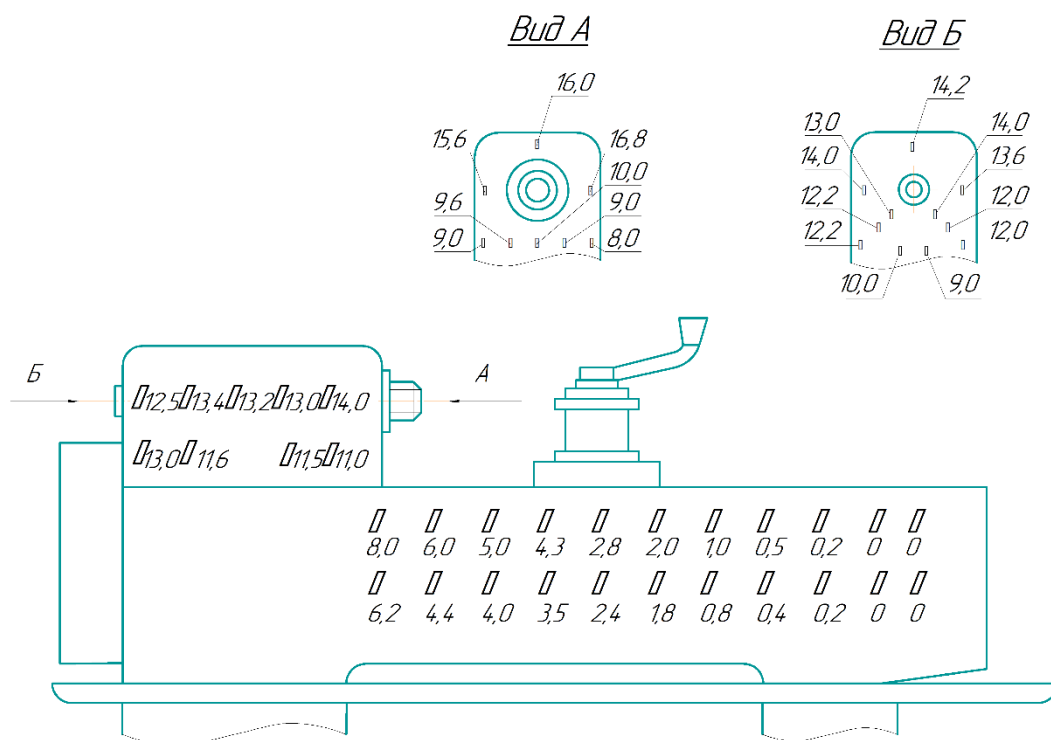
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. В.И.Островский. Факторы, влияющие на точность горизонтально-расточных станков // Станки и инструмент. – 1964. - №10 – с.3-7.
2. Системы смазки приводов главного движения металлорежущих станков: Методические указания к самостоятельной работе при курсовом проектировании по курсам: «Конструирование, расчет и САПР станков и станочных комплексов» и «Металлорежущие станки и промышленные роботы» / Е.В.Кусова, И.М.Храмов, Н.Ш.Ардаширов. Свердловск: УПИ, 1991. - 24с.
3. К.В.Марусич. Управление термдеформационным состоянием станка на основе автоматизации прогнозирования температурных перемещений исполнительных органов. – Оренбург: ИПК ГОУ ОГУ, 2012.
4. А.Н.Поляков, П.И.Дьяконов. Прогнозирование теплоустойчивости станков с помощью нейросетевого подхода // Технология машиностроения. – 2003. - №6 – с.29-33.
5. А.Н.Поляков, П.И.Дьяконов. Прогнозирование температурных перемещений станка с помощью нейронных сетей // Технология машиностроения. – 2005. - №7 – с.15-19.
6. А.И.Глухенький, Н.Н.Панов, Ж.С.Равва. Стабилизация температуры в прецизионных станках с помощью полупроводниковых охлаждающих устройств // Станки и инструмент. – 1972. - №3 – с.9-10.
7. Ф.Л.Копелев. Отделочно-расточной станок с автоматической компенсацией тепловых деформаций // Станки и инструмент. – 1974. - №10 – с.14-15.
8. Я.Л.Либерман. Система термостабилизации шпиндельного узла металлорежущего станка. Авторское свидетельство № 102553
9. Я.Л.Либерман. Система термостабилизации шпиндельного узла металлорежущего станка. Авторское свидетельство № 116387

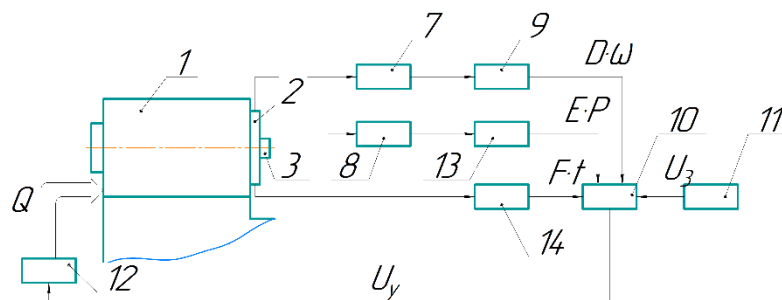
10. М.П.Белов, В.А.Новиков, Л.Н.Рассудов. Автоматизированный электропривод типовых производственных механизмов и технологических комплексов. М.: «Академия», 2004.
11. Станки с числовым программным управлением (специализированные) / под ред. В.А.Лещенко. – М.: Машиностроение, 1979 . – 592 с.
12. А.С.Сандлер. Электропривод и автоматизация металлорежущих станков. Учеб. пособие для втузов. – М.: «Высш. школа», 1972. – 440 с.
13. Контроль и диагностика в ГПС: Практ. пособие / Под ред. В.И.Черпакова. – М.: Высш. школа, 1989. – с.83-84.
14. А.П.Сиротенко, В.А.Лизогуб. Динамометрический шпиндельный узел для адаптивной системы управления станком // Станки и инструмент. – 1978. - №4 – с.9-10.
15. И.А.Биргер. Расчет на прочность деталей машин: справочник / И.А.Биргер, Б.Ф.Шорр, Г.Б.Иосилевич. М. :Машиностроение, 1979. – 702с.
16. Расчет режимов резания при точении с учетом виброустойчивости технологической системы: Учебное пособие по курсу «Теория автоматического управления» / Я.Л.Либерман. Екатеринбург: Уральский федеральный университет, 2012. – 173 с.
17. Боярский В.Г., Сихимбаев М.Р., Шеров К.Т., Сихимбаева Д.Р. НОВЫЕ КОНСТРУКЦИИ МЕТАЛЛОРЕЖУЩЕГО ИНСТРУМЕНТА // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. – 2014. – № 11-5. – С. 722-726;

ПРИЛОЖЕНИЕ

Избыточные температуры при финишной обработке
на станке модели 16Б16П при $n=890$ об/мин (по данным статьи
А.И.Глухенького и др. в журнале "Станки и инструмент", №3, 1972)

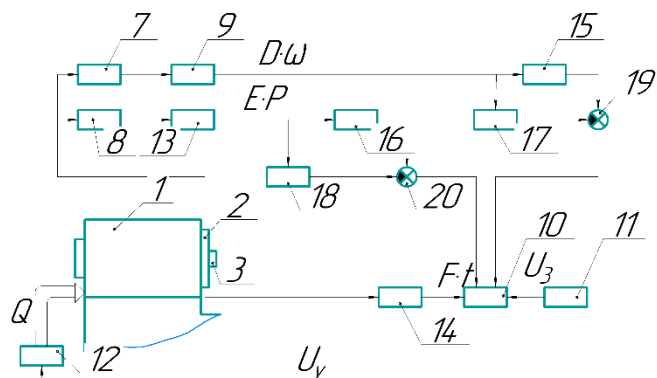


Система термостабилизации шпиндельного узла
по патенту Я.Л.Либермана №102553



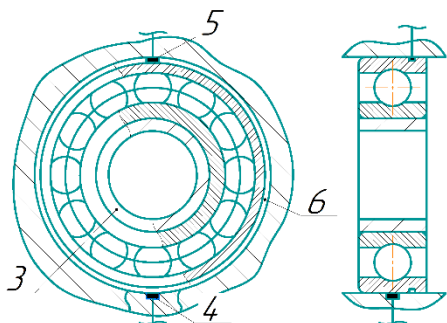
- | | |
|--------------------|-------------------------|
| 1. Корпус | 8. Сглаживающий фильтр |
| 2. Подшипник | 9. Частотомер |
| 3. Шпиндель | 10. Сумматор |
| 4. Термодатчик | 11. Задатчик напряжения |
| 5. Тензодатчик | 12. Маслораспылитель |
| 6. Кольцевая прот. | 13. Усилитель |
| 7. Формирователь | 14. Усилитель |

Система термостабилизации шпиндельного узла
по патенту Я.Л.Либермана №116387

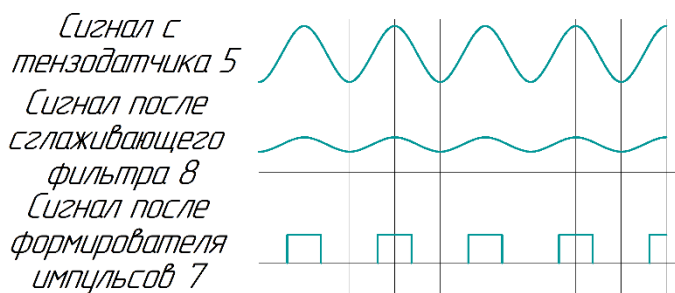


- | | | |
|----------------------------|-------------------------|--------------------|
| 1. Корпус | 8. Сглаживающий фильтр | 15. Блок умножения |
| 2. Подшипник | 9. Частотомер | 16. Блок умножения |
| 3. Шпиндель | 10. Сумматор | 17. Линия задержки |
| 4. Термодатчик | 11. Задатчик напряжения | 18. Линия задержки |
| 5. Тензодатчик | 12. Маслораспылитель | 19. Компаратор |
| 6. Кольцевая проточка | 13. Усилитель | 20. Компаратор |
| 7. Формирователь импульсов | 14. Усилитель | |

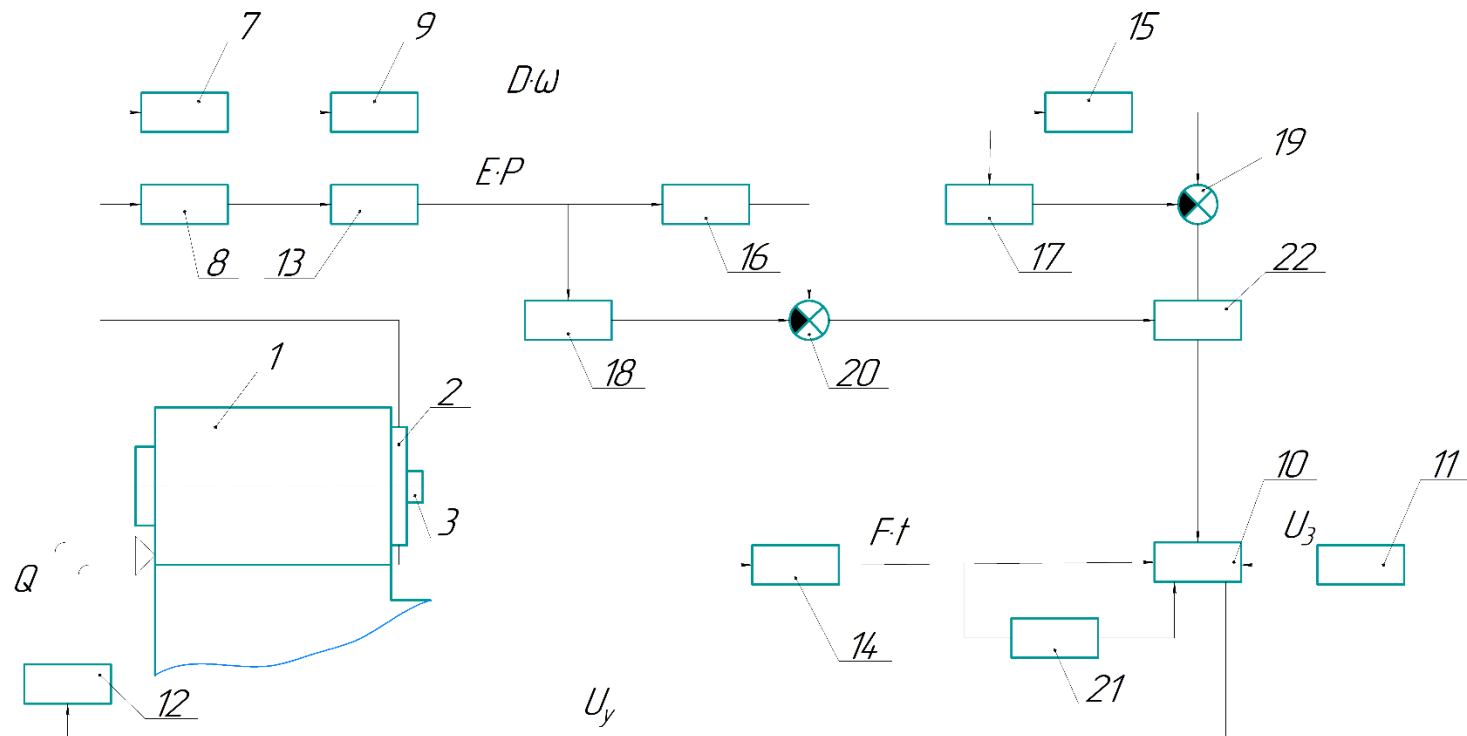
Схема расположения термодатчика и тензодатчика относительно переднего подшипника шпинделя



Временная диаграмма сигналов непряжения при вращении шпинделя на выходах тензодатчика, сглаживающего фильтра и формирователя импульсов



Модернизация системы термостабилизации шпиндельного узла по патенту Я.Л.Либермана №116387



- | | | |
|---------------------------|-------------------------|------------------------|
| 1. Корпус | 9. Частотомер | 16. Блок умножения |
| 2. Подшипник | 10. Сумматор | 17. Линия задержки |
| 3. Шпиндель | 11. Задатчик напряжения | 18. Линия задержки |
| 4. Термодатчик | 12. Маслораспылитель | 19. Компаратор |
| 5. Тензодатчик | 13. Усилитель | 20. Компаратор |
| 6. Кольцевая проточка | 14. Усилитель | 21. Цепь дифференциала |
| 7. Формирователь импульса | 15. Блок умножения | 22. Блок умножения |
| 8. Сглаживающий фильтр | | |

Результаты на выходе сумматора 10

$$U_y = D \cdot w + D \frac{dw}{d\tau} + E \cdot P + E \frac{dP}{d\tau} + U_3$$

$$U_y = D \cdot w + D \frac{dw}{d\tau} + E \cdot P + E \frac{dP}{d\tau} + \Delta t_1 + \frac{d\Delta t_1}{d\tau} + U_3$$

где $\frac{d\omega}{d\tau}$, есть скорость изменения ω ; $\frac{dP}{d\tau}$, приращение сигнала P за время $d\tau$; $\frac{d\Delta t_1}{d\tau}$, возможное изменение температуры за минимальное время; D, E, F – коэффициенты пропорциональности; U_y – сигнал, поступающий на маслораспылитель; U_3 – сигнал от зататчика напряжения.

Если учесть, что чем больше ω , тем больше t , и чем больше P , тем также больше t , то в общем виде можно записать

$$t = A \cdot \omega + B \cdot P + G \cdot \Delta t_1 - C \cdot U_y$$

$$t = \frac{(A - C \cdot D) \cdot w + (B - C \cdot E) \cdot P - C \left(D \frac{dw}{d\tau} + E \frac{dP}{d\tau} \right) - C U_3}{1 + C \cdot F}$$

$$t = \frac{(A - C \cdot D) \cdot w + (B - C \cdot E) \cdot P + (G - C \cdot \Delta t_1) - C \left(D \frac{dw}{d\tau} + E \frac{dP}{d\tau} + \frac{d\Delta t_1}{d\tau} \right) - C U_3}{1 + C \cdot F}$$

где C – коэффициент пропорциональности, подобный D, E, F ; A, B и G – коэффициенты пропорциональности, аналогичные C .

продифференцировав t для прототипа, получим:

$$\gamma^* = \frac{dt}{d\tau} = \frac{A - C \cdot D}{1 + C \cdot F} \cdot \frac{dw}{d\tau} + \frac{B - C \cdot E}{1 + C \cdot F} \cdot \frac{dP}{d\tau}$$

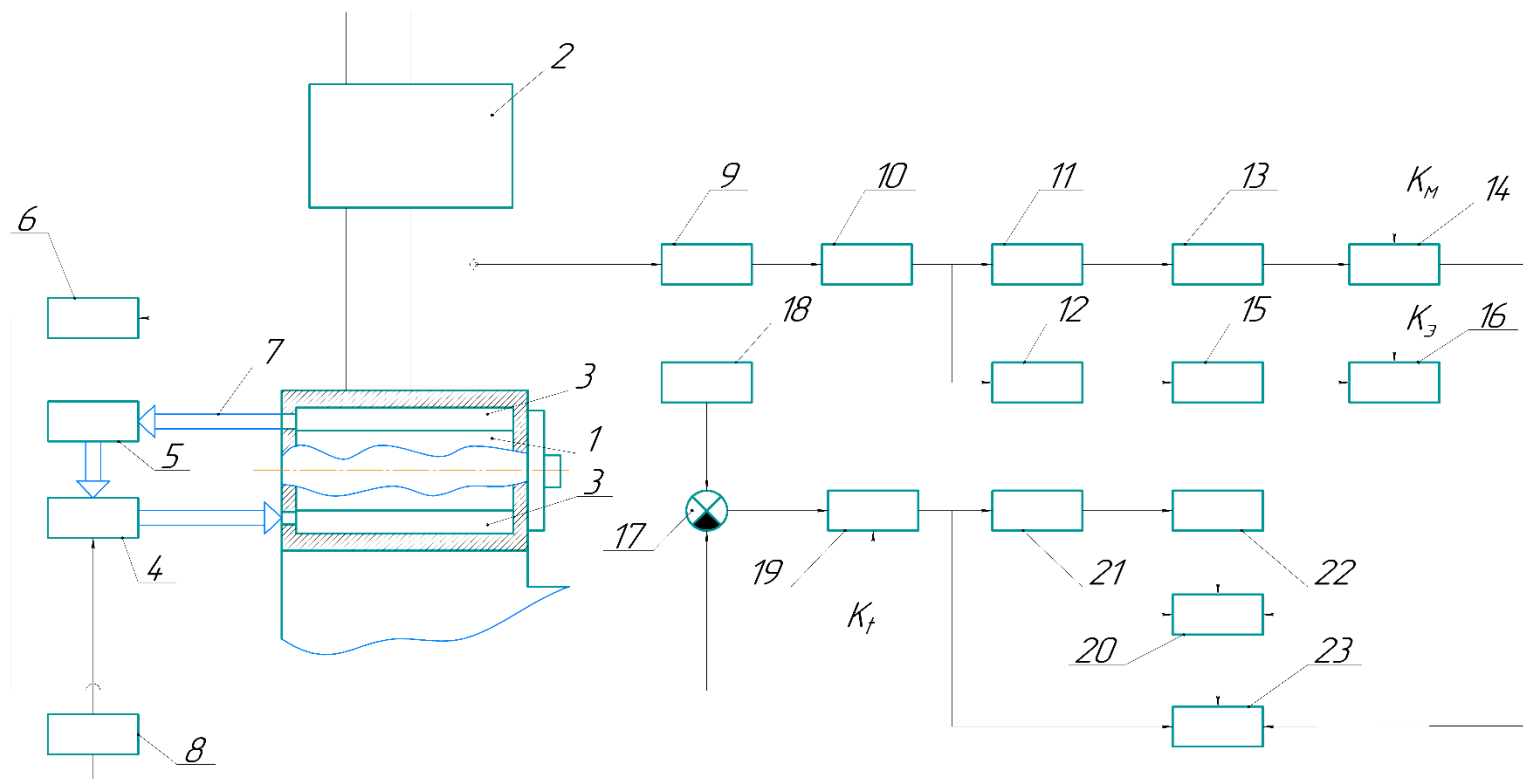
$$\gamma^* = \frac{dt}{d\tau} = \frac{A - C \cdot D}{1 + C \cdot F} \cdot \frac{dw}{d\tau} + \frac{B - C \cdot E}{1 + C \cdot F} \cdot \frac{dP}{d\tau} + \frac{G - C \cdot \Delta t_1}{1 + C \cdot F} \cdot \frac{d\Delta t_1}{d\tau}$$

$$\gamma^{**} = \frac{dt}{d\tau} = \frac{A - C \cdot D}{1 + C \cdot F} \cdot \frac{dw}{d\tau} + \frac{B - C \cdot E}{1 + C \cdot F} \cdot \frac{dP}{d\tau} - \frac{C \cdot \left(D \frac{d^2 w}{d\tau^2} + E \frac{d^2 P}{d\tau^2} \right)}{1 + C \cdot F} \cdot \gamma^{**} = \frac{dt}{d\tau} = \frac{A - C \cdot D}{1 + C \cdot F} \cdot \frac{dw}{d\tau} + \frac{B - C \cdot E}{1 + C \cdot F} \cdot \frac{dP}{d\tau} + \frac{G - C \cdot \Delta t_1}{1 + C \cdot F} \cdot \frac{d\Delta t_1}{d\tau} - \frac{C \cdot \left(D \frac{d^2 w}{d\tau^2} + E \frac{d^2 P}{d\tau^2} + \frac{d^2 \Delta t_1}{d\tau^2} \right)}{1 + C \cdot F}$$

$$\Delta\gamma = \gamma^{**} - \gamma^* = - \frac{C \cdot \left(D \frac{d^2 w}{d\tau^2} + E \frac{d^2 P}{d\tau^2} \right)}{1 + C \cdot F}$$

$$\Delta\gamma = \gamma^{**} - \gamma^* = - \frac{C \cdot \left(D \frac{d^2 w}{d\tau^2} + E \frac{d^2 P}{d\tau^2} + \frac{d^2 \Delta t_1}{d\tau^2} \right)}{1 + C \cdot F}$$

Разработка системы водяного охлаждения двигателя



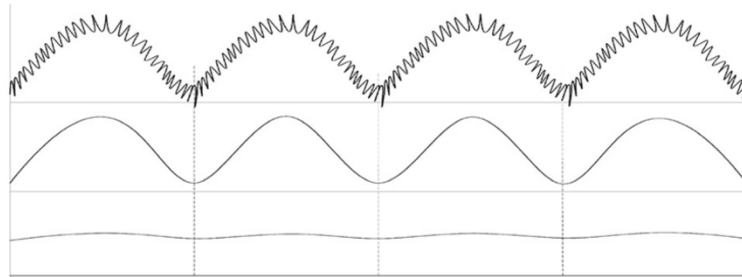
- | | | | |
|------------------------------|---------------------------|--------------------------|-------------------|
| 1. Электродвигатель | 7. Трубопровод | 13. Блок умножения | 19. Усилитель |
| 2. Частотный преобразователь | 8. Регулятор расхода воды | 14. Усилитель | 20. Сумматор |
| 3. Проточная емкость | 9. Датчик тока | 15. Блок умножения | 21. Блок задержки |
| 4. Насос | 10. Фильтр | 16. Усилитель | 22. Инвертор |
| 5. Холодильная установка | 11. Частотомер | 17. Компаратор | 23. Сумматор |
| 6. Датчик температуры | 12. Сглаживающий фильтр | 18. Задатчик температуры | |

Временные диаграммы, иллюстрирующие работу входящих в систему фильтров.

Выходной сигнал датчика 9

Выходной сигнал фильтра 10

Выходной сигнал фильтра 12



Работа системы основана на использовании известных соотношений, описывающих потери асинхронного частотнорегулируемого двигателя:

$$P_3 = 3 \cdot I^2 \cdot r_a,$$

где P_3 – электрические потери в обмотках двигателя;

I – фазный ток обмотки;

r_a – активное сопротивление обмотки.

$$P_m = k \cdot \left(\frac{P}{M} \right)_{\frac{10}{50}} \cdot B^2 \left(\frac{f}{50} \right)^{1,3} \cdot M,$$

где P_m – магнитные потери в двигателе;

k – поправочный коэффициент;

$\left(\frac{P}{M} \right)_{\frac{10}{50}}$ – удельные потери в стали на единицу массы при индуктивности 1Гл и частоте 50 Гц;

B – среднее значение индукции;

f – частота напряжения питания двигателя;

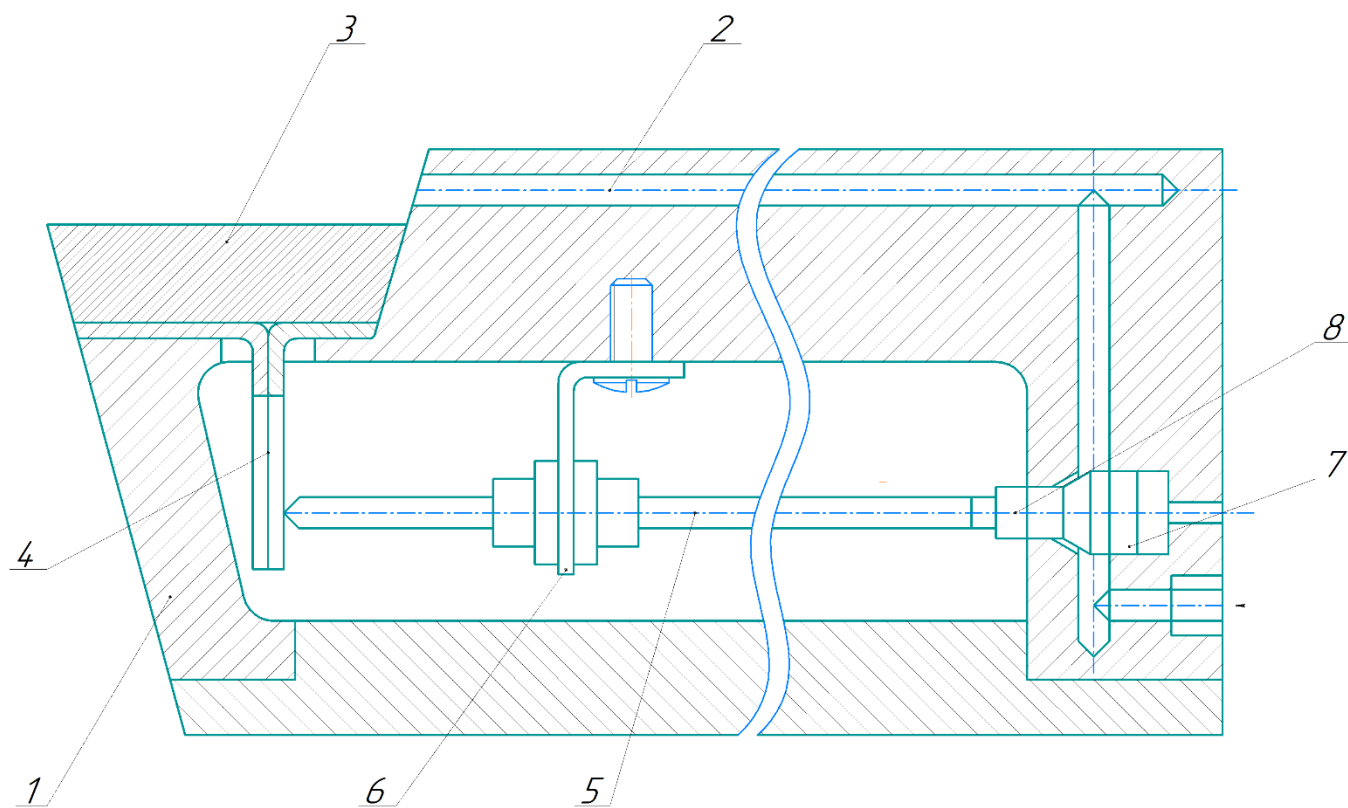
M – масса сердечника.

С достаточной для практики точностью правомерно считать, что для конкретного двигателя:

$$P_3 \approx K_3 \cdot I^2,$$

$$P_m \approx K_m \cdot f^{1,3},$$

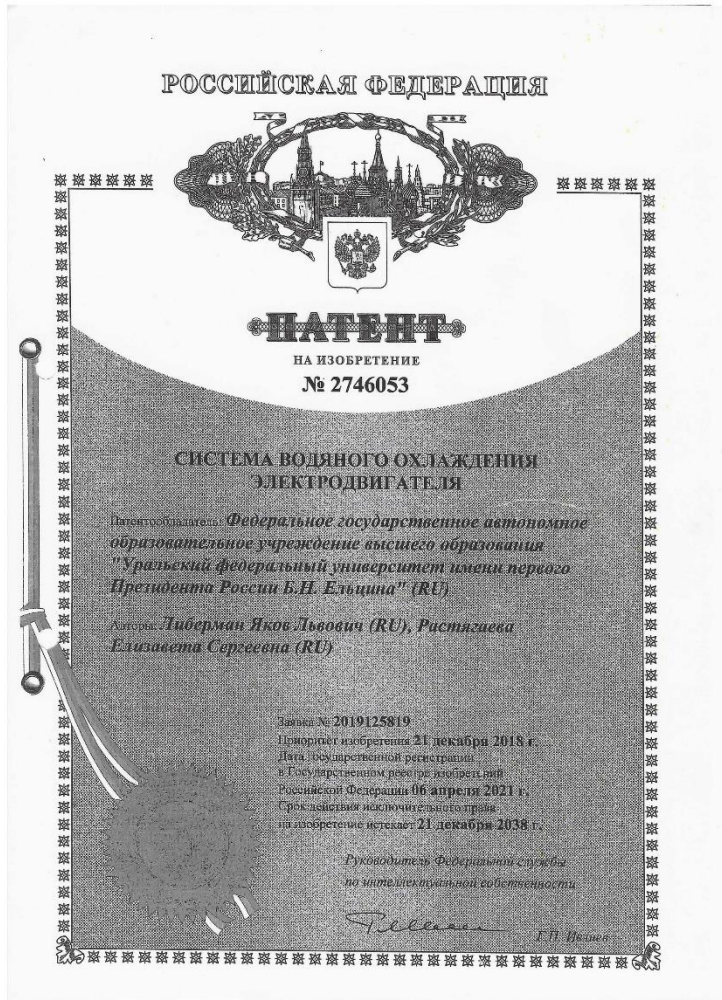
где K_3 и K_m – некоторые постоянные коэффициенты.



- 1. Державка
- 2. Канал для охладителя
- 3. Рабочий элемент (пластина)
- 4. Биметаллический проводник

- 5. Стержень
- 6. Упругая пластина – подвеска
- 7. Регулируемый дроссель
- 8. Регулятор

80'0000'00'50'40'51



Изд. № 001

Взам. И-В. №

Изд. № 001

Подл. и дата

Изм.	Лист	№ докум.	Подл.	Дата

15.04.05.00.0000.08

Лист

Копирован

Формат А3

15.04.05.00.0000.08

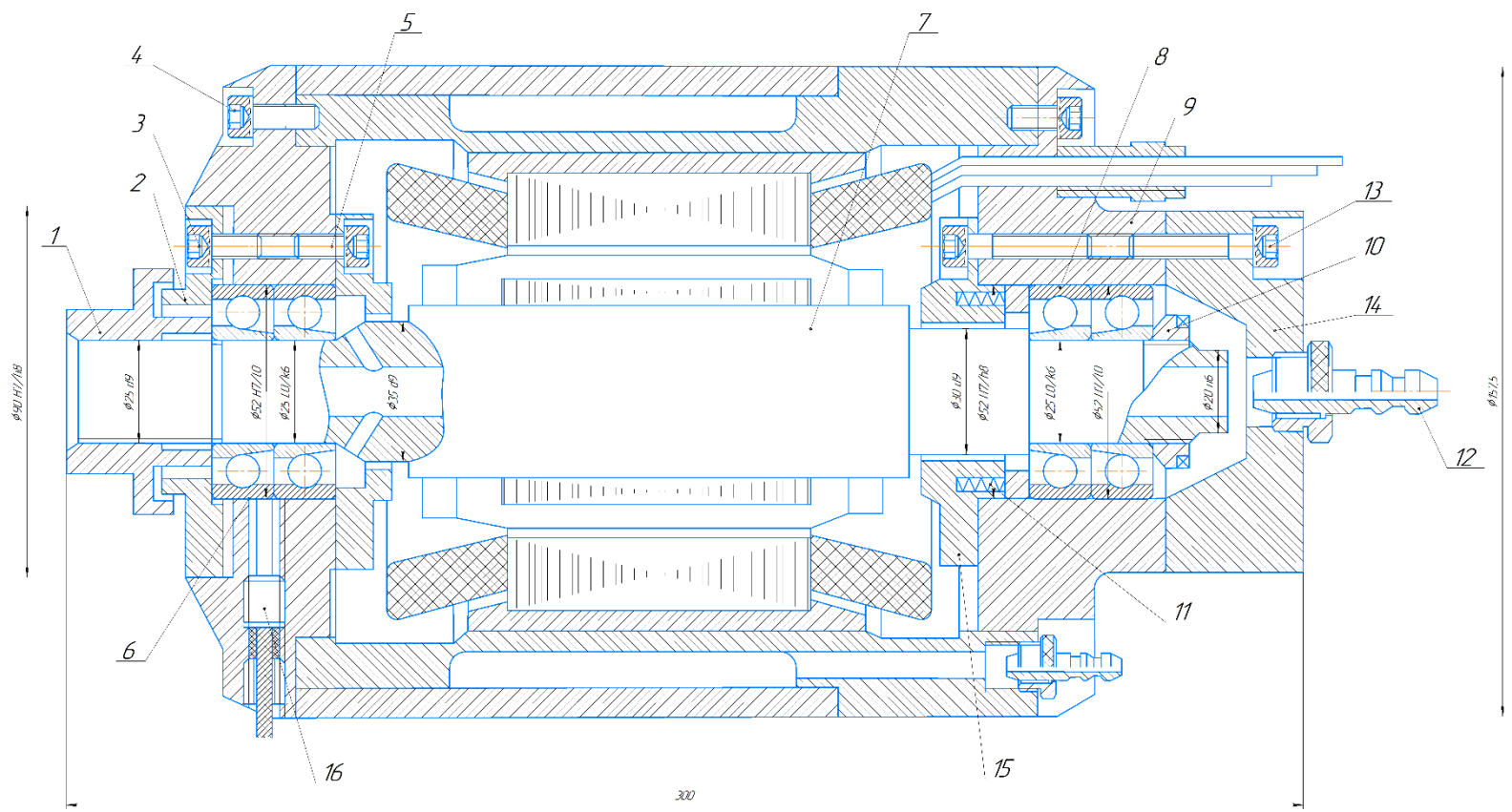
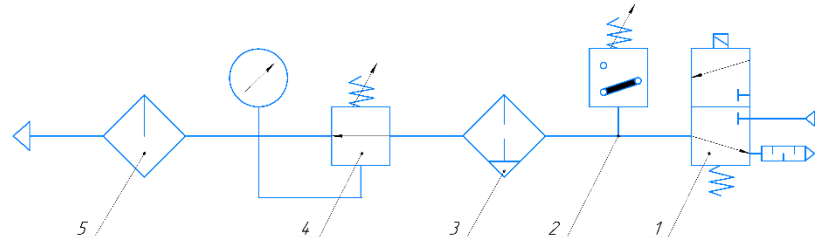


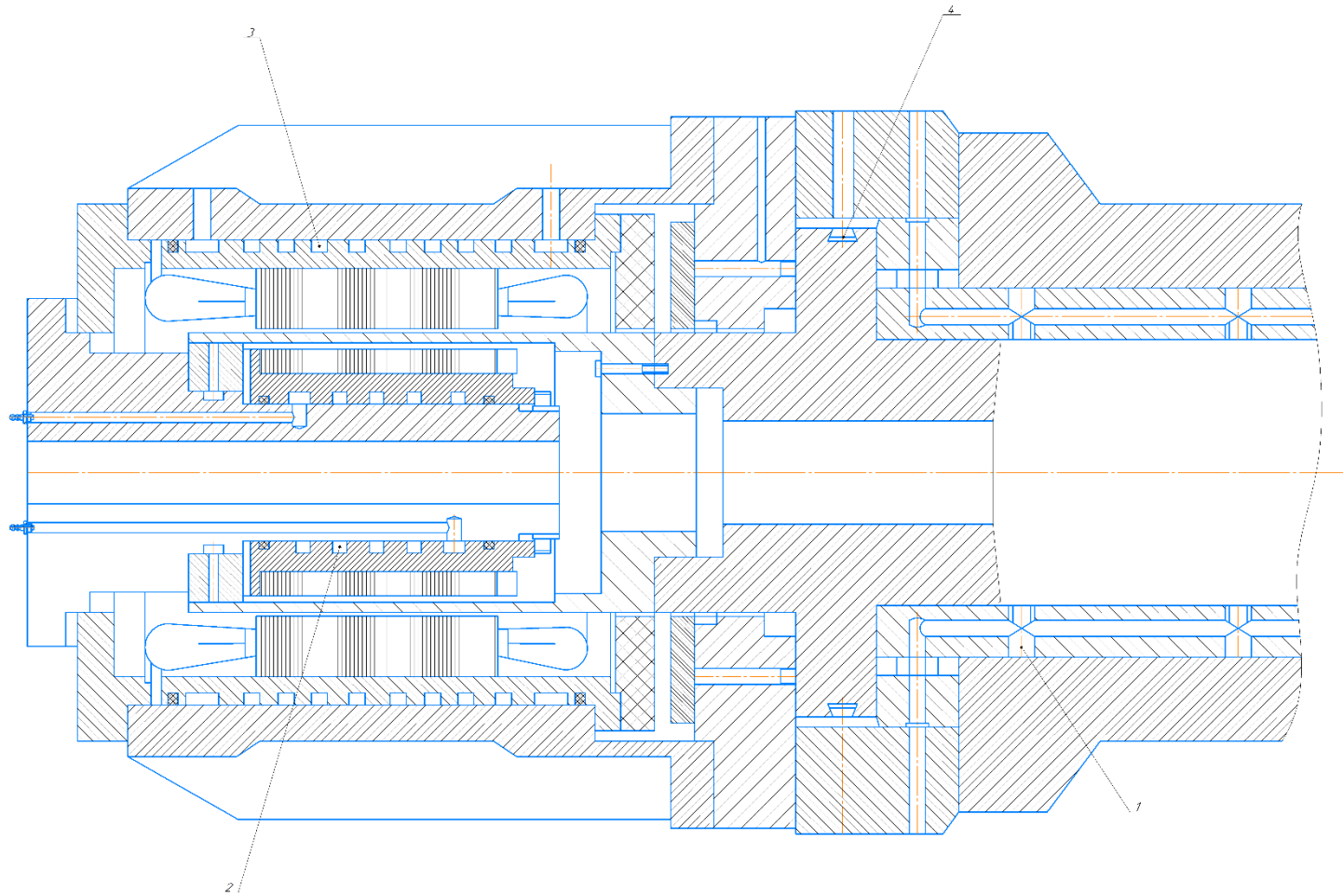
Схема смазывания масляным туманом



ИЗМ. № 001
ИЗМ. № 002
ИЗМ. № 003
ИЗМ. № 004
ИЗМ. № 005
ИЗМ. № 006
ИЗМ. № 007
ИЗМ. № 008
ИЗМ. № 009
ИЗМ. № 010
ИЗМ. № 011
ИЗМ. № 012
ИЗМ. № 013
ИЗМ. № 014
ИЗМ. № 015
ИЗМ. № 016
ИЗМ. № 017
ИЗМ. № 018
ИЗМ. № 019
ИЗМ. № 020
ИЗМ. № 021
ИЗМ. № 022
ИЗМ. № 023
ИЗМ. № 024
ИЗМ. № 025
ИЗМ. № 026
ИЗМ. № 027
ИЗМ. № 028
ИЗМ. № 029
ИЗМ. № 030
ИЗМ. № 031
ИЗМ. № 032
ИЗМ. № 033
ИЗМ. № 034
ИЗМ. № 035
ИЗМ. № 036
ИЗМ. № 037
ИЗМ. № 038
ИЗМ. № 039
ИЗМ. № 040
ИЗМ. № 041
ИЗМ. № 042
ИЗМ. № 043
ИЗМ. № 044
ИЗМ. № 045
ИЗМ. № 046
ИЗМ. № 047
ИЗМ. № 048
ИЗМ. № 049
ИЗМ. № 050
ИЗМ. № 051
ИЗМ. № 052
ИЗМ. № 053
ИЗМ. № 054
ИЗМ. № 055
ИЗМ. № 056
ИЗМ. № 057
ИЗМ. № 058
ИЗМ. № 059
ИЗМ. № 060
ИЗМ. № 061
ИЗМ. № 062
ИЗМ. № 063
ИЗМ. № 064
ИЗМ. № 065
ИЗМ. № 066
ИЗМ. № 067
ИЗМ. № 068
ИЗМ. № 069
ИЗМ. № 070
ИЗМ. № 071
ИЗМ. № 072
ИЗМ. № 073
ИЗМ. № 074
ИЗМ. № 075
ИЗМ. № 076
ИЗМ. № 077
ИЗМ. № 078
ИЗМ. № 079
ИЗМ. № 080
ИЗМ. № 081
ИЗМ. № 082
ИЗМ. № 083
ИЗМ. № 084
ИЗМ. № 085
ИЗМ. № 086
ИЗМ. № 087
ИЗМ. № 088
ИЗМ. № 089
ИЗМ. № 090
ИЗМ. № 091
ИЗМ. № 092
ИЗМ. № 093
ИЗМ. № 094
ИЗМ. № 095
ИЗМ. № 096
ИЗМ. № 097
ИЗМ. № 098
ИЗМ. № 099
ИЗМ. № 100

15.04.05.00.0000.08				Лист	№ 11	№ 21
Исполн.	Провер.	Удобр.	Введ.	ВЫПУСК КВАЛИФИКАЦИОННОГО ИСПЫТАТЕЛЬНОГО ЦИКЛА (циклов) II		
Исполн.	Провер.	Удобр.	Введ.	Лист	№ 1	№ 1
Исполн.	Провер.	Удобр.	Введ.	УПРАВЛЕНИЕ КОМПЛЕКСНОМ ПРОЕКТИРОВАНИИ ИМПИ-292503		
Исполн.	Провер.	Удобр.	Введ.	ИЗМЕНЕНИЯ		

15.04.05.00.0000.08



Исполн.	Исполн.	Исполн.	Исполн.	Исполн.	Исполн.	Исполн.	Исполн.	Исполн.	Исполн.
Провер.	Провер.	Провер.	Провер.	Провер.	Провер.	Провер.	Провер.	Провер.	Провер.
Утверд.	Утверд.	Утверд.	Утверд.	Утверд.	Утверд.	Утверд.	Утверд.	Утверд.	Утверд.

15.04.05.00.0000.08				Лист	№	Измен.	№
Высокоскоростной шлифовальный узел диаметры 21				Лист	№	Измен.	№
Исполн. А.И. Козлов				Исполн. А.И. Козлов			
Провер. А.И. Козлов				Провер. А.И. Козлов			
Утверд. А.И. Козлов				Утверд. А.И. Козлов			
Исполн. А.И. Козлов				Исполн. А.И. Козлов			
Провер. А.И. Козлов				Провер. А.И. Козлов			
Утверд. А.И. Козлов				Утверд. А.И. Козлов			

REPORT

At the beginning of the work, the factors that affect the accuracy of machine tools are considered, and the role of temperature deformations to ensure the accuracy of processing on metal-cutting machines is taken into account. It is observed that thermal deformations have a great influence on the accuracy of machine tools. After that, we got acquainted with the ways to reduce the temperature deformations of machine components that are currently used, and with the technical means of their implementation. After reviewing the existing systems, we identified the task of developing a water-cooled thermal stabilization system for the electric spindle. To begin with, we upgraded the existing thermal stabilization system of the spindle assembly, which included a differential circuit. Then, having identified the advantages and expediency of the combined control, we developed a more advanced system for thermal stabilization of the spindle unit.

Next, another factor of error in processing is considered – this is a tool, in our case, a cutter for turning. A cooling system was developed for it, taking into account the heating of the plate.