



**А. Н. ЛУЦКО, М. Д. ТЕЛЕПНЕВ,  
Н. А. МАРЦУЛЕВИЧ, Э. А. ПАВЛОВА**

# **ПРОЕКТИРОВАНИЕ АППАРАТА С МЕШАЛКОЙ**

**УЧЕБНОЕ ПОСОБИЕ**



**САНКТ-ПЕТЕРБУРГ  
2019**

Министерство науки и высшего образования  
Российской Федерации

---

федеральное государственное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Санкт-Петербургский государственный технологический  
институт (технический университет)» (СПбГТИ (ТУ))

---

Кафедра механики

**А. Н. ЛУЦКО, М. Д. ТЕЛЕПНЕВ,  
Н. А. МАРЦУЛЕВИЧ, Э. А. ПАВЛОВА**

# **ПРОЕКТИРОВАНИЕ АППАРАТА С МЕШАЛКОЙ**

**УЧЕБНОЕ ПОСОБИЕ**

Санкт-Петербург  
2019

Проектирование аппарата с мешалкой: учебное пособие / А. Н. Луцко, М. Д. Телепнев, Н. А. Марцулевич, Э. А. Павлова – СПб. : СПбГТИ(ТУ), 2019. – 208 с.

В пособии изложены основы проектирования химических аппаратов с механическими перемешивающими устройствами. Приведены методы расчета основных типовых элементов аппаратов этого типа по главным критериям работоспособности. В пособии помещен необходимый справочный материал для выполнения расчетов и проектирования аппарата. Пособие предназначено для студентов очной формы обучения для выполнения расчетно-графической работы и для студентов заочной формы обучения при выполнении ими курсовых проектов. Подготовку бакалавров осуществляется по направлениям с освоением профессиональных компетенций (ПК): 18.03.01 «Химическая технология» (ПК-4, ПК-19); 19.03.01 «Биотехнология» (ПК-3, ПК-11); 20.03.01 «Техносферная безопасность» (ПК-1, ПК-2, ПК-4) по учебной дисциплине: «Прикладная механика».

Сведения по проектированию и расчетные методики могут использоваться студентами при выполнении выпускных квалификационных работ.

Рисунков 18, таблиц 11, библиография – 32 названий

Рецензенты: 1. ООО «Родонит», А.И. Фомин, к.т.н., заместитель директора  
2. О.М. Флисюк, д-р техн. наук, проф., зав. кафедрой процессы и аппараты СПбГТИ(ТУ).

Издание подготовлено в рамках выполнения государственного задания по оказанию образовательных услуг Министерства науки и высшего образования России.

Утверждено на заседании учебно-методической комиссии механического факультета СПбГТИ(ТУ) 13.02.2019 г.

Рекомендовано к изданию РИС СПбГТИ(ТУ)

## ОГЛАВЛЕНИЕ

ПРЕДИСЛОВИЕ .....	5
ВВЕДЕНИЕ .....	7
1 Первый этап проектирования. Техническое задание .....	14
1.1 Общие сведения об аппаратах с мешалками .....	14
1.2 Составление технического задания. ....	18
2 Второй этап проектирования. Эскизный проект .....	21
2.1 Расчетная температура .....	21
2.2 Выбор конструкционных материалов .....	21
2.3 Определение допускаемых напряжений конструкционного материала .....	24
2.4 Определение рабочего, расчетного, пробного и условного давлений .....	25
2.5 Выбор и определение параметров комплектующих элементов .....	29
2.6 Эскиз компоновки аппарата .....	31
2.7 Оценка надежности выбранного варианта компоновки аппарата .....	38
3 Третий этап проектирования. Технический проект .....	41
3.1 Расчёт элементов корпуса аппарата .....	41
3.1.1 Определение коэффициентов прочности сварных швов и прибавки для компенсации коррозии. ....	41
3.1.2 Определение расчетной толщины стенок оболочек из условия прочности. ....	42
3.1.3 Определение исполнительной толщины стенок оболочек .....	43
3.1.4 Определение допускаемых давлений .....	45
3.1.5 Расчет монтажных цапф корпуса и опор аппарата .....	47
3.2 Элементы механического перемешивающего устройства .....	51
3.2.1 Расчет вала мешалки на прочность .....	51
3.2.2 Расчет мешалок .....	57
3.2.3 Расчет шпоночного соединения ступицы мешалки с валом .....	58
3.2.4 Расчет муфт. ....	60
3.3 Оформление технической документации .....	61
3.3.1 Пояснительная записка .....	61
3.3.2 Чертеж общего вида аппарата .....	64



4 Четвертый этап проектирования. Рабочая конструкторская документация . . . . .	70
ЛИТЕРАТУРА. . . . .	77
Приложение А Исходные данные для проектирования . . . . .	79
Приложение Б Материалы, применяемые при изготовлении аппаратов . . . . .	86
Приложение В Типы, параметры и размеры корпусов . . . . .	100
Приложение Г Типы и размеры опор аппарата . . . . .	123
Приложение Д Типы, параметры и размеры мешалок . . . . .	127
Приложение Е Типы, параметры и размеры элементов приводов . . . . .	137
Приложение Ж Взаимозаменяемость в машиностроении. Краткие сведения . . . . .	164
Приложение И Обозначение резьбовых крепежных изделий . . . . .	175
Приложение К Образец оформления титульного листа пояснительной записки курсового проекта . .	183
Приложение Л Образцы оформления чертежей аппарата . . .	184

## ПРЕДИСЛОВИЕ

За последние годы в химической промышленности наблюдается тенденция на постоянное совершенствование и усложнение технологического оборудования. Разработка нового и модернизация существующего оборудования, увеличение производительности аппаратуры и расширение номенклатуры перерабатываемых веществ сопровождаются повышением мощностей аппаратов и машин, ростом их функциональных возможностей и конструктивного многообразия, внедрением средств контроля и автоматизации. Значительно возросли интенсивность химико-технологических процессов и требования к чистоте продуктов. Указанные факторы в совокупности создают качественно новые условия функционирования объектов химической промышленности, в которых ведущая роль принадлежит инженеру-технологу.

Профессиональная деятельность инженера-технолога на современном химическом предприятии включает три круга вопросов: безопасную эксплуатацию химического оборудования, совершенствование технологических процессов на действующих установках и участие в разработке нового оборудования. Все перечисленные сферы деятельности предполагают широкое применение методов типовых расчетов оборудования как проверочного, так и проектного характера [16, 19, 20, 21]. Поэтому прочные знания в этой области во многом определяют квалификационный уровень будущего специалиста.

Курсовой проект по «Прикладной механике» – первый серьезный шаг на пути освоения студентами методов и приемов реального промышленного проектирования. Он также является первым среди других курсовых проектов по важнейшим разделам химико-технологического образования. Именно поэтому на кафедре механики, где студенты изучают «Прикладную механику», курсовому проектированию придается особое значение. Очень хотелось бы, чтобы и студенты настроились соответствующим образом, начиная работу над проектом. При этом им следует учитывать, что курсовое проектирование, являясь наиболее эффективной формой самостоятельной работы в учебном процессе, позволяет будущему технологу получить ясное представление как о собственных задачах при разработке, создании и эксплуатации технологического оборудования, так и об особенностях работы технолога как технического руководителя на производстве.

Тематика курсового проекта – аппараты с мешалками – выбрана не случайно. Аппараты с механическими перемешивающими устройствами являются самыми распространенными в химической и в смежных отраслях промышленности. Они могут служить основой аппаратурного оформления для большого числа разнообразных химико-

технологических процессов (например, перемешивания, растворения, экстракции, флотации и т. д.). С методической точки зрения такие аппараты также очень удобны, поскольку включают многие элементы (корпус, фланцы, люк, штуцеры, опоры, ротор и его привод, муфты, уплотнения), широко применяемые в машинах и аппаратах других типов. Поэтому методы расчета этих элементов, рассмотренные в настоящем учебном пособии, имеют достаточно общий характер.

Настоящее издание подготовлено для студентов заочной формы обучения и представляет собой сокращенный вариант более полного пособия «Прикладная механика» 2013 г. [17]. Оно по своей форме приближается к форме реального промышленного проектирования со всеми основными этапами, предусмотренными Государственным Стандартом. Кроме того, все методики типовых расчетов по основным критериям работоспособности скорректированы с учетом современной научно-технической литературы и последних изменений в стандартах. Алгоритмы расчетов адаптированы к уровню студенческой работы с четким изложением физических основ приложенных к объекту нагрузок. В приложении приведены все необходимые для выполнения проекта сведения справочного характера по конструкциям и размерам элементов аппаратов с мешалками, а также данные, касающиеся свойств конструкционных материалов.

Можно быть уверенным, что настоящее учебное пособие послужит основой для профессионального овладения студентами методами решения реальных инженерных задач по профилю предстоящей практической деятельности.

2019 г.

Н.А. Марцулевич

*190-летию  
Петербургского технологического  
института посвящается*

*«Все прожекты зело исправны быть  
должны, дабы казну зряшно не разорять  
и Отечеству ущерба не чинить. Кто  
прожекты станет абы как ляпать, то-  
го чина лишу и кнутом драть велю»*

*Петр I*

## **ВВЕДЕНИЕ**

### **Общие сведения о проектировании технологического оборудования**

Современное технологическое оборудование включает в себя разнообразные технические устройства: машины, аппараты и приборы. *Машина* это устройство, совершающее механические движения с целью выполнения полезной работы за счет преобразования энергии. Кинематической основой любой машины является *механизм*, т.е. устройство в виде системы тел, преобразующее движение одних тел в целесообразное движение других тел. Под термином *аппарат* в химической промышленности понимают устройство, в котором технологический процесс осуществляется за счет физико-химических превращений. Некоторые технологические процессы протекают при повышенных давлениях и температурах обрабатываемых сред, которые могут быть агрессивными, токсичными, взрывоопасными, пожароопасными, включать в себя дорогостоящие компоненты. Такие характеристики технологических процессов требуют повышенной безопасности и надежности оборудования.

Аппараты обычно оснащаются различными теплообменными устройствами, машинами, механизмами, а также приборами и устройствами, выполняющими функции контроля, измерения, регулирования и управления. Конструкционные материалы, используемые для изготовления элементов оборудования, должны обеспечивать прочность, коррозионную стойкость и термостойкость в условиях эксплуатации.

*Проектирование* – это разработка общей конструкции изделия.

*Конструирование* – это определение формы и размеров всех элементов общей конструкции изделия.

*Проект* – комплекс текстовых и графических документов, полученных в результате проектирования и конструирования, и предназначенных для изготовления, контроля и эксплуатации изделия.

При проектировании технологического оборудования необходимо обеспечить его высокое *качество*, т.е. совокупность свойств, обуславливающих функционирование оборудования в соответствии с его назначением. Качество характеризуется: технологической эффективностью, экономичностью, надежностью, удобством, простотой в обслуживании и эксплуатации, и другими свойствами. *Технологическая эффективность* устройства определяется эффективностью осуществляемого технологического процесса. *Экономичность* определяется общими затратами средств на проектирование, изготовление, монтаж, эксплуатацию и утилизацию оборудования после истечения его срока службы. *Надежность* – это свойство изделия выполнять заданные функции, сохраняя свои эксплуатационные показатели в заданных пределах в течение заданного срока службы (в химической промышленности обычно 10 – 15 лет).

При проектировании необходимо соблюдать последовательность проведения проектных работ и правила оформления технической документации (пояснительной записки, чертежей).

### **Нормативно-техническая документация для аппаратуры, работающей под давлением**

Особое внимание при проектировании, изготовлении и эксплуатации уделяется аппаратам, работающим под давлением к которым, в частности, относятся аппараты с мешалками. На всех стадиях создания и эксплуатации эти аппараты должны удовлетворять таким документам как «*Правила устройства и безопасной эксплуатации сосудов, работающих под давлением*» (*Правила Ростехнадзора России*) [4], обязательные для всех предприятий и организаций, проектирующих, изготавливающих и эксплуатирующих сосуды, работающие под давлением; государственные стандарты (ГОСТ), имеющие силу закона; и другая нормативно-техническая документация, распространяемая на данную отрасль или завод (отраслевой стандарт – ОСТ, альбом типовых конструкций – АТК; технические условия – ТУ; руководящий документ – РД; методические указания – МУ; стандарт предприятия – СТП или организации – СТО и прочее).

Правила Ростехнадзора (Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору) определяют требования к устройству, изготовлению, монтажу, ремонту, испытаниям и эксплуатации сосудов, работающих под давлением. За нарушения правил Ростехнадзора предусматривается личная ответственность должностных лиц и инженерно-технических работников.

Правила Ростехнадзора распространяются на сосуды, работающие под избыточным давлением свыше 0,07 МПа без учета гидростатического давления среды. Такие сосуды подлежат обязательной регистрации в органах Ростехнадзора. Сосуды, устанавливаемые на открытых площадках или в отдельных зданиях, маркируются и оснащаются трубопроводной арматурой (вентили, краны, задвижки, запорные и предохранительные клапаны, и т.п.), приборами для измерения давления, температуры, уровня жидкости.

### **Последовательность проектирования**

Качество создаваемого оборудования закладывается на стадии проектирования. Последовательность проектирования должна исключить возможные ошибки и обеспечить разработку наиболее оптимального варианта конструкции. Правила проектирования и оформления конструкторской документации стандартизованы. Согласно ГОСТ 2.103-68 установлены следующие этапы проектирования нового оборудования: техническое задание, техническое предложение (выполняется при проектировании оборудования из нестандартных элементов), эскизный проект, технический проект, рабочая конструкторская документация.

Инженер химик-технолог участвует в проектировании современного технологического оборудования в качестве *заказчика*, который формулирует задание на проектирование. Задание на проектирование базируется на параметрах технологического процесса для соответствующего химического производства. Технологические расчеты выполняются на основе методик таких учебных дисциплин, как общая химическая технология, процессы и аппараты и др. С заказчиком обсуждаются и согласовываются все принципиальные решения на всех этапах работ. Кроме того, химик-технолог, работая в проектной организации или на промышленном предприятии, в качестве *исполнителя* участвует в разработке и изготовлении материалов, уплотнительных элементов, покрытий, насадок, катализаторов и многих других изделий для создаваемого аппарата.

*Техническое задание* на проект содержит общие сведения о назначении, рабочих параметрах агрегата, свойствах рабочей среды, месте монтажа (помещение или открытая площадка), эксплуатационных требованиях, сроках проектирования, количестве оборудования, изготавливаемого по данному заданию.

*Эскизный проект* (ГОСТ 2.119-73, [15]) предусматривает обоснование выбора и разработку одного или нескольких вариантов изделия,

и дает общее представление об устройстве и принципе действия агрегата, его параметрах, габаритах и стоимости.

*Технический проект* (ГОСТ 2.120-73, [15]) опирается на результаты эскизного проекта и более подробно охватывает расчет и конструирование большинства деталей и узлов. После технико-экономического анализа заказчиком окончательно утверждается оптимальный вариант изделия.

*Рабочая конструкторская документация* (ГОСТ 2.109-73, [15]) - заключительная стадия выполнения проекта, предусматривает разработку сборочных чертежей машины или аппарата, их сборочных единиц и деталей; спецификации на материалы, стандартные и покупные изделия; чертежи на упаковку и транспортировку; технические условия на изготовление, приемку, транспортировку, монтаж, испытания и т.д.

На заводе изготовителе проектно-конструкторская документация изучается и используется для подготовки производства, т.е. для приобретения необходимых материалов, комплектующих, наладки заводского оборудования, и для организации процесса изготовления спроектированного оборудования.

### **Цель и задачи курсового проектирования при изучении прикладной механики**

Выполнение проекта является заключительным этапом обучения студентов по учебной дисциплине *"Прикладная механика"*.

Цель курсового проектирования – развитие навыков практического применения знаний, полученных студентами в ходе изучения цикла общепромышленных дисциплин.

С учетом характера будущей инженерной деятельности, в данном пособии темой курсового проекта предлагается *"Проектирование аппарата с мешалкой"*. Аппарат с мешалкой – один из наиболее распространенных видов химико-технологического оборудования. Он состоит из типовых элементов, встречающихся во многих аппаратах и машинах различного назначения: корпус, привод, теплообменные устройства, фланцевые соединения, уплотнения валов и др. Методики расчетов, используемые при проектировании аппарата с мешалкой, типичны, т.е. являются общими для многих других видов оборудования.

При выполнении курсового проекта студенты решают следующие основные задачи:

- а) освоение основ методики проектирования;
- б) грамотное использование общероссийских и отраслевых нормативных документов (ГОСТы, ОСТы, правила Ростехнадзора и т.п.),

касающихся устройства, выбора рабочих параметров и правил эксплуатации оборудования предприятий химической промышленности;

в) выбор конструкционных, уплотнительных материалов, выбор типовых элементов аппарата и оценка его надежности;

г) выполнение проектных и проверочных расчетов типовых элементов по главным критериям их работоспособности, позволяющих выявить соответствие аппарата требованиям эксплуатации (при этом особое внимание следует обращать на вскрытие резервов работоспособности стандартизованных элементов и повышение производительности оборудования);

д) конструктивное оформление аппарата в соответствии с заданными технологическими параметрами процесса;

е) грамотное обоснование и защита принятых технических решений во время сдачи руководителю курсового проекта.

Курсовой проект является самостоятельной работой студента, который несет полную ответственность за ее качество (правильность расчетов, оформление пояснительной записки и чертежей, четкие объяснения при защите проекта) и своевременность выполнения всех этапов работ. Преподаватель – руководитель проекта определяет степень завершенности всех этапов проектирования и оценивает готовность проекта к защите. Этапы проектирования устанавливаются в соответствии с кафедральным календарным планом изучаемой учебной дисциплины.

### **Этапы курсового проектирования**

Проект выполняется поэтапно. Этапы и содержание работы над курсовым проектом в основном соответствуют этапам проектирования реального оборудования. Из курсового проектирования исключен этап составления *технического предложения* т.к. в соответствии с заданием проектируется оборудование, состоящее в основном из стандартных и типовых элементов.

Ниже приводится краткая информация о видах работ на каждом этапе курсового проектирования.

**1-й этап** – оформление *технического задания* (ТЗ), которое служит исходным документом для разработки проекта. Техническое задание оформляется студентом на основании исходных данных, выданных ему руководителем (по фамилии и имени студента и по последним двум цифрам номера зачетной книжки). В техническом задании на курсовое проектирование указываются: назначение, рабочие параметры аппарата (Приложение А), устанавливается срок службы аппарата; объем и сроки выполнения этапов проекта. Перед составлением технического задания



следует ознакомиться с общими сведениями об аппаратах с мешалками, усвоить общие задачи и последовательность проектирования.

**2-й этап** – соответствует разработке *эскизного проекта*. На данном этапе выбирается материал корпуса аппарата, стандартные и типовые комплектующие элементы по справочным данным пособия, в завершении выполняется упрощенное изображение всего аппарата в виде эскиза компоновки, который в дальнейшем используется для выполнения последующих расчетов, составления расчетных схем.

**3-й этап** – соответствует разработке *технического проекта*. Является наиболее объемным этапом работы, который завершается оформлением пояснительной записки. В пояснительную записку включаются проектные и проверочные расчеты типовых элементов в соответствии с действующими методиками, помещенными в данное пособие. Все расчеты, выполняются в системе СИ. Каждая формула должна быть записана в общем виде; после знака равенства в формулу подставляются в системе СИ исходные величины (не допускаются сокращения и упрощения в численной записи формулы); приводится результат вычислений с точностью до трех значащих цифр, указывается размерность. По результатам проектных расчетов определяются геометрические размеры типовых элементов, а по проверочным расчетам определяется возможность использования комплектующих элементов в рабочих условиях.

**4-й этап** – соответствует разработке фрагментов *рабочей конструкторской документации*. В курсовом проекте предусматривается выполнение сборочного чертежа узла изделия с соответствующей спецификацией и рабочих чертежей 2-х деталей из проектируемого узла.

Чертежи выполняются в соответствии с требованиями ЕСКД. Объемы расчетов и чертежей должны соответствовать данному пособию.

**5-й этап** – защита курсового проекта, материал которого представляется руководителю проекта в электронном и бумажном виде. Чертежи выполняются в графическом редакторе «КОМПАС-3D» и сохраняются в редакторе PDF, а пояснительная записка в текстовом редакторе «Microsoft Word».

### **Объем курсового проекта и правила его защиты**

Итогом выполнения курсового проекта являются следующие документы:

1) пояснительная записка (ПЗ) – единая для всех этапов проектирования;

2) эскиз общего вида аппарата с мешалкой (или чертеж общего вида, который выполняется по указанию преподавателя);

3) сборочный чертеж мешалки (СБ);

4) рабочие чертежи ступицы и лопасти мешалки;

5) спецификация к сборочному чертежу мешалки.

Утвержденные руководителем чертежи и пояснительная записка являются допуском для защиты проекта. Защита проекта студентом заключается в кратком (до 5 минут) сообщении и ответах на вопросы руководителя проекта по представленным материалам.

Сообщение заранее готовится, оно состоит из трех частей: введения, основной части, заключения.

Во введении рассказывают о назначении аппарата и цели выполненного данного проекта (см. техническое задание). В основной части излагают суть решения задач на каждом этапе проектирования; рассказывают об устройстве, принципе действия конкретного аппарата, выборе типовых элементов, о результатах проектных и проверочных расчетов выполненных по критериям работоспособности. В заключение сообщается информация о надежности и технических характеристиках спроектированного в соответствии с ТЗ аппарата, о его технологических резервах по давлению, температуре, мощности и другим параметрам.

При ответах на вопросы студент должен уметь пояснять суть всех основных расчётных методик.

## 1 ПЕРВЫЙ ЭТАП ПРОЕКТИРОВАНИЯ. ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ

В инженерной практике составлению технического задания предшествует сбор информации о назначении, устройстве и принципе действия, области применения, условиях работы, основных параметрах и методиках расчета аналогичных изделий. Особое внимание уделяют подбору и изучению соответствующей технической литературы, нормативной документации и анализу ранее выполненных проектов, с учетом опыта эксплуатации оборудования. Ниже представлены краткие сведения о назначении и устройстве аппаратов с мешалками.

### 1.1 Общие сведения об аппаратах с мешалками

Аппараты с мешалками широко используют в химической и многих других отраслях промышленности. В аппаратах этого типа проводятся многие гидромеханические и массообменные процессы в одно- и многофазных средах (растворах, эмульсиях, суспензиях). В качестве рабочей среды используются вещества с различными свойствами, в том числе агрессивные, взрывоопасные, пожароопасные и токсичные. Процессы обычно проводятся при повышенных температурах, при избыточном давлении или вакууме. Перемешивание обеспечивает интенсификацию тепло- и массообменных процессов и часто является необходимым условием эффективного течения химических реакций [1, 3, 12]. Конструкция аппарата должна обеспечивать его надежную работу в заданном технологическом режиме в течение заданного срока службы. Химические аппараты подлежат периодическим проверкам и планово-предупредительным ремонтам.

Аппараты могут быть вертикальными и горизонтальными. На рисунке 1 изображено несколько конструкций вертикальных аппаратов. Основными элементами аппарата являются *корпус* и *механическое перемешивающее устройство*. В общем случае оболочка корпуса состоит из цилиндрической части, соединенной с днищем и крышкой, которые имеют эллиптическую, коническую, полусферическую или плоскую форму. Корпуса аппаратов стандартизованы (ГОСТ 9931-85). Типы и основные параметры вертикальных аппаратов с мешалками объемом от 0,01 до 100 м<sup>3</sup> регламентируются ГОСТ 20680-2002\*. Установлен ряд номинальных объемов и соответствующие значения высоты корпуса  $H$  и его внутреннего диаметра  $D$ .

---

\* Здесь и далее данные из нормативных документов приводятся выборочно в соответствии с тематикой курсовых проектов.

Под *корпусом* аппарата понимают герметически закрытый сосуд, находящийся под давлением, в котором осуществляется перемешивание. Корпусы вертикальных аппаратов, выполняемые по ГОСТ 9931-85, могут быть двух типов: **ВЭЭ** (вертикальный, эллиптическое днище, эллиптическая крышка) – рисунок 1 а, б, в; **ВКЭ** (вертикальный, коническое днище, эллиптическая крышка) – рисунок 1, г. Цилиндрическая оболочка 1 корпуса называется *обечайкой*. Корпусы изготавливают двух исполнений: цельносварные (рисунок 1, б, в) или с отъемной крышкой 2 (рисунок 1, а, г).

В последнем случае для крепления крышки используется фланцевое соединение 3, которое обеспечивает герметичность разъемного соединения крышки с корпусом. Отъемная крышка позволяет проводить монтажные и ремонтные работы внутри корпуса. В приводимых примерах днища корпусов приварные. Переход от цилиндрической части корпуса к коническому 5 или эллиптическому 4 днищу должен быть плавным, что обеспечивается при помощи специального элемента (участка оболочки) – *отбортовки*. Отбортовка, состоящая из цилиндрического участка и торового сегмента у конуса, уменьшает дополнительные напряжения, возникающие в зоне сопряжения оболочек различной формы, и позволяет вынести из этой зоны сварной шов, прочность которого обычно ниже, чем прочность оболочки в других зонах [8].

Для подачи или отвода тепла, а, следовательно, и для поддержания заданной температуры рабочей среды корпус аппарата оснащается теплообменными устройствами – наружными в виде теплообменной рубашки 6 (рисунок 1, б, в, г), или внутренними в виде змеевика 7 (рисунок 1, а). В зависимости от особенностей процесса аппарат может оснащаться сразу несколькими теплообменными устройствами. Для соблюдения правил техники безопасности, и уменьшения потерь тепла корпус обогреваемых аппаратов может покрываться теплоизоляцией. Для устройства теплоизоляции на корпусе крепится стальная сетка, поверх которой наносится асбоцементная обмазка определенной толщины (примерно 50 мм). Теплоизоляция может наноситься в несколько слоев.

Для загрузки исходных компонентов, отвода готовых продуктов, подвода теплоносителя, ввода датчиков контрольно-измерительных приборов используются штуцеры, расположенные на крышке, обечайке и днище (на рисунок 1 позиции штуцеров не обозначены). Простейший штуцер состоит из патрубка (отрезка трубы) и фланца. Люк 8 (рисунок 1, г) в аппаратах с отъемной крышкой используется для осмотра мешалки и других внутренних устройств. В аппаратах с приварной крышкой (рисунок 1, б, в) люк-лаз 8 диаметром не менее 400 мм предназначен для проникновения человека внутрь корпуса с целью проведения мон-

тажа мешалки и ремонтных работ. В корпусе аппарата могут устанавливаться различные внутренние устройства, например, четыре отражательных перегородки 9 (рисунок 1, г), которые предотвращают образование центральной воронки в перемешиваемой среде и интенсифицируют процесс перемешивания; труба передавливания 10 (рисунок 1, б),

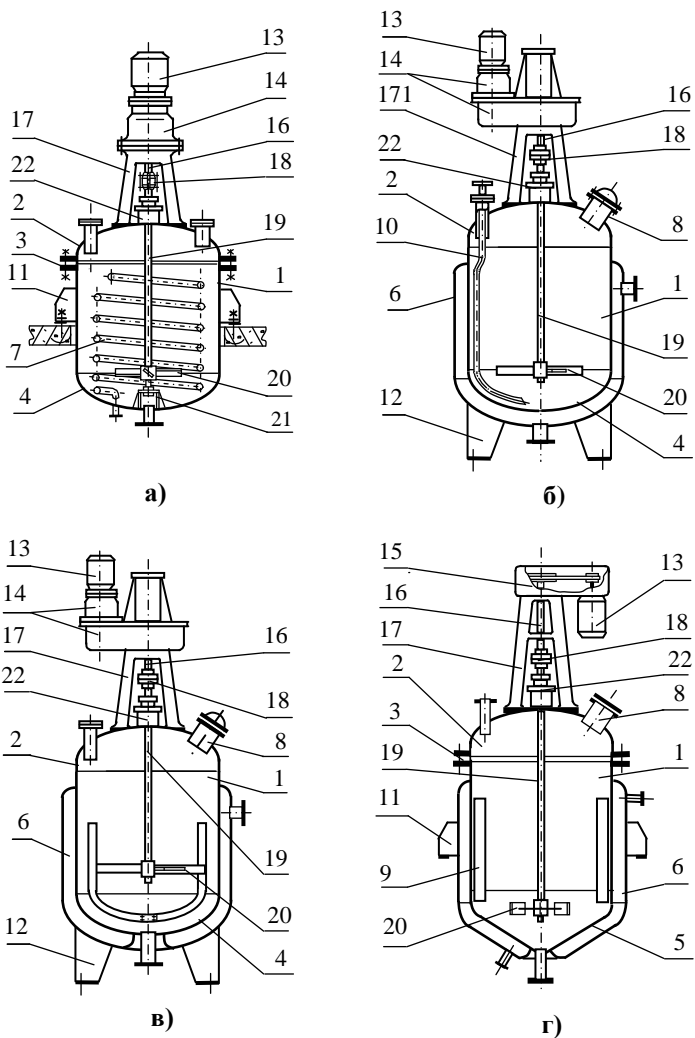


Рисунок 1 - Конструкции аппаратов

которая используется для вывода продуктов через крышку аппарата за счет избыточного давления в корпусе. Аппараты устанавливаются на фундамент при помощи опор-лап 11 (рисунок 1, а, б, в) или при помощи опор-стоек 12 (рисунок 1, б). Применение того или иного вида опор диктуется высотой цеха (стандартная высота помещения 6 м) или же особенностями размещения технологической аппаратуры на нескольких уровнях цеха.

Механические перемешивающие устройства (МПУ) всех аппаратов (рисунок 1) представляют собой конструкции, состоящие из привода, и вала с мешалкой. Большинство элементов механического перемешивающего устройства стандартизовано. *Привод* перемешивающего устройства аппаратов состоит из электродвигателя, механической передачи в виде редуктора (зубчатой передачи) или ременной передачи, опорной стойки привода и уплотнения вала. *Электродвигатель* 13 преобразует электрическую энергию в механическую. *Редуктор* 14 (рисунок 1, а, б, в) или ременная передача 15 (рисунок 1, г) передают вращательное движение от вала электродвигателя с понижением скорости вращения и увеличением крутящего момента на *выходном валу* 16 привода [31]. *Стойка привода* 17, объединяя части привода в единый агрегат, служит для крепления элементов МПУ. Выходной вал редуктора или мотор-редуктора при помощи *муфты* 18 продольно-разъемной (рисунок 1, а) или фланцевой (рисунок 1, б, в, г) соединяется с *валом* 19. На конце вала установлена *мешалка* 20: трехлопастная (рисунок 1, а), лопастная (рисунок 1, б), рамная (рисунок 1, в), турбинная открытая (рисунок 1, г). Мешалка при вращении передает механическую энергию перемешиваемой среде. Мощность, затрачиваемая на перемешивание (формула дана для сведения), Вт:

$$N_m = K_N \rho_c n^3 d_m^5,$$

где  $K_N = f(Re_\kappa)$  – критерий мощности, который зависит от типа мешалки, соотношения размеров мешалки и сосуда, типа внутренних устройств;  $Re_\kappa = (\rho_c n d_m^2)/\mu$  – центробежный критерий Рейнольдса;  $\rho_c$  – плотность перемешиваемой среды  $\text{кг/м}^3$ ;  $n$  – частота вращения,  $\text{об/с}$ ;  $d_m$  – диаметр мешалки, м;  $\mu$  – динамическая вязкость среды,  $\text{Па}\cdot\text{с}$ .

Мощность перемешивания, приходящаяся на единицу объема – один из показателей интенсивности перемешивания.

Валы мешалок устанавливаются в стойках привода при помощи *подшипников* качения (на рисунке 1 не показаны). В некоторых случаях для повышения виброустойчивости вала применяется концевой подшипник скольжения 21 (рисунок 1, а), на который опирается нижний конец вала. Герметичность вращающегося вала обеспечивается уплот-

нением 22 (сальниковым или торцовым), которое крепится на крышке аппарата [9]. Тип уплотнения зависит от величины давления в аппарате и от свойств рабочей среды.

Соответствие элементов и узлов аппарата критериям работоспособности, таким как прочность, долговечность, устойчивость, коррозионная стойкость, термостойкость, герметичность, виброустойчивость и др., обеспечивается при проектировании правильным выбором материала и конструкции типовых элементов, выполнением проектных, проверочных расчетов, конструированием [29, 31].

## 1.2 Составление технического задания и календарного плана

На практике техническое задание на типовое и нестандартное оборудование составляется инженером-технологом совместно с проектировщиком. Параметры корпуса, мешалки, технологического процесса, и характеристики рабочей среды задаются в качестве исходных данных для проектирования (Приложение А) для студентов заочной формы обучения определяются по варианту задания (Таблица А.1, две последние цифры зачетной книжки). Давление в корпусе определяется по Таблице А.2 по первым буквам фамилии и имени студента, указанным в зачетной книжке. Срок службы аппарата  $T_a$  принимается – 10 лет. В корпусе для обогрева или охлаждения рабочей среды используется рубашка или змеевик (3), а для уменьшения центральной воронки вращающейся среды могут устанавливаться симметрично по кругу отражательные перегородки (П). После ознакомления с исходными данными на проектирование они вносятся студентом в бланк технического задания.

При выполнении проекта вторым важным документом, организующим предстоящую работу, является календарный план. Календарный план составляется и утверждается совместно «Исполнителем» и «Заказчиком». В календарном плане расписываются этапы работ, их содержание и форма отчетности. В курсовом проекте эти два документа объединены в рамках технического задания. Продолжительность этапов проектирования для заочной формы обучения носит рекомендательный характер и устанавливается в соответствии с календарным планом учебной дисциплины прикладная механика. Форма бланка технического задания приведена ниже (1 лист формата А4).

### Техническое задание (ТЗ) на курсовой проект по прикладной механике

**Тема:** проектирование аппарата с мешалкой.

**Номер варианта:** \_\_\_\_ (последние две цифры номера зачетной книжки)

**Цель проекта:** Разработка в соответствии с исходными данными эскизного, технического проектов и фрагментов рабочей конструкторской документации на типовой аппарат с механическим перемешивающим устройством, предназначенный для проведения процесса перемешивания в жидкофазной системе при заданных технологических параметрах и свойствах рабочей среды, с обеспечением работоспособности в рабочих условиях в течение 10 лет непрерывной работы.

### Исходные данные для проектирования\*

Наименование	Обозначение	Величина	Размерность
Параметры корпуса			
Корпус с теплообменным устройством		—	—
Внутренний диаметр	$D$		мм
Номинальный объем	$V$		$\text{м}^3$
Внутренние устройства		—	—
Параметры мешалки			
Тип мешалки		—	—
Диаметр мешалки	$d_m$		мм
Частота вращения	$n$		об/мин
Мощность на перемешивание	$N_m$		кВт
Технологические параметры			
Избыточное давление в корпусе**	$p_i$		МПа
Давление в рубашке	$p_{руб}$		МПа
Уровень жидкости	$H_c$		м
Температура среды	$t_c$		$^{\circ}\text{C}$
Параметры среды			
Основной компонент		—	—
Плотность	$\rho_c$		$\text{кг/м}^3$
Концентрация	$C_c$		массовые %

\* Приложение А, таблица А.1. \*\* Приложение А, таблица А.2.

### Перечень графического материала и объем листов

- 1 Эскизный проект (чертеж аппарата с мешалкой) – 2 листа (формат А2 и А3).
- 2 Рабочая конструкторская документация (сборочный чертеж мешалки со спецификацией и чертежи двух деталей: ступица и лопасть) – 4 листа формата А4 (для чертежа рамной мешалки допускается формат А3).

Дата выдачи задания \_\_\_\_\_ Дата представления проекта к защите \_\_\_\_\_

Руководитель \_\_\_\_\_  
(должность) (подпись, дата) (инициалы, фамилия)

Принял к выполнению студент \_\_\_\_\_  
подпись, дата) (инициалы, фамилия)



**Календарный план выполнения проекта**  
(рекомендуемый)

Этапы проектирования. Содержание этапов	Срок выпол- нения	Отчетность
<b>1 Техническое задание</b> 1.1 Ознакомление с назначением и устройством аппарата 1.2 Заполнение бланка технического задания	1-я неде- ля	Заполненный бланк ТЗ
<b>2 Эскизный проект</b> 2.1 Определение расчетной температуры 2.2 Выбор конструкционных материалов 2.3 Определение допускаемых напряжений 2.4 Определение рабочего, расчетного, пробного и условного давлений 2.5 Выбор комплектующих элементов 2.6 Выполнение эскиза компоновки 2.7 Оценка надежности аппарата	3-я неде- ля	Чертеж компонов- ки аппарата
<b>3 Технический проект</b> 3.1 Расчет элементов корпуса аппарата 3.1.1 Определение коэффициентов прочности сварных швов и прибавки для компенсации коррозии 3.1.2 Определение расчетной толщины стенок оболочек из условия прочности 3.1.3 Определение исполнительной толщины стенок оболочек 3.1.4 Определение допускаемых давлений 3.1.5 Опоры и монтажные цапфы аппарата 3.2 Расчет элементов механического перемешивающего устройства 3.2.1 Расчет на прочность вала мешалки 3.2.2 Расчет мешалки 3.2.4 Шпоночные соединения. Муфты 3.3 Оформление технической документации	9-я неде- ля  12-я неде- ля	Пояснитель- ная записка  (Чертеж общего вида выполняется по указанию преподава- теля)
<b>4 Рабочая конструкторская документация</b> 4.1 Конструирование сборочной единицы аппарата 4.2 Заполнение спецификации 4.3 Конструирование деталей	13-я неде- ля	Чертеж узла аппарата, чертежи деталей
<b>5 Защита проекта</b> 5.1 Сдача выполненного проекта на проверку 5.2 Подготовка к защите проекта	15-я неде- ля	Защита проекта

## 2 ВТОРОЙ ЭТАП ПРОЕКТИРОВАНИЯ. ЭСКИЗНЫЙ ПРОЕКТ

### 2.1 Расчетная температура

Механические характеристики материалов существенно изменяются в зависимости от температуры.

*Расчетная температура стенки* – температура, при которой определяются физико-механические характеристики, допускаемые напряжения и проводится расчет на прочность элементов сосуда. Расчетная температура определяется на основании тепловых расчетов или результатов испытаний.

При положительных температурах за расчетную температуру стенки элемента аппарата следует принимать наибольшее значение температуры стенки, а при отрицательных – необходимо принимать  $t_p = + 20\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

На практике часто (в том числе и в курсовом проектировании) за расчетную температуру принимают наибольшую температуру рабочей среды, но не ниже  $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

Таким образом,

$$t_p = t_c , \quad (1)$$

где  $t_p$  – расчетная температура стенок корпуса аппарата,  $^{\circ}\text{C}$ ;  $t_c$  – температура среды, соприкасающейся со стенкой аппарата,  $^{\circ}\text{C}$ .

Для элементов аппарата, не имеющих контакта с рабочей средой или теплоносителем,  $t_p = 20\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

### 2.2 Выбор конструкционных материалов

Экономичность изготовления и надежность в работе аппарата с мешалкой в значительной мере зависят от правильного выбора материалов (краткие сведения о конструкционных материалах помещены в приложении Б). В курсовом проекте материалы подбираются для тех элементов, которые рассчитываются по главным критериям работоспособности. Подбор материалов производится по двум таблицам приложения: во-первых, по таблице коррозионной стойкости Б.1 и, во-вторых, по таблице применимости материалов, учитывающей технологию изготовления тех или иных элементов аппарата из стандартного проката Б.2.

Первоначально подбирается основной конструкционный материал, т.е. для корпуса, теплообменной рубашки (типовая теплообменная рубашка изготавливается из стали СтЗсп5) или змеевика, опор корпуса, вала, мешалки. Материалы для изготовления болтов, шпилек и других элементов следует выбирать при выполнении соответствующего раздела. По марке материала определяют *допускаемые напряжения*  $[\sigma]$  (раздел 2.3).

В соответствии с условиями эксплуатации рассматриваемого элемента аппарата устанавливаются следующие характеристики материала по коррозионной и тепловой стойкости:

- а) скорость коррозии в рабочей среде **П**, мм/год (таблица Б.1);
- б) предельные значения температуры по условиям морозостойкости и термостойкости  $t_{\min}$ ;  $t_{\max}$  (таблица Б.4).

Основным конструкционным материалом корпусов аппаратов, работающих под давлением в коррозионной среде и при высокой температуре, являются стали, отличающиеся высокой прочностью, коррозионной стойкостью и термостойкостью [24].

При выборе марки стали следует учитывать, прежде всего, ее коррозионную стойкость в рабочей среде. Рекомендуется применять углеродистые или легированные стали со скоростью коррозии не более 0,1 мм/год, т.е. *вполне стойкие* (в таблице Б.1 они обозначены буквой **В**). Если этому условию удовлетворяют несколько марок сталей, то следует применить более дешёвый материал (в таблице Б.1 марки сталей упорядочены по себестоимости, чем левее расположена сталь, тем она дешевле).

Ниже приведены сведения по материалам, которые не являются обязательными при выполнении курсового проекта.

Для экономии дефицитных и дорогостоящих высоколегированных сталей допустимо использование двухслойных сталей (углеродистая сталь с защитным слоем из легированной стали). Возможно, также применение углеродистых сталей марок СтЗ, 20К и т.п. с защитным покрытием из цветных металлов, пластмасс, эмали (если они обладают достаточной тепловой и коррозионной стойкостью в контакте с заданной рабочей средой аппарата).

Пластмассы и цветные металлы используют для изготовления уплотнительных элементов, вкладышей подшипников скольжения. Дополнительные сведения по выбору материалов можно найти в литературе [1, 13, 14].

Поскольку одна часть элементов аппарата взаимодействует с рабочей средой (которая может быть агрессивной), а другая часть не взаимодействует – марки стали для этих групп элементов могут быть по-

добраны разными. Однако для исключения электрохимической коррозии в сварных швах следует избегать соединения элементов из различных материалов, находящихся в среде электролита. Поэтому, свариваемые друг с другом корпус и рубашку, включая опоры, изготавливают из материала одной марки. Если таким материалом оказывается легированная сталь, то существенно возрастает стоимость аппарата.

Коррозия не возникает в сварных швах, соединяющих оболочку корпуса из двухслойной стали (например, внутренний защитный – плакирующий слой из легированной стали марок 12Х18Н10Т, или 10Х17Н13М2Т, или 06ХН28МДТ, а наружный из углеродистой стали марок Ст3сп, 20К или 16ГС) с рубашкой из углеродистой стали. В этом случае сварка идет по углеродистой стали, электролит не имеет контакта со сварным швом, соединяющим два разнородных материала, а расход легированной стали сокращается. Для уменьшения коррозионного воздействия среды в нее, если это допустимо, могут добавляться ингибиторы (замедлители) коррозии. Контактную коррозию уменьшают подбором соответствующих материалов. Так, если оболочку из легированной стали соединить с рубашкой через промежуточный элемент рубашки, выполненный из той же стали, что и корпус, то контактная коррозия не будет угрожать корпусу аппарата.

Выбор материала должен быть обоснован. Марки материалов, выбранные по таблицам Б.1 и Б.2, а также значения нормативных допускаемых напряжений по таблице Б.3 при расчетной температуре  $\sigma_n$  и при температуре 20 °С –  $\sigma_{n20}$  следует занести в таблицу 1 (таблица заполняется по мере выполнении расчетов и помещается в ПЗ).

### Примеры обозначения однослойных марок сталей:

углеродистая сталь – сталь Ст3сп ГОСТ 380-2005;

легированная (нержавеющая) сталь – сталь 12Х18Н10Т ГОСТ 5632-72.

Таблица 1 – Основные материалы и допускаемые напряжения элементов аппарата

Элементы аппарата	Марка материала, ГОСТ	Допускаемые напряжения, МПа			
		$\sigma_n$	$[\sigma]$	$\sigma_n 20$	$[\sigma]_{20}$
Есть контакт с рабочей средой					
1. Корпус:					
а) обечайка, днище, крышка;					
б) люк, штуцеры;					
в) прокладка уплотнительная.		—	—	—	—

Продолжение таблицы 1

Элементы аппарата	Марка материала, ГОСТ	Допускаемые напряжения, МПа			
		$\sigma_n$	$[\sigma]$	$\sigma_{n20}$	$[\sigma]_{20}$
<b>2. Внутренние устройства</b>		–	–	–	–
<b>3. Мешалка</b>					
<b>4. Вал</b>					
<b>5. Крепежные изделия мешалки:</b>					
а) болт, гайка, шайба;		–	–	–	–
б) шпонка					
Нет контакта с рабочей средой					
<b>6. Рубашка</b>					
<b>7. Опоры аппарата, цапфы</b>					
<b>8. Стойка привода</b>		–	–	–	–
<b>9. Крепежные изделия:</b>					
а) для фланцевых соединений (болт);		–	–	–	–
б) для муфты вала (шпонка);		–	–	–	–
в) для уплотнения (шпилька).		–	–	–	–
Примечание – Прочерком отмечены допускаемые напряжения, неиспользуемые в расчетах по данному пособию					

### 2.3 Определение допускаемых напряжений конструкционного материала

На основании ГОСТ Р 52857.1-2007 допускаемые напряжения материала корпуса для рабочих и нормальных (20 °С) условий определяются соответственно по формулам:

$$[\sigma] = \eta_1 \eta_2 \sigma_n, \quad (2a)$$

$$[\sigma]_{20} = \eta_1 \eta_2 \sigma_{n20}, \quad (2б)$$

где  $\sigma_n$ ,  $\sigma_{n20}$  – нормативное допускаемое напряжение соответственно при расчетной температуре и при температуре 20 °С для выбранного материала, Па (таблица Б.3);  $\eta_1$  – поправочный коэффициент, учитывающий вид заготовки рассчитываемого элемента ( $\eta_1 = 1$  для листового проката,  $\eta_1 = 0,8$  для отливок, подвергающихся индивидуальному кон-

тролю неразрушающими методами);  $\eta_2$  – поправочный коэффициент, учитывающий степень опасности рабочей среды при расчете элементов корпуса под давлением (для взрывоопасных и пожароопасных сред  $\eta_2 = 0,9$ , в остальных случаях  $\eta_2 = 1$ ). Опасность среды оценивается студентом самостоятельно, исходя из знаний, полученных по химии.

Так как для изготовления сварного корпуса аппарата, рубашки, опор, лопасти мешалок и других элементов используются заготовки из листового проката, то  $\eta_1 = 1$ .

Допускаемые напряжения для материалов других элементов аппарата следует принять:

$$[\sigma] = \sigma_n. \quad (2в)$$

Нормативные допускаемые напряжения основных конструкционных материалов при расчетной температуре  $\sigma_n$  и при температуре  $20\text{ }^{\circ}\text{C}$  –  $\sigma_{n\ 20}$  следует определить по таблице Б.3, а также допускаемые напряжения для расчетной температуры  $t_p$  –  $[\sigma]$  и для температуры  $20\text{ }^{\circ}\text{C}$  –  $[\sigma]_{20}$  по формуле (2). Результаты вычислений следует занести в таблицу 1 (см. раздел 2.2).

## 2.4 Определение рабочего, расчетного, пробного и условного давления

Рабочее, расчетное, пробное и условное давление относятся к параметрам, которые подлежат предварительному определению. Данные параметры устанавливаются в соответствии с ПБ 03-576-03 (Правила устройства и безопасной эксплуатации сосудов, работающих под давлением) и ГОСТ Р 52857.1–2007.

*Рабочее давление*  $P_{\text{раб}}$  – максимальное внутреннее избыточное давление, возникающее при нормальном протекании рабочего процесса без учета гидростатического давления среды и без учета допустимого кратковременного повышения давления во время срабатывания предохранительного клапана или других предохранительных устройств. Таким образом, рабочее давление – это избыточное давление газа над слоем жидкости, которое указывается в ТЗ, т.е.:

$$P_{\text{раб}} = P_n. \quad (3)$$

*Гидростатическое давление*  $P_r$  – максимальное давление столба жидкости в аппарате, Па:

$$P_r = \rho_c g H_c, \quad (4)$$

где  $\rho_c$  – плотность рабочей среды  $\text{кг/м}^3$ ;  $g = 9,8$  – ускорение свободного падения,  $\text{м/с}^2$ ;  $H_c$  – уровень жидкости в аппарате, м.

Гидростатическое давление обычно существенно меньше рабочего. Относительную, в процентах, величину гидростатического давления  $\Delta_p$  рассчитывают по формуле:

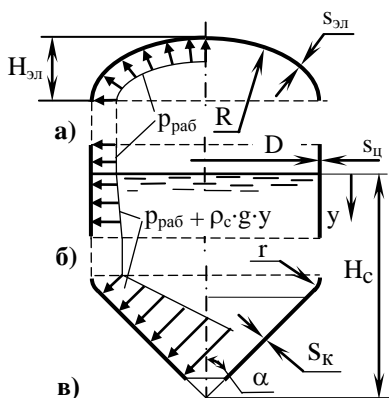
$$\Delta_p = (p_r / p_{\text{раб}}) \cdot 100\%. \quad (5)$$

Расчетное внутреннее давление  $p_{p.v}$  – давление, на которое производится расчет элементов аппарата на прочность (рисунок 2), Па. Если на элемент корпуса действует гидростатическое давление больше или равное 5% от рабочего, т.е.  $\Delta_p \geq 5\%$ , то его учитывают в расчетном давлении (6а), в противном случае гидростатическое давление не учитывают (6б):

$$p_{p.v} = p_{\text{раб}} + p_r. \quad (6a)$$

$$p_{p.v} = p_{\text{раб}}. \quad (6б)$$

В курсовом проектировании допускается максимальное расчетное давление, действующее на днище, распространять на все элементы корпуса аппарата, т.е. принимать единое значение  $p_{p.v}$ .



- а) эллиптическая крышка;
- б) цилиндрическая обечайка;
- в) коническое днище с тороидальным переходом.

Рисунок 2 – Расчетные схемы элементов корпуса, нагруженных внутренним давлением газа и жидкости

При расчете на прочность стенок рубашки принимается:

$$P_{p.v} = P_{руб}, \quad (6в)$$

где  $p_{руб}$  – рабочее давление теплоносителя (по исходным данным), Па.

*Пробное давление*  $P_{пр}$  – максимальное избыточное давление, создаваемое при гидравлических (пневматических) испытаниях сосудов и аппаратов с целью проверки их на прочность и герметичность. Проверку проводят в соответствии с требованиями Ростехнадзора на заводе-изготовителе и на предприятии при периодическом освидетельствовании, если скорость коррозии не более 0,1 мм/год, то один раз в 8 лет. Наружный и внутренний осмотры таких аппаратов проводят один раз в 2 года. Гидравлические испытания безопаснее пневматических, которые в случае разрушения оболочки сжатым воздухом приводят к взрыву. При заполнении сосуда жидкостью воздух должен быть удален полностью. Испытания пробным давлением для каждой изолированной полости аппарата производят отдельно.

Для гидравлического испытания используется обычная вода при температуре 5 – 40 °С. Давление поднимается плавно и контролируется по двум одинаковым манометрам. Продолжительность испытаний для аппаратов с толщиной стенки до 50 мм составляет 10 минут. Через 10 минут давление постепенно уменьшают до расчетного и тщательно осматривают все соединения и наружную поверхность стенок. Обстукивание сварных швов на корпусе во время испытаний не допускается.

Сосуд считается выдержавшим испытания, если давление в период испытаний не уменьшалось, а при осмотре не обнаружено разрывов, видимых остаточных деформаций, трещин, течей, слезок, потения в сварных соединениях и на основном металле, течей в разъемных соединениях. После осмотра давление снижают до атмосферного; для предотвращения образования вакуума, способного смять корпус, на крышке открывают люк или воздушный клапан и только после этого полностью опорожняют аппарат. Значение пробного давления и результаты испытаний заносятся в паспорт сосуда.

*Пробное давление* для сосудов определяется отдельно для корпуса и рубашки по формуле:

$$P_{пр} = 1,25 P_{p.v} [\sigma]_{20} / [\sigma]. \quad (7)$$

Отношение  $[\sigma]_{20} / [\sigma]$  допускается в курсовом проекте принимать по соответствующему материалу корпуса или рубашки.



Значение пробного давления вносится в техническую характеристику (чертеж общего вида) корпуса.

Условное давление  $p_y$  – это расчетное давление при температуре 20 °С, которое используется при выборе и расчете на прочность стандартных элементов аппарата (узлов, деталей, арматуры). Условное давление определяют для элементов корпуса: люка, штуцеров (в курсовом проекте условное давление рассчитывается только для люка и распространяется на остальные элементы), а также для рубашки и ее штуцеров. Численное значение условного давления для люка или рубашки, рассчитанное по формуле (8), округляется до ближайшего большего стандартного значения:

$$p_y \geq p_{p.v} [\sigma]_{20} / [\sigma], \quad (8)$$

где  $p_y$  – условное давление (МПа) выбирается из стандартного из ряда: 0,25; 0,3; 0,4; 0,6; 1,0; 1,6; 2,5 и т.д.

Полученные значения давлений сводят в таблицу 2.

Таблица 2 – Расчетное, пробное, условное давление в аппарате

Элементы аппарата		Расчетное внутреннее давление $p_{p.v}$ , МПа	Пробное давление $p_{пр}$ , МПа	Условное давление $p_y$ , МПа
Корпус	Крышка			—
	Обечайка			
	Днище			
	Люк			
	Штуцеры			
Рубашка	Обечайка			
	Днище			
	Штуцеры			

## 2.5 Выбор и определение параметров комплектующих элементов

Выделяются следующие основные составные элементы аппарата с мешалкой (таблица 3):

1) Корпус, включающий ряд элементов и устройств (обечайка, днище, крышка, рубашка, люк, змеевик, штуцеры, перегородки, опоры корпуса, цапфы, фланцевые соединения штуцеров и т.д.).

2) Привод механического перемешивающего устройства, состоящего из мотор-редуктора или мотор-редуктора с дополнительной механической передачей.

3) Вал мешалки.

4) Мешалка.

5) Муфта вала.

6) Уплотнение вала.

Таблица 3 – Выбор типовых элементов аппарата

Типовой элемент	Исходные параметры для получения характеристик типового элемента или для выбора типоразмера элемента	Указатель расположения данных в пособии	
		№№ рисунков	№№ таблиц
Элементы корпуса аппарата			
Корпус аппарата и тепло-обменное устройство	Обозначение корпуса Номинальный объем, V Внутренний диаметр, D	B.1 – B.4; B.5	B.1 – B.4; B.5 – B.7
		с. 101 – 111	
Штуцеры корпуса (рубашки)	Внутренний диаметр, D Условный проход, D <sub>y</sub> Условное давление, p <sub>y</sub>	B.6	B.8
		с. 112	с.113 – 115
Люк	Условный проход, D <sub>y</sub> или внутренний диаметр, D <sub>в</sub>	B.7, B.8	B.10
		с. 117 – 119	
Цапфы монтажные	Номинальный объем , V Диаметр корпуса, D или рубашки, D <sub>1</sub>	B.9	
		с. 116	
Опоры аппарата	Тип опоры (лапа) Внутренний диаметр корпуса, D или рубашки, D <sub>1</sub>	Г.1	Г.1, Г.2
		с. 124 – 126	

Продолжение таблицы 3

Типовой элемент	Исходные параметры для получения данных о типовом элементе или для выбора типоразмера элемента	Указатель расположения данных в пособии	
		№№ рисунков	№№ таблиц
Элементы механического перемешивающего устройства			
Мешалка	Обозначение типа Диаметр, $d_m$	Д.1 – Д.4	Д.1 – Д.5
		с. 127 – 135	
Привод со стойкой (тип и исполнение)	Мощность, $N_m$ Частота, $n_m$ Рабочее давление, $p_{\text{раб}}$	Е.1, Е.2	Е.1 – Е.9
		с. 139 – 152; с. 166	
Мотор-редуктор привода	Мощность, $N_m$ Частота, $n_m$	с.142 – 145; с.146 – 150	
Вал	Обозначение мотор-редуктора	с. 142 – 155	
Муфта	Тип привода Диаметр вала, $d$	Е.3, Е.4, Е.5	Е.9 – Е.11
		с. 157 – 156	
Уплотнение	Рабочая среда Диаметр вала, $d$ Рабочее давление	Е.6	Е.12
		с. 157, 158	
Опоры привода и уплотнения	Тип и исполнение привода Диаметр аппарата, $D$ Диаметр вала, $d$ Тип уплотнения	В.9	В.11, В.12
		с. 120 – 122	

Каждый из перечисленных типовых элементов имеет несколько конструктивных разновидностей. Многообразие типовых элементов связано как с их функциональным назначением, так и с технологией их изготовления, определяющей стоимость изделия. Для обозначения разновидностей типового элемента используются такие термины, как *тип* и *исполнение*. Внутри каждого типа и исполнения типовые элементы от-

личаются друг от друга размерами и, как следствие, рабочими характеристиками. Тип и принятые размеры изделия в совокупности определяют его габарит, или, что то же, *типоразмер*.

Так как выбор типовых элементов аппарата является сложной задачей, то для уменьшения трудоемкости работы и исключения последующих ошибок желательно придерживаться последовательности указанной в таблице 3, записывая название, тип, исполнение или габарит комплектующего элемента в соответствии с пояснениями на эскизе компоновки аппарата (раздел 2.6).

Следует иметь в виду, что после выполнения расчетов по проверке работоспособности типовых элементов (раздел 3) их типоразмеры, в некоторых случаях, могут быть уточнены.

При выборе опор аппарата (опорных лап) следует учитывать, что при рабочей температуре выше 60 °С для снижения энергетических потерь, а также по требованиям техники безопасности обязательно применение теплоизоляции корпуса.

Выбор привода аппарата производится поэтапно (Приложение Е). Номинальная мощность электродвигателя  $N_n$  выбранного привода должна быть больше мощности  $N_d$ , затрачиваемой двигателем, как на перемешивание  $N_m$ , так и на преодоление трения в элементах механизма. Мощность  $N_d$ , потребляемая двигателем при работе рассчитывается по формуле, указанной в Приложении Е (вводная часть).

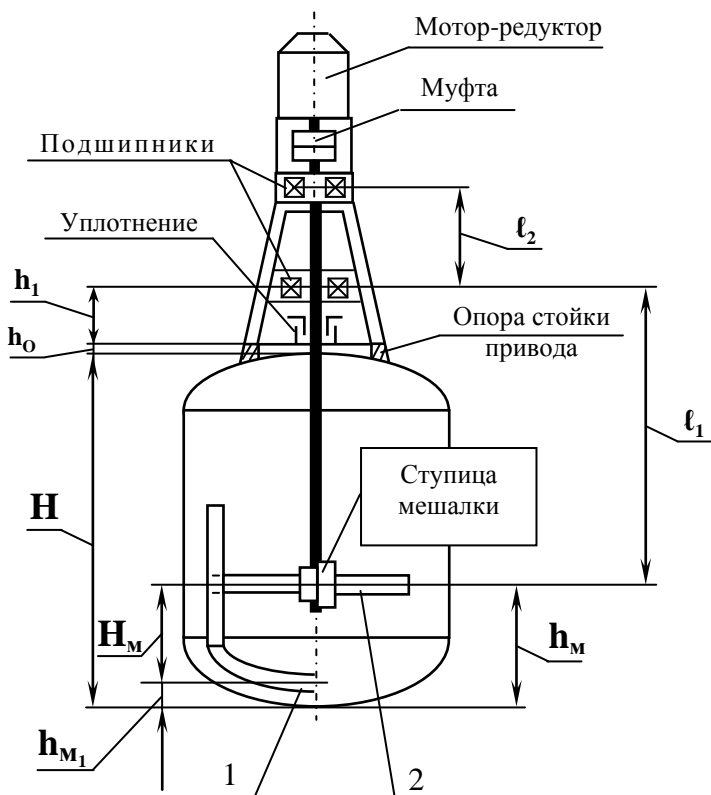
Результаты выбора типовых элементов рекомендуется заносить в таблицу 5.

## 2.6 Эскиз компоновки аппарата

В эскизном проекте необходимо изобразить общий вид аппарата, дающий представление об его устройстве. Изображение аппарата выполняют с максимальными упрощениями в произвольном масштабе (рисунки 4 и 5) в электронном виде с последующей распечаткой на бумаге формата А2. Общий вид аппарата на эскизе компоновки включает изображение выбранного, в соответствии с его обозначением, корпуса аппарата, включающего теплообменные и внутренние устройства, а также привод аппарата, вал мешалки, мешалку, муфту и уплотнение вала.

На эскизе проставляют не все, а лишь основные конструктивные, габаритные, присоединительные и установочные размеры. Данные для простановки размеров большинства элементов приведены в соответствующих таблицах Приложения. Исключение составляет длина вала мешалки, которая определяется по чертежу ориентировочно, исходя из размеров привода, корпуса и расстояний от лопасти мешалки до днища

корпуса  $h_m$  (для мешалок типа 01, 03, 07) или  $h_{m1}$  (для мешалок типа 10) в соответствии с рисунком 3 и таблицей 4, а также расстояние  $H_m$  по рисунку Д.4 и таблице Д.4 Приложения.



- 1 – рамная мешалка (тип 10);  
 2 – быстроходная мешалка (трехлопастная – тип 01, турбинная открытая – тип 03, лопастная – тип 07)

Рисунок 3 – Расположение вала с мешалкой в аппарате

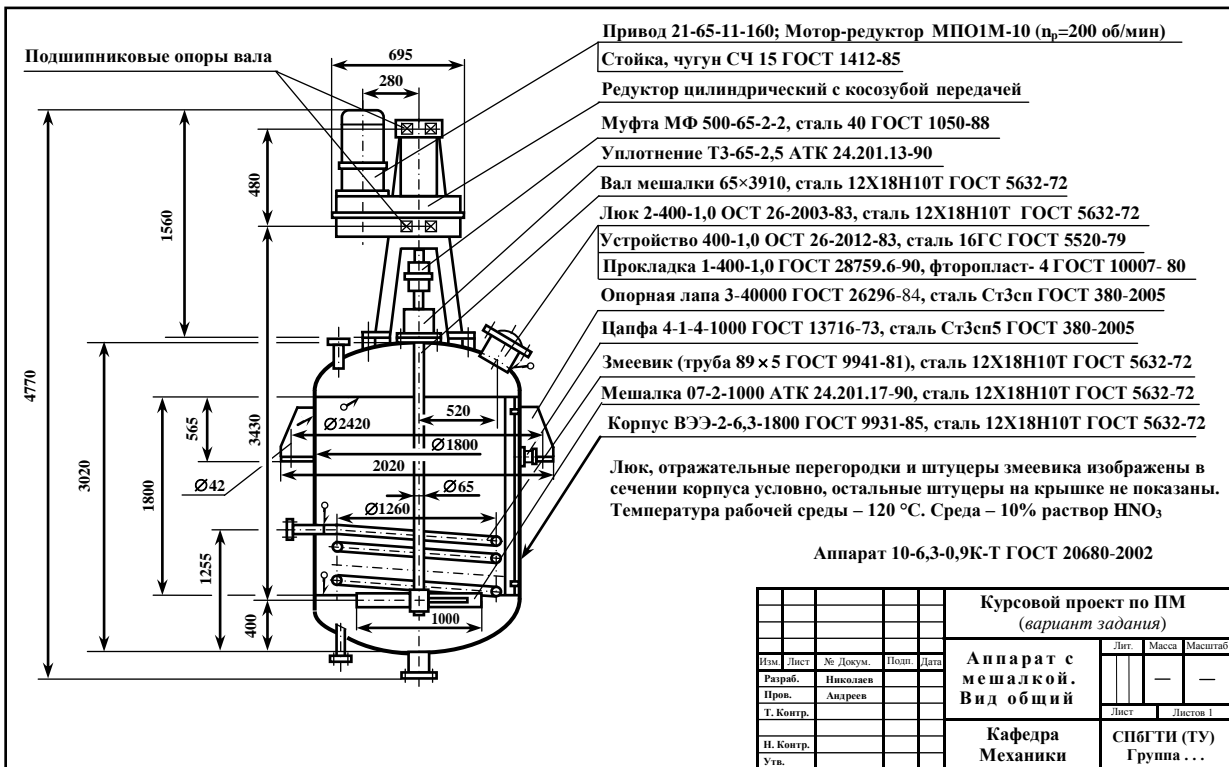


Рисунок 4 – Эскиз компоновки аппарата (вариант 1)

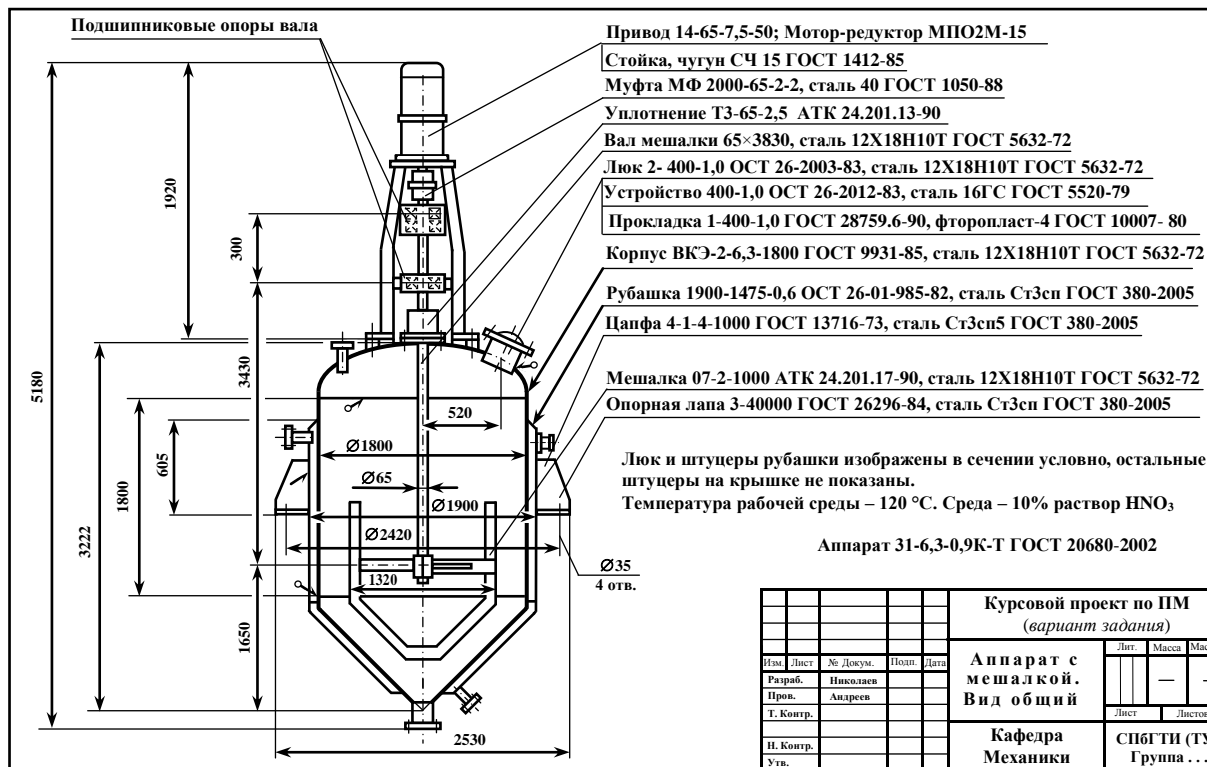


Рисунок 5 – Эскиз компоновки аппарата (вариант 2)

На эскизе (рисунки 4 и 5) аппарат разбирается на составные части, от которых проводят линии-выноски, с указанием наименования и условного обозначения технических характеристик этих частей по справочным данным или стандартам, а также сведения о материале.

При записи условных обозначений типовых и стандартных частей аппарата следует проставлять значения параметров: линейные размеры в миллиметрах, давление в МПа.

Для остальных параметров в структуре обозначений размерность указана в скобках. Размерность после числа в обозначении не указывается.

Результаты выбора типовых элементов рекомендуется заносить в таблицу 5.

Таблица 4 – Расстояния  $h_m$ ,  $h_{m1}$  от дна до лопасти мешалки (рисунок 3)

Обозначение мешалки	Тип мешалки	Корпус с эллиптическим днищем	Корпус с коническим днищем
01	Трехлопастная	$h_m = d_m$	$h_m = 1,5d_m$
03	Турбинная открытая		
07	Лопастная	$h_m = 0,4d_m$	$h_{m1} = 0,3d_m$
10	Рамная	$h_{m1} = 0,2d_m$	

Таблица 5 – Основные элементы аппарата и их условные обозначения

Название элемента аппарата	Конструктивные особенности и главные параметры выбранного элемента	Условное обозначение элемента. Ссылка на нормативный документ
Заполняется в соответствии с таблицей 3	Заполняется по справочным приложениям пособия	Заполняется в соответствии с рекомендациями пособия

Условные обозначения аппарата и его частей представлены ниже.

Аппарат с механическим перемешивающим устройством:

**Аппарат**, тип, исполнение – номинальный объем ( $m^3$ ) – рабочее давление в корпусе, группа материала (У – углеродистая, К – коррозионностойкая сталь или сплав) – тип уплотнения (Т – торцовое).

Привод аппарата, состоящий из электродвигателя, механической передачи и стойки:

Для привода типа 1:



**Привод**, тип, исполнение – диаметр вала – мощность двигателя (кВт) – частота вращения вала мешалки (об/мин). Тип мотор-редуктора.

Для привода типа 2:

**Привод**, тип, исполнение – диаметр вала – мощность двигателя (кВт) – частота вращения вала мешалки (об/мин). Тип мотор-редуктора – частота вращения выходного вала мотор-редуктора ( $n_p$ ).

Стойка для привода: **Стойка**, чугун СЧ 15 ГОСТ 1412-85.

Муфта упругая втулочно-пальцевая: **Муфта** МУВП, номинальный вращающий момент (Н·м) – диаметр цилиндрического конца вала под полумуфту – исполнение, ГОСТ 21424-93, сталь, марка стали, ГОСТ на материал.

Муфта фланцевая: **Муфта** МФ, номинальный вращающий момент (Н·м) – диаметр цилиндрического или конического конца вала под полумуфту – габарит – исполнение полумуфты, сталь, марка стали, ГОСТ на материал.

Муфта продольно-разъемная: **Муфта** МПР, номинальный вращающий момент (Н·м) – диаметр вала, сталь, марка стали, ГОСТ на материал.

Уплотнение торцовое двойное: **Уплотнение** ТЗ – диаметр вала – предельное избыточное давление, АТК 24.201.13-90.

Корпус аппарата: **Корпус**, тип – исполнение – объем номинальный ( $m^3$ ) – внутренний диаметр, ГОСТ 9931-85, сталь, марка стали, ГОСТ на материал.

Люк-лаз диаметром  $D_v$  не менее 400 мм, со сферической крышкой: **Люк**, исполнение – внутренний диаметр – условное давление (добавить букву Ф при установке фторопластовой прокладки), ОСТ 26-2003-83, сталь, марка стали, ГОСТ на материал.

Устройство шарнирное для люка-лаза: **Устройство**, внутренний диаметр люка – условное давление, ОСТ 26-2012-83.

Устройство подъемно-поворотное для люка-лаза: **Устройство**, исполнение – внутренний диаметр люка – условное давление, ОСТ 26-2013-83.

Фланец плоский приварной для штуцера или трубопровода: **Фланец**, исполнение – условный проход – условное давление (добавить букву Ф при установке фторопластовой прокладки), ГОСТ 33259-2015, сталь, марка стали, ГОСТ на материал.

Штуцер с плоским фланцем: **Штуцер**, условный проход – условное давление (добавить букву Ф при установке фторопластовой прокладки) – тип – исполнение, АТК 24.218.06-90, сталь, марка стали, ГОСТ на материал.

Заглушка фланцевая для штуцера или трубопровода: **Заглушка**, исполнение – условный проход – условное давление (добавить букву *Ф* при установке фторопластовой прокладки), АТК 24.200.02-90, сталь, марка стали, ГОСТ на материал.

Коническое отбортованное днище аппарата: **Днище**, угол при вершине – условный диаметр – толщина стенки, ГОСТ 12619-78, сталь, марка стали, ГОСТ на материал.

Эллиптическое отбортованное днище или крышка аппарата: **Днище**, условный диаметр – толщина стенки, ГОСТ 6533-78, сталь, марка стали, ГОСТ на материал.

Прокладка плоская из эластичного материала для фланцевого соединения штуцеров: **Прокладка**, исполнение – условный диаметр – условное давление, ГОСТ 15180-86, материал, марка материала, ГОСТ на материал.

Прокладка плоская из эластичного материала для фланцевого соединения люка-лаза: **Прокладка**, исполнение – условный диаметр – условное давление, ГОСТ 28759.6-90, материал, марка материала, ГОСТ на материал.

Подвесная лапа для аппарата: **Опорная лапа**, исполнение - допускаемая нагрузка (*Н*), ГОСТ 26296-84, сталь, марка стали, ГОСТ на материал.

Накладной лист для опорной лапы: **Накладной лист**, исполнение опорной лапы – допускаемая нагрузка (*Н*) – толщина листа, ГОСТ 26296-84, сталь, марка стали, ГОСТ на материал.

Устройство строповое для монтажа корпуса аппарата: **Цапфа** тип – исполнение – грузоподъемность (*т*) – стандартный радиус кривизны поверхности, ГОСТ 13716-73, сталь, марка стали, ГОСТ на материал.

Рубашка неразъемная с эллиптическим днищем: **Рубашка**, внутренний диаметр рубашки – высота цилиндрической части – условное давление – исполнение, ОСТ 26-01-984-82, сталь, марка стали, ГОСТ на материал.

Рубашка неразъемная с коническим днищем: **Рубашка**, внутренний диаметр рубашки – высота цилиндрической части – условное давление, ОСТ 26-01-985-82, сталь, марка стали, ГОСТ на материал.

Перемешивающее устройство: **Мешалка**, тип – исполнение – наружный диаметр, АТК 24.201.17-90, сталь, марка стали, ГОСТ на материал.

Змеевик: **Змеевик**, труба  $d \times s$  (наружный диаметр и толщина стенки), сталь, марка стали, ГОСТ на материал.

Вал мешалки: **Вал**, диаметр  $\times$  длина, сталь, марка стали, ГОСТ на материал.

Отражательная перегородка: **Перегородка**, сталь, марка стали, ГОСТ на материал.

## 2.7 Оценка надежности выбранного варианта компоновки аппарата

После завершения компоновки аппарата следует оценить надежность выбранного варианта с получением численных значений основных показателей надежности. Недостаточная надежность химической аппаратуры, помимо высокого уровня аварийности, чревата огромными экономическими потерями, обусловленными простоем оборудования, затратами на его ремонт, низким качеством получаемых продуктов. Поэтому уже на этапе проектирования закладывается необходимая степень надежности, которая затем на этапах изготовления и эксплуатации играет роль определяющего норматива.

*Под надежностью понимается свойство изделия (детали, узла, машины) выполнять заданные функции, сохраняя свои эксплуатационные показатели в заданных пределах в течение заданного промежутка времени [2, 18].* Надежность химического оборудования – комплексное свойство, сочетающее безотказность, долговечность, ремонтпригодность и сохраняемость. Важнейшим среди перечисленных составляющих надежности является безотказность.

*Под безотказностью понимают свойство элемента оборудования непрерывно сохранять работоспособное состояние в течение определенного периода времени.* Количественно безотказность типовой химико-технологической аппаратуры в справочной литературе характеризуется величиной интенсивности отказов  $\lambda$ , которую можно рассматривать как среднее число отказов в единицу времени. Интенсивность отказов сложного объекта складывается из интенсивностей отказов его составных частей [18]. В частности, для аппарата с механическим перемешивающим устройством:

$$\lambda_{\Sigma} = \lambda_{\Sigma\kappa} + \lambda_{\Sigma\text{пр}}; \quad (11)$$

$$\lambda_{\Sigma\kappa} = \lambda_{\kappa} + \lambda_{\text{л}}; \quad (11a)$$

$$\lambda_{\Sigma\text{пр}} = \lambda_{\text{пр}} + \lambda_{\text{м}} + \lambda_{\text{у}} + \lambda_{\text{меш}} + \lambda_{\text{в}}, \quad (11б)$$

где  $\lambda_{\Sigma\kappa}$ ,  $\lambda_{\Sigma\text{пр}}$  – суммарные интенсивности отказов корпуса аппарата и его привода с перемешивающим устройством, соответственно, час<sup>-1</sup>;

$\lambda_{\Sigma}$  – суммарная интенсивность отказов аппарата в целом, час<sup>-1</sup>.

Смысл других обозначений интенсивности отказов и их ориентировочные значения для корпуса и привода ясен из таблицы 6.

Таблица 6 – Рекомендуемые значения интенсивностей отказов

Комплектующие элементы аппарата	Обо- значе- ние	Интенсив- ность отказа $\lambda \cdot 10^5, \text{ час}^{-1}$
Корпус (условное обозначение)		
Корпус 10 и 30 цельносварной со змеевиком	$\lambda_{\text{к}}$	2,0
Корпус 11 и 31 цельносварной с рубашкой		4,0
Элементы корпуса		
Люк-лаз с шарнирным или подъемным устройством	$\lambda_{\text{л}}$	2,5
Привод		
Привод типа 1 (мотор-редуктор планетарный)	$\lambda_{\text{пр}}$	5,0
Привод типа 2 (мотор-редуктор планетарный совместно с редуктором цилиндрическим)		8,0
Соединительная муфта валов		
Муфта упругая втулочно-пальцевая (тип привода 1)	$\lambda_{\text{м}}$	2,0
Муфта фланцевая (тип привода 2)		0,5
Муфта продольно-разъемная (тип привода 2)		0,3
Уплотнение		
Торцовое ТЗ	$\lambda_{\text{у}}$	3,0
Мешалка		
Мешалка разъемная	$\lambda_{\text{меш}}$	0,8
Мешалка неразъемная		0,5
Вал		
Вал мешалки консольный (тип привода 1 и 2)	$\lambda_{\text{в}}$	1,0

Надежность корпуса аппарата зависит от его исполнения: цельносварной или с отъемной крышкой, наличия теплообменной рубашки и внутренних устройств в корпусе, а также от других элементов корпуса. Надежность привода, перемешивающего устройства и уплотнения вала также определяются их конструкцией.

При известной интенсивности отказов аппарата вероятность его безотказной работы  $P_{\text{АП}}(T)$  определяется по формуле:

$$P_{\text{АП}}(T) = e^{-\lambda_{\Sigma} T}, \quad (12)$$

где  $T$  – период, для которого требуется рассчитать вероятность безотказной работы аппарата (квартал, год, срок службы и т.д.), час.

Вероятность безотказной работы является наиболее полной характеристикой надежности химико-технологической аппаратуры. С помощью функции  $P_{\text{АП}}(T)$  можно определить любую другую характеристику безотказности [18]. Например, средняя продолжительность безотказной работы (наработка на отказ) аппарата  $T_{\text{ср}}$  связана с вероятностью  $P_{\text{АП}}(T)$  соотношением:

$$T_{\text{ср}} = \int_0^{\infty} P_{\text{АП}}(T) dT = \frac{1}{\lambda_{\Sigma}}. \quad (13)$$

Вероятность безотказной работы  $P_{\text{АП}}(T)$  позволяет также обоснованно выбрать продолжительность  $T_{\text{э}}$  периодов эксплуатации аппарата между обслуживанием и плановыми ремонтами. Этот параметр определяется на стадии проектирования. Его величина должна быть обязательно включена в нормативно-техническую документацию на оборудование. Параметр  $T_{\text{э}}$  находится с помощью соотношения (12) из условия, что вероятность безотказной работы аппарата не может быть ниже некоторого предельного значения  $P_{\text{пр}}$ , т. е.

$$T_{\text{э}} = -\frac{1}{\lambda_{\Sigma}} \ln P_{\text{пр}} = -T_{\text{ср}} \ln P_{\text{пр}}. \quad (14)$$

Предельная вероятность  $P_{\text{пр}}$ , определяющая степень надежности оборудования, назначается в зависимости от свойств рабочей среды (токсичность, пожароопасность и взрывоопасность), а также от рабочих параметров процесса. Для пожароопасных и взрывоопасных рабочих сред и (или) тяжелых режимов функционирования ( $t_p \geq 200$  °С и  $p_n \geq 1$  МПа) в качестве предельного значения вероятности безотказной работы принимается значение  $P_{\text{пр}} = 0,8$ ; в остальных случаях –  $P_{\text{пр}} = 0,6$ .

### 3 ТРЕТИЙ ЭТАП ПРОЕКТИРОВАНИЯ. ТЕХНИЧЕСКИЙ ПРОЕКТ

#### 3.1 Расчет элементов корпуса аппарата

##### 3.1.1 Определение коэффициентов прочности сварных швов и прибавки для компенсации коррозии

Оболочки аппаратов изготавливаются из стальных листов сваркой. Прочность материала в зоне сварного шва снижается из-за термического воздействия электрической дуги и ряда других факторов. На основании ГОСТ Р 52857.1-2007 в прочностные расчеты вводится *коэффициент прочности сварного шва*  $\varphi \leq 1$ , несколько уменьшающий допускаемые напряжения  $[\sigma]$  материала. Величина коэффициента  $\varphi$  принимается в соответствии с правилами Ростехнадзора [4, 6] и зависит от назначения аппарата, типа сварного соединения, способа сварки и длины контролируемых швов.

У сосудов и аппаратов на расчетное давление свыше 0,07 МПа, предназначенных для взрывоопасных, или пожароопасных, или сильнодействующих ядовитых сред, а также у аппаратов, предназначенных для обработки любых других сред с расчетным давлением до 2,5 МПа и температурой стенки выше 400 °С; давлением свыше 2,5 МПа и температурой выше 200 °С контролируется при изготовлении 100% общей длины швов. В остальных случаях – 50% общей длины швов.

Оболочки цельносварных аппаратов (условное обозначение корпусов: 10, 11, 30, 31) соединяют односторонним стыковым сварным швом автоматической или полуавтоматической сваркой под слоем флюса ( $\varphi = 0,9$  при 100% контроле швов;  $\varphi = 0,8$  при 50% контроле швов).

Элементы аппарата, находящиеся в контакте с рабочей средой, из-за коррозии с течением времени уменьшаются по толщине. Прибавка для компенсации коррозии к расчетным толщинам конструктивных элементов определяется по формуле:

$$c = P \cdot T_a, \quad (15)$$

где  $c$  – прибавка для компенсации коррозии, м;

$P$  – скорость коррозии м/год (для вполне стойких материалов  $P \leq 0,1 \cdot 10^{-3}$  м/год);

$T_a$  – срок службы аппарата (амортизационный срок), лет.

Для элементов с двусторонним контактом с коррозионной средой (например, стенка корпуса, закрытая теплообменной рубашкой, лопасть мешалки и т.д.) принимается двойная прибавка для компенсации коррозии, т. е.  $2c$ .

### 3.1.2 Определение расчетной толщины стенок оболочек из условия прочности

Необходимые толщины стенок оболочек, нагруженных внутренним избыточным давлением, определяются по уравнениям, полученным из условий прочности тонкостенных оболочек [1, 5, 6, 10, 11, 27]. Несоблюдение условия прочности может привести к разрушению (разрыву) оболочки. Толщина стенок стандартной теплообменной рубашки, изготовленной из углеродистой стали Ст3сп5, задана (таблицы В.2, В.4) и не рассчитывается. В случае применения для рубашки стали иной марки толщину стенки рубашки необходимо рассчитывать.

На основании ГОСТ Р 52857.2-2007 расчету подлежат элементы корпуса: *цилиндрическая обечайка, эллиптическая крышка, эллиптическое или коническое днище в местах сварки:*

а) Расчетная толщина стенки цилиндрической обечайки из условия прочности (рисунок 2, б), м:

$$s_{\text{цп}} = \frac{p_{\text{р.в}} D}{2\varphi[\sigma] - p_{\text{р.в}}}, \quad (16)$$

где  $p_{\text{р.в}}$  – расчетное внутреннее давление (по таблице 2), Па;

$D$  – внутренний диаметр обечайки, м;

$[\sigma]$  – допускаемое напряжение (по таблице 1) Па;

$\varphi$  – коэффициент прочности сварного шва.

б) Расчетная толщина стенки эллиптической крышки (днища) из условия прочности (рисунок 2, а), м:

$$s_{\text{эп}} = \frac{p_{\text{р.в}} D}{2\varphi[\sigma] - 0,5p_{\text{р.в}}}, \quad (17)$$

в) Расчетная толщина стенки конического днища с отбортовкой (тороидальным переходом) из условия прочности (рисунок 2, в), м:

$$s_{\text{кр}} = \frac{p_{\text{р.в}} D_{\text{к}}}{(2\varphi[\sigma] - p_{\text{р.в}}) \cos \alpha}, \quad (18)$$

$$D_{\text{к}} = D - 2r (1 - \cos \alpha), \quad (19)$$

где  $\alpha = 45^\circ$  – половина угла при вершине конуса для стандартных днищ;

$D_k$  – диаметр основания конической оболочки без тороидального перехода, м;

$r$  – радиус тороидального перехода, м (таблица В.6).

Полученные по формулам (16 – 18) значения расчетных толщин стенок подлежат дальнейшему уточнению с учетом коррозии, и округлению до стандартной толщины листов в соответствии разделом 3.1.3.

### 3.1.3 Определение исполнительной толщины стенок оболочек

Определение толщины стенок оболочек аппарата из условий прочности (раздел 3.1.2) было предварительным.

Окончательно *исполнительную толщину* стенки подбирают из ряда значений стандартной толщины листов. Для этого к максимальной расчетной толщине листа ( $s_{цр}$ ,  $s_{эр}$ ,  $s_{кр}$ ) добавляют прибавку (**с**) для компенсации коррозии (раздел 3.1.1) и **с<sub>1</sub>** *прибавку для округления толщины листа до стандартного значения* (таблица 7). Прибавку **с<sub>1</sub>** в каждом уравнении (20а, 20б, 20в) подбирают так, чтобы исполнительная толщина ( $s_{ц}$ ,  $s_{э}$ ,  $s_{к}$ ) стенки оболочки совпала со стандартной толщиной листа, при этом прибавка **с<sub>1</sub>** должна быть не менее *минусового допуска u* на толщину листа (таблица 7), т.е. **с<sub>1</sub> ≥ u**.

Таблица 7 – Размеры стальных листов (извлечение из стандарта)

Сталь толстолистовая ГОСТ 19903-2015	
Толщина листа	Минусовой допуск
s, мм	u, мм
4*	0,5
5**	
6,	0,6
8, 10, 12, 14, 16, 18, 20, 22, 25	0,8
28, 30	0,9
32, 34	1,0
36, 38, 40	1,1
42, 45, 48, 50	1,2
* Не применять для эллиптических днищ.	
** Не рекомендуется применять для конических днищ	



Для стандартных крышек и днищ исполнительная толщина уточняется по таблицам В.5. и В.6 в зависимости от диаметра корпуса.

Выражения для определения исполнительной толщины стенок оболочек корпуса имеют следующий вид:

а) для цилиндрической оболочки:

$$S_{ц} = S_{цр} + C + C_1, \quad (20a)$$

б) для эллиптической оболочки (крышки, днища):

$$S_{э} = S_{эп} + C + C_1, \quad (20б)$$

в) для конической оболочки (днище)

$$S_{к} = S_{кр} + C + C_1, \quad (20в)$$

Поскольку в последующих расчетах неоднократно будут использоваться значения расчетной и исполнительной толщины стенок оболочек аппарата, их целесообразно свести в таблицу 8. Следует иметь ввиду, что *исполнительная толщина стенки (в миллиметрах) – всегда целое число.*

Таблица 8 – Параметры толщины стенок оболочек

Оболочка аппарата	Расчетная толщина стенки, мм	Прибавка на коррозию, мм	Минусовой допуск, мм	Исполнительная толщина стенки, мм
<b>Корпус</b>				
Цилиндрическая оболочка				
Крышка				
Днище				
<b>Рубашка*</b>				
Цилиндрическая часть				
Днище				
* Исполнительная толщина стенок стандартной теплообменной рубашки, изготовленной из углеродистой стали, не рассчитывается и определяется по таблицам В.2, В.4.				

### 3.1.4 Определение допускаемого давления в аппарате

Важными *техническими характеристиками* аппарата являются *максимально допускаемое* внутреннее давление, которое определяет возможные технологические резервы. Под резервом понимают превышение допускаемого значения по сравнению с расчетным параметром.

За счет прибавок  $c_1$  при округлении расчетных значений толщины стенок оболочек до стандартной толщины листа (см. формулы 20) увеличивается несущая способность оболочки и соответственно допускаемое давление. *Если допускаемые давления для элементов корпуса больше или равны расчетным давлениям ( $p_{рв}$ ), то условия прочности выполняются.*

Допускаемые внутренние давления рассчитываются для каждого элемента корпуса, в том числе для люка и штуцеров, а для уплотнения определяется максимальное избыточное давление. Из полученных значений выделяется наименьшее, которое принимается в качестве *максимального допускаемого внутреннего давления* для всего аппарата, т.е. *наиболее слабый элемент определяет работоспособность (несущую способность) всего аппарата.*

Аналогично определяют допускаемое внутреннее давление для рубашки.

Для получения равнопрочного (по давлению) аппарата можно оптимизировать конструкцию, подобрав типовые элементы (фланцы, штуцеры и пр.) с условным давлением близким к минимально допустимому давлению для оболочек.

Результаты расчетов допускаемых давлений предварительно заносят в таблицу 9. Принятое общее для всех элементов аппарата значение допускаемого давления (наименьшее из всех перечисленных элементов корпуса или рубашки) включают в техническую характеристику корпуса (чертеж общего вида).

Таблица 9 – Допускаемые внутренние давления в аппарате, МПа

Элементы аппарата	Штуцеры, люк	Уплотнение $p_{\max}$	Крышка	Обечайка	Днище	Общее для аппарата
Корпус						
Рубашка		—	—			

### Расчет допускаемых внутренних давлений:

а) Для цилиндрической обечайки:

$$p_{д.в} = \frac{2\varphi[\sigma](s_{ц} - c - u)}{D + s_{ц}} \geq p_{р.в} . \quad (21)$$

Значения параметров, входящих в формулу (21), даны в пояснениях к формуле (16);

$s_{ц}$  – исполнительная толщина;

$u$  – минусовой допуск на стандартную толщину листа (таблица 7);

$c$  – прибавка к расчетной толщине обечайки для компенсации коррозии, м.

б) Для эллиптической крышки (днища):

$$p_{д.в} = \frac{2\varphi[\sigma](s_{э} - c - u)}{D + 0,5s_{э}} \geq p_{р.в} . \quad (22)$$

Значения параметров, входящих в формулу (22), даны в пояснениях к формуле (16);

$s_{э}$  – исполнительная толщина;

$u$  – минусовой допуск на стандартную толщину листа (таблица 7);

$c$  – прибавка к расчетной толщине крышки (днища) для компенсации коррозии, м.

в) Для конической обечайки:

$$p_{д.в} = \frac{2\varphi[\sigma](s_{к} - c - u) \cos(\alpha)}{D_{к} + s_{к} \cos(\alpha)} \geq p_{р.в} . \quad (23)$$

Значения параметров, входящих в формулу (23), даны в пояснениях к формуле (18 и 19);

$s_{к}$  – исполнительная толщина;

$u$  – минусовой допуск на стандартную толщину листа (таблица 7);

$c$  – прибавка к расчетной толщине конической обечайки для компенсации коррозии, м.

г) Для стандартных изделий (люк, штуцеры, рубашка и др.), выбранные по условному давлению из справочных таблиц соответствующих приложений:

$$p_{д.в} = p_y[\sigma] / [\sigma]_{20} \geq p_{р.в}. \quad (24)$$

д) Для уплотнения вала мешалки:

$$p_{\max} \geq p_{и}, \quad (25)$$

где  $p_{\max}$  – максимальное избыточное давление, которое может обеспечить уплотнение в корпусе аппарата (Приложение Е, вводная часть).

### 3.1.5 Расчет монтажных цапф корпуса и опор аппарата

Опоры-лапы или опоры-стойки аппарата испытывают нагрузку от общего веса аппарата в рабочих условиях, а цапфы только от веса корпуса аппарата при монтаже (без привода и жидкости). Максимальный вес аппарата  $G_{\max}$  рассчитывается с учетом веса всех составных частей аппарата и максимального веса среды. Вес каждой из составных частей может быть определен точно путем вычисления или по таблицам приложения, содержащим информацию о массе типовых элементов, либо вычислены приближенно. Точный учёт массы необходим, в частности, при расчёте стоимости аппарата.

При приближенном вычислении веса корпуса  $G_k$  (Н), реальная оболочка заменяется цилиндром того же диаметра  $D$  (м), но с плоской крышкой и плоским дном, в который можно «вписать» корпус аппарата высотой  $H$  (рисунки В.1 – В.4), без учета массы штуцеров, люка загрузочного, внутренних устройств, опор корпуса и других изделий. Толщина стенки принимается равной максимальной исполнительной толщине  $s_{\max}$ , м (см. результаты вычислений, занесенные в таблицу 8):

$$G_k = m_k g \approx [1, l_{р_{ст}} s_{\max} (\pi D H + 2 \frac{\pi D^2}{4}) + m_{л}] g, \quad (26)$$

где  $1, l$  – коэффициент, приблизительно учитывающий вес теплоизоляции (устанавливается при рабочих температурах выше 60 °С°);

$m_k$  – масса (приблизительная) корпуса аппарата, кг;

$\rho_{ст} = 7850 \text{ кг/м}^3$  – плотность стали;  $g \approx 10 \text{ м/с}^2$ ;

$m_{л}$  – масса люка-лаза (таблица В.11), кг;

При наличии теплообменной рубашки ее масса ( $m_{руб}$ ), соответственно и вес, вычисляется как для закрытой плоским дном цилиндрической оболочки с толщиной стенки  $s_{руб} \approx s$ , диаметром  $D_{руб} = D_1$ , высотой  $H_{руб} \approx 0,8H$  для цельносварного корпуса (рисунки В.2, В.4).

$$G_{руб} = m_{руб} g \approx [\rho_{ст} s_{руб} (\pi D_{руб} H_{руб} + \frac{\pi D_{руб}^2}{4})] g . \quad (27)$$

$$G_{пр} \approx 1,3 m_{пр} g \quad (28)$$

При расчете максимального веса рабочей среды предполагается, что аппарат с номинальным объемом  $V$  заполнен полностью *наиболее тяжелой жидкостью* (рабочей средой или водой при проведении гидравлических испытаний):

$$G_c = \rho_{ж} g V , \quad (29)$$

где  $\rho_{ж} = \max\{\rho_c; \rho_v\}$ ,  $\rho_c$  – плотность рабочей среды и  $\rho_v$  – плотность воды, кг/м<sup>3</sup>.

Максимальный вес полностью заполненного жидкостью аппарата, Н:

$$G_{max} = G_k + G_{руб} + G_{пр} + G_c . \quad (30)$$

Масса пустого аппарата (указывается в основной надписи чертежа общего вида) рассчитывается по формуле (30), принимая  $G_c = 0$ .

Максимальная масса аппарата заполненного рабочей средой (указывается в перечне технических характеристик на чертеже общего вида) рассчитывается с использованием формул (29, 30), но в формуле (29) вместо номинального объема аппарата  $V$  подставляется значение рабочего объема аппарата  $V_p$ . Рабочий объем аппарата с уровнем заполнения  $H_c$  (см. техническое задание), м<sup>3</sup>:

$$V_p = V_{ц} + V_{д} + V_{к} , \quad (31)$$

где  $V_{ц}$ ,  $V_{д}$ ,  $V_{к}$  – соответственно объемы заполнения цилиндрической части корпуса, эллиптической или конической части днища и эллиптической части крышки (таблица 10), м<sup>3</sup>.

Проверочный расчет опор-лап (рисунок Д.1) и цапф (таблица В.10) выполняется по следующей методике:

а) Выбранный типоразмер опоры и цапфы проверяется на грузоподъемность по условиям:

$$G_{p.оп} = \frac{G_{\max}}{z_{оп}} \leq [G], \quad (32)$$

Таблица 10 – Формулы для расчета объемов заполнения элементов корпуса при уровне жидкости в корпусе –  $H_c$

Элемент	Объем заполнения элемента корпуса	
	в аппарате с эллиптическим отбортованным днищем	в аппарате с коническим отбортованным днищем
Цилиндрическая часть корпуса, включая отбортовку днища и крышки	$V_{ц} = 0,25\pi D^2(H_{ц} - 0,25D)$ , где $H_{ц} = \min \{H_c; H - 0,25D\}$	$V_{ц} = 0,25\pi D^2(H_{ц} - 0,5D - 0,4r)$ , где $H_{ц} = \min \{H_c; H - 0,25D\}$
Часть днища (без отбортовки)	$V_d = \pi D^3 / 24$	$V_d \approx \pi D^3(1 + 2,472r / D) / 24$
Часть крышки (без отбортовки)	$V_k \approx 0,25\pi D^2 h_c [1 - (1/3)(h_c / h)^2]$ , если $h_c = H_c - (H - 0,25D) > 0$	
В таблице обозначено: H, D, h,— геометрические параметры корпуса (таблицы В.1 – В.4); H <sub>c</sub> – уровень жидкости в корпусе; r – радиус тороидального перехода конического днища (таблица В.6); h <sub>c</sub> – высота заполнения жидкостью эллиптической части крышки (таблица В.5)		

$$G_{p.ц} = \frac{G_{\max} - G_c - G_{пр}}{z_{ц}} \leq [G]_{ц}, \quad (33)$$

где  $G_{p.оп}$  и  $G_{p.ц}$  – расчетные нагрузки на одну опору и цапфу, Н;  
 $z_{оп}$  – количество опор-лап ( $z_{оп} = 4$ );  $z_{ц}$  – количество цапф ( $z_{ц} = 2$ );  
 $[G]$  и  $[G]_{ц}$  – допускаемая нагрузка на опору (таблицы Г.1 и Г.2) и грузоподъемность цапфы (таблица В.10), Н.

При невыполнении условий (32), (33) необходимо применить опоры и цапфы с большей грузоподъемностью.

б) Прочность угловых сварных швов, соединяющих ребра опор-лап с корпусом аппарата, проверяют на срез (рисунок 6).

Предварительно определяют катет сварных швов  $k$  (значение округляется до целого числа в миллиметрах), минимальную ширину шва  $e$ , общую длину сварных швов  $\ell_{ш}$  с учетом непровара в каждом шве ( $4k$ ),  $m$ , и допускаемое напряжение  $[\tau]_{ш}$  для материала швов, Па:

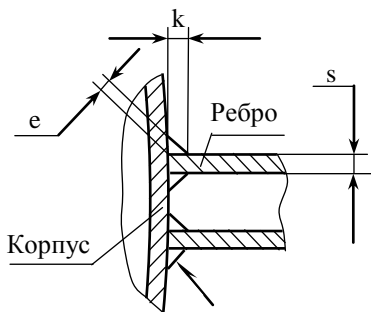


Рисунок 6 – Крепление опоры-лапы с корпусом аппарата

$$k = 0,85s \geq 3 \text{ мм}, \quad e = 0,7k, \quad (34)$$

$$\ell_{ш} = 2z_p(h - 4k), \quad (35)$$

$$[\tau]_{ш} = \varphi[\sigma], \quad (36)$$

$$\tau_c = \frac{G_{p.оп}}{A_{ср}} = \frac{G_{p.оп}}{e\ell_{ш}} \leq [\tau]_{ш}, \quad (37)$$

где  $s$  и  $h$  – соответственно толщина и высота ребра (таблицы Г.1, Г.2), м;

$z_p = 2$  – число ребер в опоре;

$\tau_c$  – напряжения среза в швах, Па;

$[\sigma]$  – допускаемое напряжение для материала опоры, определяемое по формуле (2в), (при температуре  $t = 0,85t_c$ , но не менее 20 °С), Па;

$\varphi = 0,65$  – коэффициент прочности швов таврового сварного соединения двусторонним угловым швом и при 50 % контроля длины швов.

в) Проверяется прочность бетона фундамента на сжатие:

$$\sigma_{\phi} = \frac{G_{p.оп}}{A_{оп}} \leq [\sigma]_{\phi}, \quad (38)$$

где  $\sigma_{\phi}$  – напряжение в фундаменте под опорой, Па;

$A_{\text{оп}} = ab$  – площадь основания опоры (размеры  $a$ ,  $b$  по таблицам Г.1 – Г.2),  $\text{м}^2$ ;

$[\sigma]_{\phi}$  – допускаемое напряжение для бетона по ГОСТ 25192-82 при сжатии (для марки 200  $[\sigma]_{\phi} = 11$  МПа; марки 300  $[\sigma]_{\phi} = 18,5$  МПа), Па.

### **3.2 Элементы механического перемешивающего устройства**

#### **3.2.1 Расчет вала мешалки на прочность**

В аппарате с мешалкой вал перемешивающего устройства (рисунки 4 и 5) составной – он состоит из вала привода и вала мешалки, которые соединены между собою муфтой. Применительно к аппарату с перемешивающим устройством типовой порядок разработки вала и проверки его работоспособности включает следующие этапы:

- 1) выбор конструкционного материала вала мешалки;
- 2) предварительный расчет вала на прочность при кручении;
- 3) определение длины вала мешалки;
- 4) расчет вала на виброустойчивость (в курсовом проекте не проводится);
- 5) определение сил, действующих на вал;
- 6) расчет вала на статическую прочность;
- 7) расчет вала на усталость (в курсовом проекте не проводится);
- 8) расчет вала на жесткость в местах расположения уплотнения и подшипников (в курсовом проекте не проводится).

#### **Выбор конструкционного материала вала**

Вал изготавливается из коррозионностойкого материала (таблицы Б.1, Б.2). Выбор материала вала мешалки выполняется на этапе эскизного проекта. Допускаемые напряжения  $[\sigma]$  для материала вала принимают равным нормативным допускаемым напряжениям  $\sigma_n$  (таблица Б.3).

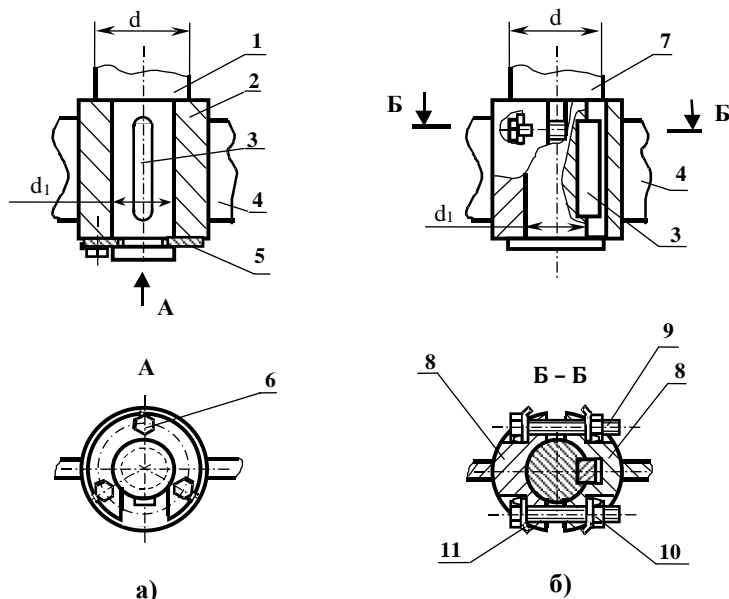
#### **Предварительный расчет вала на прочность**

Поскольку диаметры всех участков вала предварительно определяется на этапе эскизного проектирования по типоразмеру привода, мешалки и муфты, то выполняется лишь *проверочный расчет вала из условия прочности на кручение*. При кручении опасным сечением вала является участок вала диаметром  $d_1$  в месте крепления ступицы мешал-



ки (рисунок 7). Диаметр вала на этом участке определяется по типоразмеру мешалки, обычно он меньше чем диаметр всего вала  $d$ . Это сделано для удобства закрепления ступицы и предотвращения смещения мешалки вдоль оси вала.

Способ крепления неразъемных (рисунок 7, а) и разъемных мешалок (рисунок 7, б) отличается.



1 – вал под неразъемную мешалку; 2 – неразъемная ступица; 3 – шпонка; 4 – лопасти; 5 – кольцо с прорезью; 6 – болты; 7 – вал под разъемную ступицу; 8 – полуступицы; 9 – болты крепления полуступиц; 10 – гайки; 11 – шайбы с лапками

Рисунок 7 – Крепление неразъемных и разъемных мешалок на валу

Вал 1 (рисунок 7, а) под *неразъемную ступицу* 2 заканчивается проточкой, в которую вставляется кольцо 5 с прорезью, удерживающее мешалку на валу. В свою очередь кольцо 5 крепится к ступице болтами 6. Крутящий момент с вала на ступицу передается шпонкой 3. Приблизительно на половину своей высоты шпонка утоплена в шпоночном пазе вала. Шпоночный паз ступицы выполнен по всей её длине.

Вал 7 под *разъемную ступицу* 8 (рисунок 7, б) заканчивается буртом (выступом). Полуступицы 8 соединяются при помощи болтов 9.

Под головки болтов 9 и гаек 10 подложены специальные стопорные шайбы 11, имеющие выступающие лапки. После затяжки болтов лапки пригибаются к ступице, к головкам болтов и к гайкам, предотвращая самоотвинчивание болтовых соединений.

При работе вал мешалки в месте ее закрепления испытывает, главным образом, кручение. Расчетный максимальный крутящий момент (Н·м) с учетом пусковых нагрузок определяется по формуле:

$$T_{кр \max} = K_d N_m / \omega; \quad (39)$$

$$\omega = (\pi \cdot n) / 30, \quad (40)$$

где  $K_d$  – коэффициент динамичности нагрузки, учитывающий перегрузки при пуске привода;

$N_m$  – мощность, потребляемая мешалкой на перемешивание в соответствии с техническим заданием, Вт;

$\omega$  – угловая скорость вала мешалки, рад/с;

$n$  – частота вращения вала мешалки (по техническому заданию), об/мин.

Коэффициент  $K_d$  зависит от типа мешалки и наличия внутренних устройств аппарата. Для турбинных и трехлопастных мешалок в аппарате без внутренних устройств  $K_d = 1,5$ ; в аппарате с перегородками  $K_d = 1,2$ ; в аппарате без перегородок со змеевиком  $K_d = 1,3$ . Для рамных и лопастных мешалок  $K_d = 2$ .

Полярный момент сопротивления сечения вала в опасном сечении рассчитывается по формуле, м<sup>3</sup>:

$$W_p = \frac{\pi \cdot d_1^3}{16}, \quad (41)$$

где  $d_1$  – диаметр участка вала под ступицу определяется исходя из типа и диаметра мешалки  $d_m$  (рисунки Д.1 – Д.4), м.

Проверочный расчет вала заключается в проверке условия прочности на кручение:

$$\tau_{кр} = \frac{T_{кр \max}}{W_p} \leq [\tau]_{кр}, \quad (42)$$

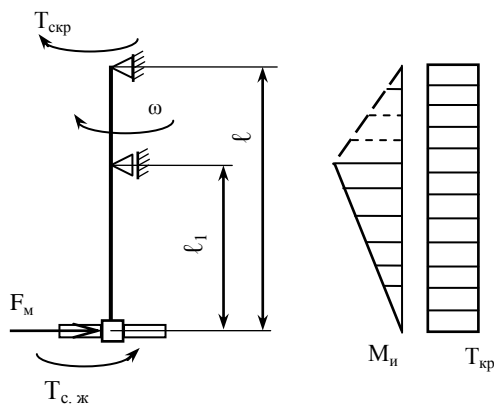
где  $\tau_{кр}$  – максимальные напряжения в сечении вала, Па;

$[\tau]_{кр} = 0,5[\sigma]$  – допускаемые напряжения на кручение для материала вала при температуре  $t_p$ , Па.

При невыполнении условия прочности необходимо применить более прочный материал, удовлетворяющий условию коррозионной стойкости. Допустимо также увеличить диаметр вала  $d_1$  под ступицей мешалки, выполнив проектный расчет с использованием (41 и 42), а наружный диаметр ступицы  $d_c$  (таблица Д.5) пропорционально увеличен. При этом необходимо, чтобы выполнялось условие  $d_1 \leq 0,8d$ . Если окажется, что  $d_1 > 0,8d$ , то следует увеличить диаметр всего вала, т.е. выбрать следующий диаметр для данного габарита привода, или перейти к следующему габариту привода. Для привода типа 2 при изменении диаметра вала ранее выбранный по мощности мотор-редуктор менять не следует.

### Определение усилий, действующих на вал

Помимо кручения вал мешалки изгибается от действия *поперечной гидродинамической силы*  $F_m$  (рисунок 8).



$T_{скр}$  – скручивающий момент;

$T_{с. ж}$  – момент сопротивления со стороны жидкости

Рисунок 8 – Схема внешних и внутренних сил, действующих на вал

Поперечная гидродинамическая сила  $F_M$ , действующая на ротор (вал и мешалку) возникает в результате сложного взаимодействия лопастей мешалки с потоками жидкости. Среднее значение поперечной гидродинамической силы (с учетом гидродинамического сопротивления вала), Н [28]:

$$F_M = \frac{0,8 k_M k_B \rho_c \omega^2 d_M^6}{\sqrt[3]{(D^2 k_{H_c})^2}}, \quad (43)$$

где  $k_M$  – коэффициент сопротивления мешалки:

а) для турбинной открытой в аппарате с отражательными перегородками  $k_M = 0,025$ , в гладкостенном (без внутренних устройств) –  $k_M = 0,016$ , со змеевиком без перегородок –  $k_M = 0,019$ ;

б) для трехлопастной в аппарате с перегородками  $k_M = 0,008$ , в гладкостенном (без внутренних устройств) –  $k_M = 0,006$ , со змеевиком без перегородок –  $k_M = 0,0065$ ;

в) для лопастной в аппарате с перегородками  $k_M = 0,020$ , в гладкостенном (без внутренних устройств) –  $k_M = 0,012$ , со змеевиком без перегородок –  $k_M = 0,014$ ;

г) для рамной рекомендуется принять: с одним ярусом перекладин –  $k_M \approx 0,003$ , с двумя ярусами перекладин –  $k_M \approx 0,0035$ ;

$k_B \approx 1,1$  – коэффициент, учитывающий гидродинамическое сопротивление вала;

$k = 1$  – днище эллиптическое,  $k = (H_c - 0,33D) / (H_c - 0,083D)$  – днище коническое;

$\rho_c$  – плотность среды,  $\text{кг/м}^3$ ;

$\omega$  – угловая скорость вала мешалки,  $\text{рад/с}$ ;

$D, d_M$  – внутренний диаметр корпуса и диаметр мешалки, м;

$H_c$  – высота жидкости в аппарате, м.

### Расчет вала на статическую прочность

Статическую прочность рассчитывают по максимально возможным внешним нагрузкам, действующим на вал [22]. В поперечном сечении вала одновременно действуют касательные напряжения кручения и нормальные напряжения изгиба, т.е. вал испытывает *сложное напряженное состояние*. Максимальная гидродинамическая сила  $F_{M \max}$  при кратковременных перегрузках примерно вдвое выше средней силы  $F_M$ .

Максимальные значения нормальных  $\sigma_{\max}$  и касательных  $\tau_{\max}$  напряжений определяются в опасном сечении, т.е. в месте расположе-

ния нижнего подшипника, где изгибающий момент максимален (рисунок 8):

$$\sigma_{\max} = \frac{F_{\max} \ell_1}{W_{\text{но}}} = \frac{2F_{\text{м}} \ell_1}{W_{\text{но}}}; \quad (44)$$

$$\tau_{\max} = \tau_{\text{кр}} = \frac{T_{\text{кр max}}}{W_{\text{п}}}; \quad (45)$$

$$W_{\text{но}} = \pi d^3/32; \quad W_{\text{п}} = \pi d^3/16, \quad (46)$$

где  $T_{\text{кр max}}$  – максимальный крутящий момент (39), Н·м.

$W_{\text{но}}, W_{\text{п}}$  – соответственно, осевой и полярный моменты сопротивления сечения вала,  $\text{м}^3$ ;

$d$  – диаметр вала (см. принятый типоразмера привода), м;

$\ell_1$  – длина консольной части вала, т.е. расстояние от нижнего подшипника вала мешалки до середины ступицы мешалки (рисунок 3), м;

$$\ell_1 = H + h_o + h_1 - h_{\text{м}}, \quad (47)$$

где  $H$  – высота корпуса аппарата (рисунки В.1 – В.4, таблицы В.1 – В.4), м;

$h_o$  – высота опоры для стойки привода (рисунок В.10 и таблица В.12), м;

$h_1$  – расстояние от нижнего подшипника вала мешалки до опоры под привод на крышке корпуса аппарата в зависимости от выбранного типа и габарита привода (рисунки Е.1, Е.2 и таблицы Е.3, Е.4, Е.6, Е.7, Е.8), м;

$h_{\text{м}}$  – расстояние от днища корпуса до середины ступицы мешалки (таблица 4), м; для рамных мешалок  $h_{\text{м}} = h_{\text{м1}} + H_{\text{м}}$ , где  $h_{\text{м1}}$  определяется по таблице 4,  $H_{\text{м}}$  – расстояние от лопасти до ступицы мешалки (рисунок Д.4 и таблица Д.4).

Правильность расчетной длины  $\ell_1$  контролируется её соответствием длине консольной части вала на эскизе компоновки аппарата.

Эквивалентные напряжения, рассчитанные по третьей теории прочности, сравниваются с допускаемыми напряжениями [23]:

$$\sigma_{\text{эkv}}^{\text{III}} = \sqrt{\sigma_{\text{max}}^2 + 4\tau_{\text{max}}^2} \leq [\sigma], \quad (48)$$

где  $[\sigma]$  – допускаемое напряжение материала вала при температуре не более 70 °С (вал в месте расположения подшипника не должен иметь температуру выше указанного значения [7]), Па;

Если условие прочности не выполняется необходимо выбрать более прочный материал вала или увеличить диаметр вала на участке под подшипником.

### 3.2.2 Расчет мешалок

Мешалки, выбранные по АТК 24.201.17-90 в зависимости от типа и диаметра, предварительно проверяют по допустимому крутящему моменту  $[T]_{кр}$  (рисунки и таблицы Д.1 – Д.4):

$$T_{кр \max} \leq [T]_{кр} , \quad (49)$$

где  $T_{кр \max}$  – расчетный максимальный крутящий момент (39), Н·м.

Допустимый крутящий момент  $[T]_{кр}$ , указанный в нормативном документе, не учитывает характеристик конкретного материала, из которого изготовлена мешалка, а также условий эксплуатации. Поэтому материал мешалок, соприкасающийся с рабочей средой, принимается таким же, как для стенок корпуса аппарата. Рабочие элементы мешалки (лопасти, перекладки) находятся под гидродинамическим, коррозионным и температурным воздействием набегающего потока перемешиваемой среды. Гидродинамическую силу, распределенную по поверхности лопасти и перекладки, приводят к сосредоточенной силе. Эта сила вызывает изгиб лопасти (перекладки). Крепление лопастей (перекладин) к ступице или диску турбинной мешалки осуществляется при помощи сварки.

Сварные швы по своей конфигурации бывают *стыковыми* (в стыковых соединениях) и *угловыми* (в угловых, тавровых и нахлесточных соединениях) [30].

*Стыковые швы всегда рассчитываются по тем же напряжениям, что и соединяемые детали, а угловые швы всегда рассчитываются на срез независимо от вида нагрузок.* Предпочтение следует отдавать стыковым швам как более надежным. Сварные соединения в мешалках по взаимному расположению соединяемых деталей являются тавровыми. При проваре лопастей (перекладин) на их полную толщину и удаления наплывов сварные швы таврового соединения по своей конфигурации близки к стыковым швам и соответственно с некоторым приближением могут рассчитываться, как стыковые. Выполнение дополнитель-

ных проверочных расчетов на прочность сварных швов для мешалок в курсовом проекте не требуется.

### 3.2.3 Расчет шпоночного соединения ступицы мешалки с валом

Крутящий момент с вала на ступицу мешалки передается при помощи призматической шпонки (рисунок 12), размещенной в шпоночных пазах вала и ступицы.

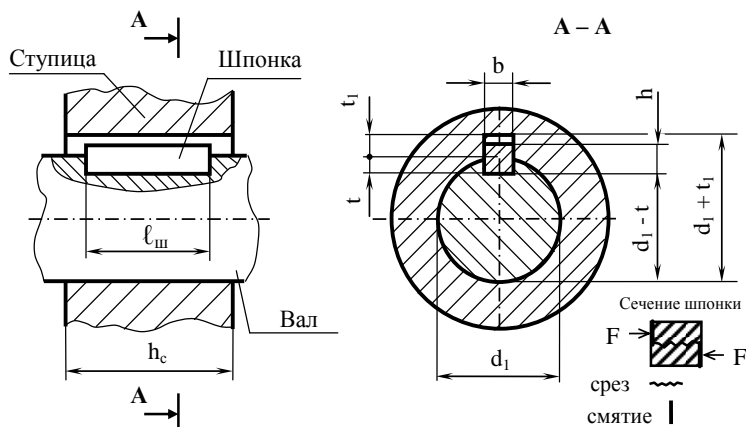


Рисунок 12 – Схема к расчету шпоночного соединения

Боковые грани на половине своей высоты шпонки испытывают напряжения смятия  $\sigma_{см}$ , а продольное сечение – напряжения среза  $\tau_{ср}$ . Шпонку рекомендуется изготавливать из того же материала, что и вал. Допускаемые напряжения  $[\sigma]$  принимаются равные нормативным допускаемым напряжениям  $\sigma_n$  при температуре рабочей среды (таблица Б.3).

Для ступиц мешалок рекомендуется применять *высокие шпонки*, размеры поперечного сечения которых (таблица 11) зависят только от диаметра вала  $d_1$  на участке под ступицей. Для валов диаметром не более 30 мм применяются обычные шпонки (таблица Е.14).

Длину призматической шпонки  $l_{ш}$  (м) назначают конструктивно с учетом высоты ступицы  $h_c$  (Приложение Д) :

$$l_{ш} = h_c - (0,01 \div 0,02) \leq 1,5d_1. \quad (50)$$

Полученное значение округляют до стандартного  $\ell_{ш}$  из ряда (по ГОСТ 10748-79), мм: 22, 25, 28, 32, 36, 40, 45, 50, 56, 63, 70, 80, 90, 100, 110, 125, 140, 160, 180, 200, 220, 250, 280, 320, 360, 400.

Таблица 11 – Размеры сечений высоких шпонок и пазов по ГОСТ 10748-79, мм

Диаметр вала	Размеры сечения шпонки		Длина	Глубина паза	
	b	h		t	t <sub>1</sub>
d <sub>1</sub>			$\ell_{ш}$		
Свыше 30 до 38	10,0	9,0	22 – 110	5,5	3,8
Свыше 38 до 44	12,0	11,0	28 – 140	7,0	4,4
Свыше 44 до 50	14,0	12,0	36 – 160	7,5	4,9
Свыше 50 до 58	16,0	14,0	45 – 180	9,0	5,4
Свыше 58 до 65	18,0	16,0	50 – 200	10,0	6,4
Свыше 65 до 75	20,0	18,0	56 – 220	11,0	7,4
Свыше 75 до 85	22,0	20,0	63 – 250	12,0	8,4
Свыше 85 до 95	25,0	22,0	70 – 280	13,0	9,4
Свыше 95 до 110	28,0	25,0	80 – 320	15,0	10,4
Свыше 110 до 130	32,0	28,0	90 – 360	17,0	14,4

Для шпоночного соединения стандартной шпонкой выполняется проверочный расчет только на смятие. Шпонка испытывает смятие с двух противоположных боковых сторон, как показано на рисунке 12: со стороны вала в поперечном сечении нижняя часть одной из боковых поверхностей, и со стороны ступицы – верхняя часть противоположной боковой поверхности. Со стороны ступицы в соответствии с таблицей 11 поверхность смятия минимальна.

Сила, вызывающая смятие, Н:

$$F \approx \frac{T_{кр\max}}{0,5d_1}, \quad (51)$$

где d<sub>1</sub> – диаметр участка вала под ступицу мешалки, м.

Минимальная поверхность смятия (м<sup>2</sup>) определяется по формуле:



$$A_{\text{см}} = (\ell_{\text{ш}} - b)(h - t). \quad (52)$$

Условие прочности шпонки на смятие:

$$\sigma_{\text{см}} = \frac{F}{A_{\text{см}}} \leq [\sigma]_{\text{см}}, \quad (53)$$

где  $\sigma_{\text{см}}$  – напряжение смятия на боковой поверхности шпонки, Па;

$[\sigma]_{\text{см}} = 1,5[\sigma]$  – допускаемые напряжения на смятие материала шпонки, Па.

Если условие прочности (53) не выполняется, необходимо выбрать другой более прочный коррозионностойкий материал или поставить две шпонки той же длины, смещенные по окружности на угол  $180^\circ$  в нестандартной ступице.

### 3.2.4 Расчет муфты

Муфта соединяет вал привода с валом мешалки и передает крутящий момент. Типоразмер муфты зависит от типа привода и диаметра вала (по эскизам компоновки или рисункам Е.1, Е.2). В приводе типа 1 используется упругая втулочно-пальцевая муфта (рисунок Е.7), в приводе типа 2 – фланцевая (рисунок Е.8) или продольно-разъемная (рисунок Е.9) муфты.

Муфты, выбранные по диаметру вала при эскизной компоновке аппарата, проверяются на нагрузочную способность по условию:

$$T_{\text{р.м}} = \frac{T_{\text{кр max}}}{\eta_1 \eta_2 \eta_3} \leq T_{\text{ном}}, \quad (54)$$

где  $T_{\text{р.м}}$  – расчетный крутящий момент на участке вала под муфту, Н·м;

$\eta_1, \eta_2, \eta_3$  – соответственно КПД подшипников, уплотнения и муфты (таблица Е.15), вводимые в расчет с учетом схемы привода (для приводов типа 2  $\eta_3 = 1$ );

$T_{\text{ном}}$  – номинальный (допустимый) крутящий момент для выбранного типоразмера муфты (рисунки Е.7 – Е.9 и таблицы Е.10 – Е.12), Н·м.

### 3.3 Оформление технической документации

#### 3.3.1 Пояснительная записка

*По всем этапам курсового проекта оформляется единая пояснительная записка.*

При выполнении текстовых и графических документов проекта следует руководствоваться требованиями ГОСТ по ЕСКД и СТП [25, 26]. Так, при оформлении пояснительной записки следует соблюдать основные требования ГОСТ 2.105 – 95 «Общие требования к текстовым документам».

Текстовая часть пояснительной записки выполняется на писчей бумаге стандартного формата А4 (297×210) на одной стороне листа. По всем четырем сторонам листа оставляются поля. Размер левого поля (для подшивки) 30 мм, правого не менее 10 мм, верхнего и нижнего – 20 мм.

Образец оформления *Титульного листа* курсового проекта приведен в Приложении К и включает в себя тему проекта и год защиты. За титульным листом помещается *Техническое задание* на курсовой проект (раздел 1.2), на бланке которого указывается номер варианта и цель проекта, подписанный исполнителем и руководителем.

Нумерация страниц должна быть сквозной, начиная с титульного листа. Номера страниц указываются в правом нижнем углу страницы.

Номера не проставляются на листах: *титульном и техническом задании*.

Текстовая часть пояснительной записки разбивается на разделы, подразделы и пункты, которые нумеруются арабскими цифрами по аналогии с данным пособием. Каждый раздел начинается на новой странице. Термины и обозначения должны соответствовать действующим стандартам. В расчетах следует использовать Международную систему единиц (СИ) – наименование и обозначение величин и единиц должно соответствовать ГОСТ 8.417 – 2002; при этом в тексте, таблицах можно применять десятичные кратные единицы, например: мм; МПа ( $10^6$  Па), кН ( $10^3$  Н).

Текст должен сопровождаться расчетными схемами, поясняющими расчеты. Все виды иллюстраций называются рисунками и нумеруются арабскими цифрами. Например: «Рисунок 3 – Схема к расчету конического днища». Нумерация рисунков и аналогично таблиц и формул должна быть сквозной для всего текста. Оформленная пояснительная записка сшивается в тетрадь. Титульный лист и Техническое зада-

ние заполняются чертежным или машинописным шрифтом, за которыми следует «Содержание».

В «Содержании» [25] перечисляются наименования всех разделов и подразделов с указанием номеров страниц. Разделы и подразделы исключая «Введение», «Список использованных источников» и «Приложение», обозначаются арабскими цифрами, например:

## СОДЕРЖАНИЕ

Введение . . . . .	3
1 Цель и задачи проекта . . . . .	4
2 Эскизный проект . . . . .	5
2.1 Выбор конструкционных материалов . . . . .	5
2.2 Определение расчетной температуры и допускаемых напряжений . . . . .	6
2.3 Определение рабочего, расчетного, пробного и условного давлений . . . . .	6
2.4 Выбор комплектующих элементов. Эскиз компоновки . .	8
2.5 Оценка надежности эскизного варианта компоновки аппарата . . . . .	11
3 Технический проект . . . . .	12
3.1 Расчет элементов корпуса . . . . .	15
3.1.1 Расчет толщины стенок оболочек из условия прочности . . . . .	15
3.1.2 . . . . .	
Закключение . . . . .	32
Список использованных источников . . . . .	35
Приложение . . . . .	36

В разделе «Введение» приводятся краткие сведения о проектируемом аппарате с мешалкой и его общая характеристика: указываются назначение и область применения (раздел 1.1).

В разделе «Цель и задачи проекта» формулируются основная цель и задачи проекта (цель указана в техническом задании, а задачи – в календарном плане), перечисляются основные нормативные документы необходимые для проектирования аппарата с мешалкой.

При выполнении разделов «Эскизный проект» и «Технический проект» необходимо соблюдать ряд требований.

Расчет каждого элемента конструкции должен сопровождаться поясняющим рисунком (расчетной схемой).

Все расчетные формулы сначала приводят в общем виде, затем в формулу подставляют числовые значения величин (без промежуточных вычислений) и приводят результат с указанием размерности. Все входящие в формулу параметры должны быть расшифрованы при первом их использовании с указанием их размерности. Формулу нумеруют арабскими цифрами в круглых скобках в конце строки. Например:

« . . . . . расчет выполняется по формуле:

$$\sigma_{\text{и}} = \frac{32M_{\text{и}}}{\pi d^3} = \frac{32 \cdot 2000}{3,14 \cdot 0,1^3} = 20,38 \cdot 10^6 \text{ Па} = 20,4 \text{ МПа}, \quad (36)$$

где  $\sigma_{\text{и}}$  – нормальные напряжения от изгиба, Па;

$M_{\text{и}}$  – изгибающий момент, Н·м;

$d$  – диаметр вала, м . . . .»

Проверочные расчеты должны завершаться *выводом* о выполнении (невыполнении) условия работоспособности: прочности и т.д.

Ссылки на литературу отмечают арабскими цифрами, заключенными в квадратные скобки. Например: «.... Согласно работе [2] предел текучести для стали марки Ст3 составляет  $\sigma_{\text{т}} = 240 \text{ МПа}$  . . .». Число в квадратных скобках должно соответствовать порядковому номеру источника в разделе «Список использованных источников».

В разделе «Заключение» дается общая характеристика надежности аппарата, анализ результатов выполненных расчетов по критериям работоспособности. Приводятся технические характеристики изделия с указанием резервов интенсификации технологического процесса (номинальная и потребляемая мощность привода, допускаемое и рабочее давление в аппарате, расчетные и допускаемые напряжения в материале конструкции и т.д.), а также технические требования на изготовление и испытания.

В разделе «Список использованных источников» приводятся литературные источники, использовавшиеся при работе над проектом, при этом список должен быть оформлен в соответствии с требованиями библиографического описания документа по ГОСТ 7.1-2003.

В разделе «Приложение» помещают информацию, на которую в тексте даны ссылки. При необходимости в «Приложение» допустимо включать таблицу составных частей общего вида, спецификации к сборочным чертежам, чертежи деталей.

### 3.3.2 Чертеж общего вида аппарата

#### Общие правила выполнения чертежа общего вида

(чертеж общего вида выполняется по указанию преподавателя)

В техническом проекте необходимо выполнить чертеж общего вида аппарата. Изображение изделия на чертеже дополняется видами, разрезами, сечениями и выносными элементами, дающими полное представление об его устройстве, а также позволяющими разработать рабочую конструкторскую документацию.

Чертеж общего вида аппарата должен содержать:

1) Изображения аппарата (виды, разрезы, сечения, выносные элементы), содержащие окончательные конструктивные решения. Перечень видов, разрезов и выносных элементов в соответствии с дополнительными указаниями.

2) Основные размеры изделия: габаритные, установочные, присоединительные, сопрягаемые (посадочные), расчетные, базовые (расположение сварных швов соединяемых оболочек и др.).

3) Обозначения принятых посадок в сопряжениях деталей (Приложение И).

4) Расположения штуцеров, люка, отражательных перегородок, теплообменного устройства, цапф, опорных лап в корпусе аппарата.

5) Таблицу назначения штуцеров в корпусе аппарата.

6) Техническую характеристику аппарата, а также технические требования к ним.

7) Таблицу с перечнем составных частей аппарата.

Общий вид аппарата выполняется на листе формата А2. На листе помещают основную надпись по форме 1 ГОСТ 2.104-68 высотой 55 мм в правом нижнем углу. Обозначение корпуса аппарата на листе заканчивается кодом документа "ВО" – вид общий.

В курсовом проекте предлагается придерживаться следующей структуры обозначений изделия и его составных частей:

000.	00.	00.	00.	00
<u>        </u>	<u>        </u>	<u>        </u>	<u>        </u>	<u>        </u>
1	2	3	4	5

Здесь 1 – индекс изделия;

2 – вариант разработки изделия (принимается номер варианта);

3 – обозначение крупных сборочных единиц;

4 – обозначение более мелких сборочных единиц, входящих в крупную сборочную единицу;

5 – обозначение деталей.

Пример обозначения чертежа общего вида корпуса аппарата без обогрева (индекс 204): 204.38.00.00.00.ВО. Корпус аппарат с обогревом рубашкой будет иметь индекс 205; то же с обогревом змеевиком – 206. Вариант задания – 38 (по таблицам А1 и А2 исходных данных). Более подробные сведения по структуре обозначения изделия указаны в [15].

Массу аппарата без массы заполняемой среды в основной надписи приводят из пояснительной записки ее расчетное значение в тоннах с указанием размерности. Наименование аппарата записывают в именительном падеже единственного числа, помещая на первое место имя существительное. Для чертежей технического проекта присваивается литера "Т", а для рабочих чертежей – литера «О» (опытный образец).

Над основной надписью оставляют место шириной 185 мм (как для основной надписи) для текстовой части, состоящей из *технических требований и технической характеристики*, а также для *таблицы составных частей изделия*. Текстовую часть помещают только на первом листе чертежа над основной надписью на расстоянии не менее 10 мм. При необходимости текст размещают в две и более колонки (вторую и последующие колонки располагают слева от основной надписи). В тексте не должно быть сокращений слов, за исключением общепринятых и установленных стандартами.

Таблицу с перечнем составных частей аппарата можно располагать на отдельных листах формата А4 в качестве последующих листов чертежа общего вида или на первом листе чертежа общего вида корпуса аппарата над текстовой частью чертежа. Между текстовой частью и таблицей составных частей не допускается помещать изображения или другие таблицы. Последняя строка перечня не должна доходить до текстовой части чертежа или основной надписи на расстояние менее 10 мм.

Если составные части корпуса аппарата не размещаются в одной колонке перечня, то он должен быть продолжен на последующих листах чертежа общего вида на формате А4 с обязательным повторением на каждом листе заголовка таблицы.

### **Текстовая часть чертежа**

Техническую характеристику аппарата помещают отдельно над техническими требованиями. Если на чертеже приведены только технические требования, то заголовок над ними не пишут. Заголовки пишут без подчеркивания в случае, если на чертеже есть технические требования и техническая характеристика. Технические требования и техническая характеристика записываются пунктами со сквозной нумерацией, каждый из которых начинается с новой строки. *Пункты техни-*

*ческих требований и технической характеристики, по которым информация отсутствует, могут быть опущены.*

**В технической характеристике следует указывать:**

1. Параметры рабочей среды (наименование, концентрация, плотность, температура).
2. Внутренний объем корпуса аппарата: номинальный и рабочий.
3. Средний срок службы и наработка на отказ корпуса аппарата.
4. Давление рабочее (избыточное) в корпусе.
5. Давление внутреннее расчетное в корпусе.
6. Давление пара или охлаждающей жидкости в рубашке (змеевике): рабочее избыточное и расчетное предельное.
7. Масса корпуса аппарата в рабочем состоянии.
8. Другие необходимые данные, характеризующие корпус аппарат.

**В технических требованиях следует указывать:**

1. Требования, согласно которым должен быть изготовлен корпус аппарата, условия и методы проведения испытаний.
2. Требования о необходимости регистрации корпуса аппарата в органах Госгортехнадзора.
3. Требования по проведению гидравлических испытаний корпуса и рубашки пробным давлением с указанием величины давления.
4. Материал корпуса, рубашки (змеевика).
5. Допустимая скорость коррозии.
6. Ссылки на другие документы, содержащие технические требования и указания, распространяющиеся на данное изделие, но не приведенные на чертеже.

**Таблица составных частей аппарата**

Рекомендуемые размеры таблицы даны на рисунке 13. Высота строк должна быть не менее 8 мм. Таблица в общем случае содержит следующие графы: "Поз." (позиция), "Обозначение", "Наименование", "Кол." (количество), "Доп. указания" (дополнительные указания). Диагональное деление головки таблицы не допускается. В каждой строке перечня "двухэтажные" записи не допускаются. Если запись не помещается на одной строке, ее следует продолжить на второй строке и последующих строках.

Записывать составные части корпуса аппарата в таблицу необходимо сверху вниз, подчеркивая заголовки тонкими линиями, в следующей последовательности:

*Покупные изделия.*

*Вновь разрабатываемые изделия.*

К покупным изделиям относятся составные части аппарата (сборочные единицы и отдельные детали), применяемые по государственным стандартам (ГОСТ, ОСТ), стандартам предприятий (СТП), нормативным документам (АТК) или техническим условиям (ТУ). Такие изделия не требуют разработки чертежей. Например: крышка и днище корпуса, люк, цапфа, лапа опорная, крепежные изделия, прокладки, компенсирующая муфта и др. изделия. На них в графе "Наименование" перечня составных частей указывают принятое стандартом (нормативным документом) обозначение изделия и обозначение стандарта (нормативного документа), а графа "Обозначение" не заполняется.

Поз.	Обозначение	Наименование	Кол.	Доп. указания

Рисунок 13 – Таблица перечня составных частей аппарата

Для стандартных и типовых изделий, вошедших в состав какой-либо сборочной единицы, на чертеже общего вида аппарата, на полке линии-выноски следует давать наименование и обозначение изделия по ГОСТ, ОСТ, СТП, АТК или указать в технических требованиях ссылку на них.

В раздел "Вновь разрабатываемые изделия" перечня в первую очередь следует включать сборочные единицы, на которые требуется разрабатывать сборочные чертежи, с обозначением присвоенных позиций и индексов чертежей в графы "Поз." и "Обозначение". При этом в графе "Доп. указания" записывается – Сборочная единица. Другие составные части изделия, не относящиеся к сборочным единицам, также вносятся в перечень согласно присвоенным им позициям и принятым обозначениям.



### **Примеры условных обозначений стандартных изделий в таблице составных частей чертежа общего вида**

Основные условные обозначения днища, рубашки корпуса, штуцера и прокладки с ответным фланцем к нему, люка, опорной лапы, цапфы (строповое устройство) и других изделий, входящих в составные части аппарата, приведены в разделе 2.6.

Структура обозначений и рекомендации для резьбовых крепежных изделий приведены в Приложении И. Конструктивные особенности некоторых изделий, учитываемые в условных обозначениях, указаны в машиностроительном справочнике [15].

Ниже показаны условные обозначения других стандартных изделий, используемых в аппаратах с мешалками.

Муфта упругая втулочно-пальцевая (таблица Е.10) из стали марки 40 с номинальным вращающим моментом 2000 Н·м, с диаметром посадочных отверстий 65 мм, исполнения полумуфт 1 (с цилиндрическими отверстиями для длинных концов валов):

*Муфта МУВП 2000-65-1 ГОСТ 21424-93;*

то же, номинальным вращающим моментом 4000 Н·м, одна из полумуфт с диаметром отверстия под вал 90 мм, исполнения 1 (с цилиндрическим отверстием для длинного конца вала), другая – диаметром 95 мм, исполнения 3 (с коническим отверстием для длинного конца вала):

*Муфта МУВП 4000-90-1-95-3 ГОСТ 21424-93.*

Шпонка призматическая обычная исполнения 1 (таблица Е.14), с размерами сечения (ширина  $b = 18$  мм, высота  $h = 11$  мм), и длиной  $\ell = 63$  мм:

*Шпонка 18×11×63 ГОСТ 23360-78.*

Шпонка высокая призматическая исполнения 1 (таблица 11), с размерами сечения (ширина  $b = 18$  мм, высота  $h = 16$  мм) и длиной  $\ell = 63$  мм:

*Шпонка 18×16×63 ГОСТ 10748-79.*

Шпилька исполнения 1, с метрической резьбой диаметром 16 мм, с крупным шагом резьбы, поле допуска 6g, длиной  $\ell = 90$  мм от ввинчиваемого резьбового конца ( $h = d$ ), класс прочности 5.8 (сталь марки 35), с покрытием 05 (окисное пропитанное маслом) толщиной 6 мкм (предназначена для крепления стойки привода на опоре):

*Шпилька М16 – 6g × 90.58.056 ГОСТ 22033-76.*

Гайка круглая шлицевая исполнения 1 (таблица Е.16), с метрической резьбой диаметром 80 мм, с мелким шагом резьбы 2 мм, с полем допуска 6Н, класс прочности 5 (сталь марки 30), с покрытием 05 (окисное пропитанное маслом) толщиной 6 мкм, (предназначена для крепления фланцевой полумуфты на валу):

*Гайка М80×2 – 6Н.5.056 ГОСТ 11871-88.*

Шайба нормальная плоская круглая, исполнения 1, класса точности А для крепежной детали (откидной болт на люке) с диаметром резьбы 16 мм, группа 02 (сталь марки Ст3), с покрытием 01 (цинковое, хромированное) толщиной 6 мкм:

*Шайба А.16.02. Ст3.016 ГОСТ 11371-78.*

Шайба стопорная многолапчатая, исполнения 1 (таблица Е.16), тип Н (нормальная), предназначенная для стопорения круглых шлицевых гаек с диаметром резьбы 80 мм, группа 02 (сталь марки Ст3), с покрытием 05 (окисное пропитанное маслом):

*Шайба Н.80.02.Ст3.05 ГОСТ 11872-89;*

то же исполнения 2, группа 01(сталь марки 08кп), с покрытием 02 (кадмиевое) толщиной 9 мкм:

*Шайба 2Н.80.01.08кп.029 ГОСТ 11872-89.*

Шайба стопорная с лапкой (таблица Е.18), предназначенная для стопорения от самопроизвольного отвинчивания шестигранных гаек и болтов с шестигранной головкой, диаметром резьбы 12 мм, материал группы 21 (коррозионностойкая сталь марки 12Х18Н10Т), без покрытия:

*Шайба 12.21 ГОСТ 13463-77.*

Шайба пружинная нормальная, исполнения 1, предназначенная для предотвращения самоотвинчивания болта или гайки с диаметром резьбы 12 мм, из стали марки 65Г, с покрытием 02 (кадмиевое) толщиной 9 мкм:

*Шайба 12 65Г.029 ГОСТ 6402-70;*

то же из стали марки 30Х13, с покрытием 11 (окисное):

*Шайба 12 30Х13.11 ГОСТ 6402-70.*

## **4 ЧЕТВЕРТЫЙ ЭТАП ПРОЕКТИРОВАНИЯ. РАБОЧАЯ КОНСТРУКТОРСКАЯ ДОКУМЕНТАЦИЯ**

*Рабочая документация проекта разрабатывается на основании конструктивных решений, принятых в техническом проекте, и предусмотрена техническим заданием проекта.*

В рабочей документации разрабатываются сборочные чертежи и рабочие чертежи деталей, необходимые для изготовления и сборки проектируемого изделия (аппарата). *Сборочные чертежи* сопровождаются спецификациями, определяющими состав сборочной единицы.

### **Основные требования к сборочному чертежу**

Изображение изделия на сборочном чертеже должно быть таким, чтобы оно давало полное представление о расположении и взаимной связи частей, и по нему можно было осуществить сборку и контроль изделия. Сварные швы, места пайки и склеивания отмечаются линией выноской по правилам, которые установлены по ГОСТ 2.312-72, ГОСТ 2.313-82. *На сборочном чертеже должны быть проставлены не все, а только контролируемые и другие требующиеся для сборки размеры (в том числе предельные отклонения и посадки), а также габаритные, установочные, присоединительные и необходимые справочные размеры.* К сборочному чертежу разрабатывают спецификацию на листах формата А4.

Номера позиций сборочных единиц и деталей в соответствии с номерами позиций, указанными в спецификации, наносят на полках линий-выносок, проведенных от каждой составной части изделия. Номера позиций располагают вне контура изображения, выполняют размером шрифта на один-два номера больше, чем у размерных чисел.

Пример выполнения сборочного чертежа турбинной мешалки приведен на рисунке 14.

### **Спецификация**

Спецификация [15] составляется на каждую сборочную единицу. Спецификация состоит из нескольких разделов. Наличие тех или иных разделов в таблице спецификации определяется составом изделия. Для простых сборочных единиц, например, для мешалки разделы располагают в следующей последовательности: «Документация», «Детали», «Стандартные изделия», «Материалы». Наименование каждого раздела указывают в графе «Наименование» и подчеркивают тонкой линией. Пример заполнения спецификации дан на рисунке 15.

## **Основные требования к рабочему чертежу детали**

Рабочие чертежи деталей (рисунки 16 – 18) должны содержать все сведения необходимые для изготовления детали соответствующего качества и для проведения контроля [15]. Рабочий чертеж содержит: изображение детали с нанесенными размерами, предельные отклонения размеров, допуски формы и расположения, обозначения шероховатости поверхности, технические требования, основную надпись (Приложение Ж).

Допускается изготавливать детали из двух и более частей (например, разъемная ступица мешалки). В этом случае изображение должно соответствовать взаимному положению соединяемых частей после сборки с указанием общих размеров.

Изображение детали на рабочем чертеже должно содержать минимальное количество видов, разрезов и сечений, но достаточное для выявления формы детали и простановки размеров. Например, деталь изготовленная из листового материала (рисунки 17, 18) может иметь лишь один главный вид, а ее толщина указывается на выноске после буквы s. Деталь рекомендуется изображать в том положении, в котором ее устанавливают на станок при выполнении большинства технологических операций.

Правила нанесения размеров определены ГОСТ 2.307-68. Количество размеров должно быть минимальным, но достаточным для контроля и изготовления детали. Для всех размеров на рабочем чертеже детали указывают предельные отклонения (Приложение Ж), иначе они становятся неопределенными для производства. Значения предельных отклонений проставляются по значениям посадок указанных на чертеже общего вида или на сборочных чертежах. Для важнейших элементов детали, например использующихся для сопряжения при сборке с другой деталью предельные отклонения проставляются непосредственно после номинального размера. Значения неуказанных предельных отклонений размеров указывают в технических требованиях – надпись над штампом (рисунки 16 – 18).

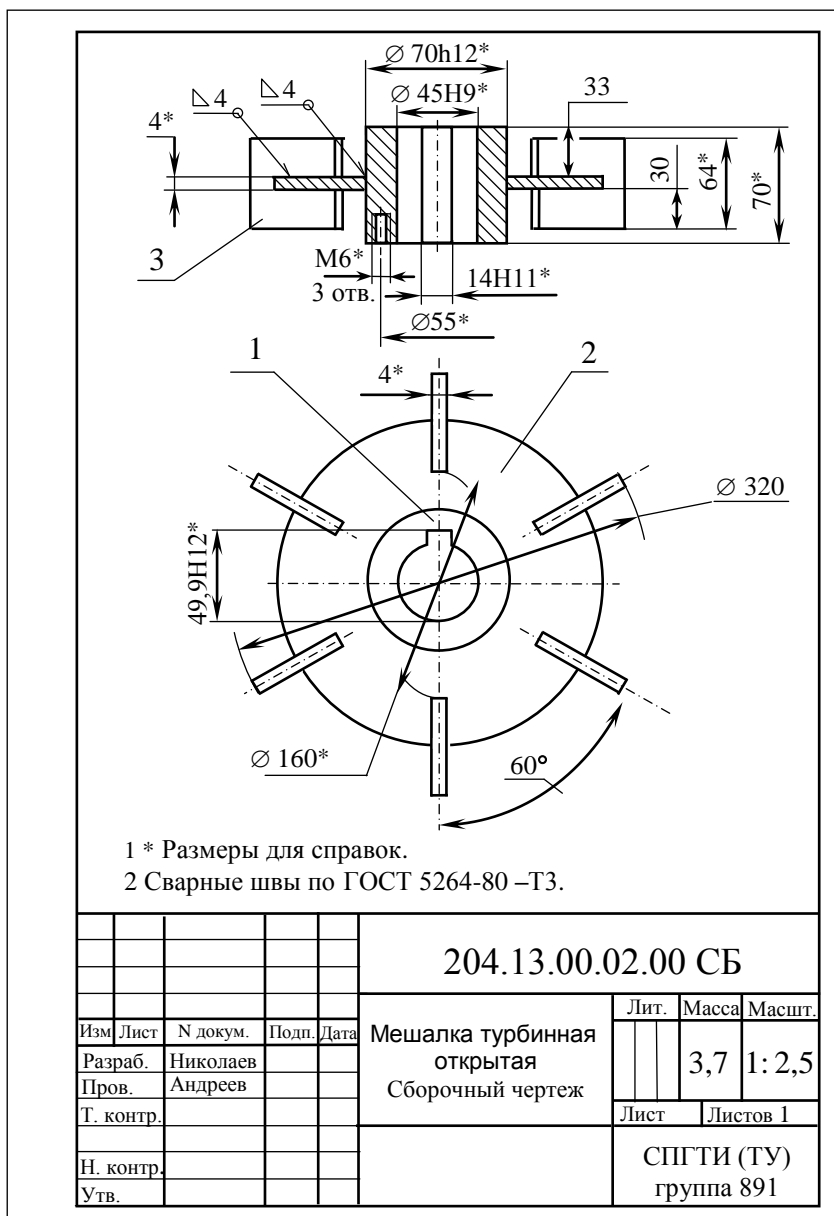


Рисунок 14 – Пример сборочного чертежа турбинной открытой мешалки

[illegible]

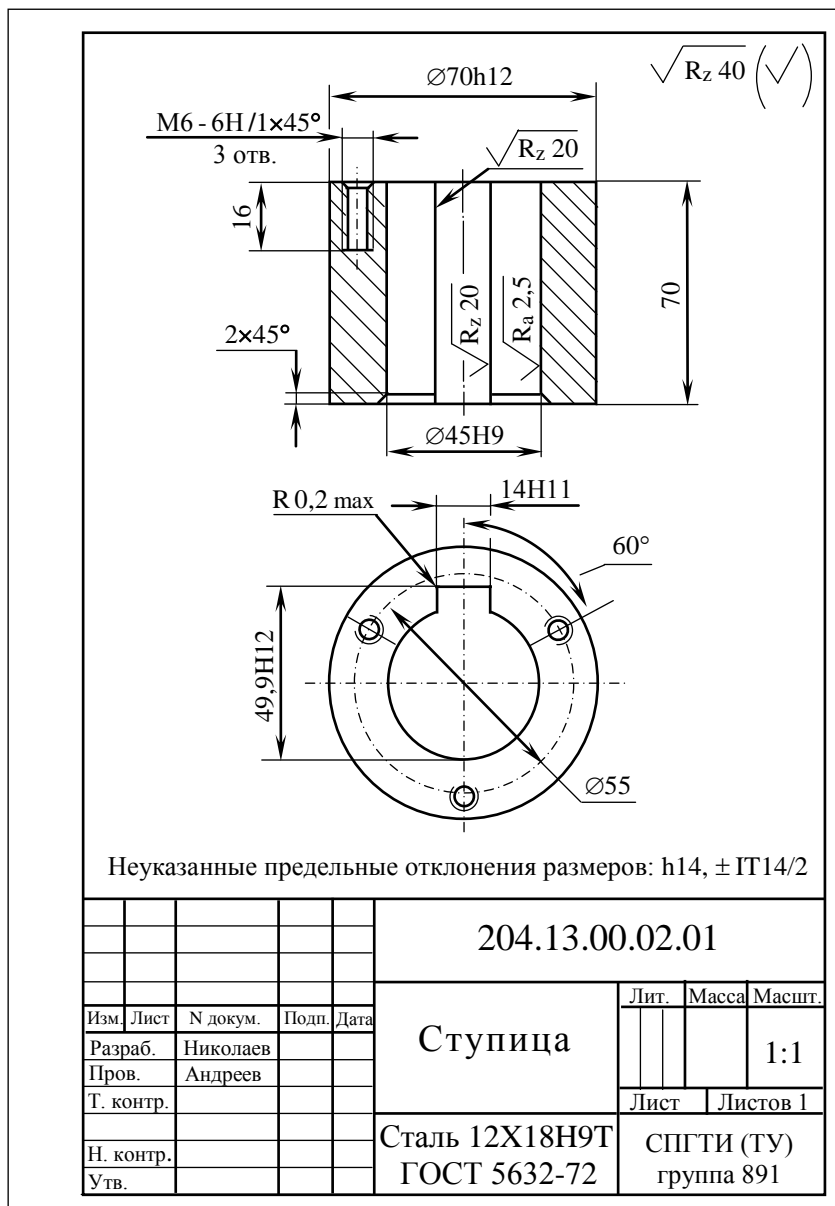


Рисунок 16 – Пример рабочего чертежа неразъемной ступицы

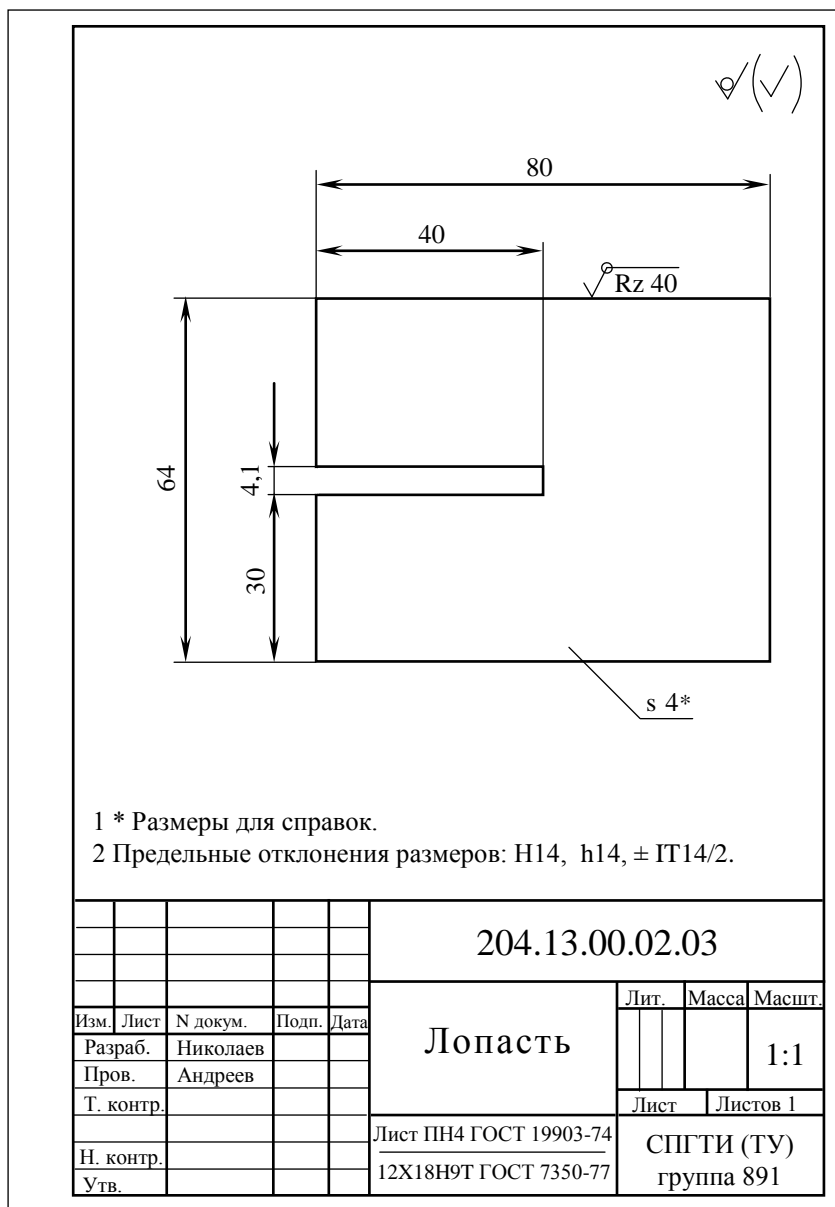


Рисунок 17 – Пример рабочего чертежа лопасти турбинной открытой мешалки





## ЛИТЕРАТУРА

- 1 Поляков, А. А. Механика химических производств : учеб. пособие для вузов / А. А. Поляков. – 2-е изд., стер. – М. : Изд-во ООО «Путь», ООО ТИД «Альянс», 2005. – 392 с.
- 2 Иосилевич, Г. Б. Прикладная механика / Г. Б. Иосилевич, Г. Б. Строганов, Г. С. Маслов ; под ред. Г. Б. Иосилевича – М. : Изд-во «Робинс», 2011. – 351 с.
- 3 Расчет и конструирование машин и аппаратов химических производств : примеры и задачи / М. Ф. Михалев, Н. П. Третьяков, А. И. Мильченко, В. В. Зобнин ; под ред. М. Ф. Михалева. – 2-е изд., испр. и доп. – М. : Торг.-издат. дом «Арис», 2010. – 309 с.
- 4 ПБ 03-576-03. Правила устройства и безопасной эксплуатации сосудов, работающих под давлением. – СПб. : Изд-во ДЕАН, 2007. – 204 с.
- 5 Лашинский, А. А. Конструирование сварных химических аппаратов : справ. / А. А. Лашинский. – 2-е изд., стер. – М. : Изд-во «Альянс», 2011. – 384 с.
- 6 ГОСТ Р 52857.1-2007 – ГОСТ Р 52857.12-2007. Сосуды и аппараты. Нормы и методы расчета на прочность. – М. : Изд-во стандартов, 2008. – 79 с.
- 7 ГОСТ 20680-2002. Аппараты с механическими перемешивающими устройствами. Общие технические условия. – М. : Изд-во стандартов, 2002. – 20 с.
- 8 ГОСТ Р 52630-2012. Сосуды и аппараты стальные сварные. Общие технические условия. – М. : Стандартиформ, 2013. – 87 с.
- 9 Уплотнения и уплотнительная техника : справ. / Л. А. Кондаков, А. И. Голубев, В. Б. Овандер и др.; под общ. ред. А. И. Голубева, Л. А. Кондакова. – М. : Машиностроение, 1986. – 464 с.
- 10 Мильченко, А. И. Прикладная механика : в 2 ч. – Ч. 1 : учеб. пособие для студ. учреждений высш. проф. образования / А. И. Мильченко. – М. : Издательский центр «Академия», 2013. – 256 с.
- 11 Мильченко, А. И. Прикладная механика : в 2 ч. – Ч. 2 : учеб. пособие для студ. учреждений высш. проф. образования / А. И. Мильченко. – М. : Издательский центр «Академия», 2013. – 256 с.
- 12 Васильцов, Э. А. Аппараты для перемешивания жидких сред : справ. пособие / Э. А. Васильцов, В. Г. Ушаков. – Л. : Машиностроение. Ленингр. отделение, 1979. – 272 с.
- 13 Борисов, В. З. Конструкционные материалы для оборудования химических производств. Справочные данные : метод. указания / В. З. Борисов. – Л. : ЛТИ им. Ленсовета, 1991. – 44 с.
- 14 Борисов, В. З. Конструкционные материалы для оборудования химических производств. Методика выбора материала : метод. указания / В. З. Борисов. – Л. : ЛТИ им. Ленсовета, 1991. – 24 с.
- 15 Попова, Г. Н. Машиностроительное черчение : справ. / Г. Н. Попова, С. Ю. Алексеев. – 3-е изд., перераб. и доп. – СПб. : Политехника, 2005. – 456 с.
- 16 Конструирование безопасных аппаратов для химических и нефтехимических производств / Г. Г. Смирнов, А. Р. Толчинский, Т. Ф. Кондратьева ; под общ. ред. А. Р. Толчинского. – Л. : Машиностроение. Ленингр. отделение, 1988. – 303 с.
- 17 Прикладная механика : учеб. пособие / А. Н. Луцко, М. Д. Телепнев, Н. А. Марцулевич, [и др.] ; под общ. ред. Н. А. Марцулевича. – 5-е изд., испр. – СПб. : СПбГТИ(ТУ), 2013. – 273 с.

- 18 Марцулевич, Н. А. Надежность химико-технологических систем : учеб. пособие / Н. А. Марцулевич, В. З. Борисов. – СПб. : СПбГУЭФ, 2002. – 149 с.
- 19 Бегун, П. И. Прикладная механика : учеб. для не машиностроительных направлений и специальностей вузов / П. И. Бегун, О. П. Кормилицин. – 2-е изд., перераб. и доп. – СПб. : Политехника, 2006. – 463 с.
- 20 Рахмилевич, З. З. Справочник механика химических и нефтехимических производств / З. З. Рахмилевич, И. М. Радзин, С. А. Фармазов. – М. : Химия, 1985. – 592 с.
- 21 Шпаков, О. Н. Азбука трубопроводной арматуры : справ. пособие / О. Н. Шпаков. – СПб. : Изд-во «Компрессорная и химическая техника», 2003. – 217 с.
- 22 Р 50-83-88. Рекомендации. Расчеты и испытания на прочность валов и осей. М. : Изд-во стандартов, 1989. – 72 с.
- 23 РДРТМ 26-01-72-82. Руководящий технический материал. Валы вертикальные аппаратов с перемешивающими устройствами. Методы расчета. – Л. : Изд-во Минхиммаш, 1982. – 141 с.
- 24 Воробьева, Г. Я. Коррозионная стойкость материалов в агрессивных средах химических производств / Г. Я. Воробьева. – 2-е изд., перераб. и доп. – М. : Химия, 1975. – 816 с.
- 25 СТО СПбГТИ(ТУ) 044 – 2012. Стандарт организации. Комплексная система управления качеством деятельности вуза. Виды учебных занятий. Курсовой проект. Курсовая работа. Общие требования. – СПб. : СПбГТИ(ТУ), 2012. – 44 с.
- 26 СТП СПбГТИ 006 – 2009. Стандарт предприятия. Комплексная система управления качеством деятельности вуза. Подготовка и оформление авторских текстовых оригиналов для издания. – СПб. : СПбГТИ(ТУ), ИК «Синтез», 2009. – 32 с.
- 27 Механика : учеб. пособие / Н. А. Марцулевич, А. И. Мильченко, А. Н. Луцко, М. Д. Телепнев, В. В. Федотов, Э. А. Павлова, О. В. Сташевская. – СПб. : СПбГТИ(ТУ), ИК «Синтез», 2008. – 295 с.
- 28 Луцко, А. Н. Гидродинамические нагрузки на вал мешалки, расположенный симметрично в аппарате / А. Н. Луцко, М. Д. Телепнев, О. В. Сташевская. Математические методы в технике и технологиях – ММТТ : сб. трудов XXI Международной науч. конференции : в 10 т. Т. 3. Секция 2, 6 / под общ. ред. В. С. Балакирева. – Саратов : Саратов. гос. техн. ун-т, 2008. – С. 337-339.
- 29 Леликов, О. П. Валы и опоры с подшипниками качения. Конструирование и расчет : справ. / О. П. Леликов. – М. : Машиностроение, 2008. – 640 с.
- 30 Марцулевич, Н. А. Техническая механика. Часть II. Сопротивление материалов. Детали машин : учебное пособие / Н. А. Марцулевич, А. Н. Луцко, Д. А. Бартенев ; под ред. Н. А. Марцулевича. – СПб. : СПбГТИ (ТУ), ИК «Синтез», 2010. – 493 с.
- 31 Проектирование механических передач : учеб.-справ. пособие для втузов / С. А. Чернавский, Г. А. Снесарев, Б. С. Козинцов [и др.]. – 6-е изд., перераб. и доп. – М. : Изд-во «Альянс», 2011. – 590 с.
- 32 Сташевская, О. В. О взаимосвязи между мощностью перемешивания, крутящим моментом и осевой гидродинамической силой, действующих на трехлопастную с наклонными лопастями мешалку в момент пуска / О. В. Сташевская, Н. А. Марцулевич, В. В. Федотов. «Молодой инженер – основа научно-технического прогресса» : Сборник научных трудов Международной научно-технической конференции (9-10 октября 2015 года) / редкол. : Губанов В. С. (отв. редактор) ; Юго-Западный гос. ун-т, Курск, 2015. – С. 353-356.

**ПРИЛОЖЕНИЕ А**  
(обязательное)

**Исходные данные для проектирования**

**Таблица А.1**

Номер варианта	Параметры корпуса аппарата				Параметры мешалки				Параметры технологического процесса				Характеристики рабочей среды		
	Обозначение корпуса	Внутренний диаметр	Номинальный объем	Внутренние устройства *	Тип мешалки	Диаметр	Частота вращения	Мощность	Избыточное давление в корпусе	Давление в рубашке	Уровень жидкости в корпусе	Температура рабочей среды	Наименование наиболее агрессивного компонента рабочей среды	Плотность	Концентрация **
№ п/п	OK	D	V	ВУ	ТМ	d <sub>м</sub>	n <sub>м</sub>	N <sub>м</sub>	p <sub>и</sub>	p <sub>руб</sub>	H <sub>с</sub>	t <sub>с</sub>	PC	ρ <sub>с</sub>	C <sub>с</sub>
		мм	м <sup>3</sup>			мм	об/мин	кВт							
00	10	1600	3,2	П, 3	03	400	200	3,3	Табл. А.2	-	1,6	20	H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub>	1335	50
01	11	1600	3,2	П	01	360	250	1,2		0,55	1,4	60	Al(NO <sub>3</sub> ) <sub>3</sub>	1030	40
02	30	1600	3,2	3	07	800	125	1,3		-	1,6	100	NH <sub>4</sub> OH	890	30
03	31	1600	3,2	-	10	1400	63	1,5		0,5	1,7	110	Толуол	870	80
* Обозначения внутренних устройств: 3 – змеевик; П – отражательные перегородки.															
** Массовая концентрация водных растворов или суспензий															

Продолжение таблицы А.1

№ п/п	ОК	D	V	ВУ	ТМ	d <sub>м</sub>	n <sub>м</sub>	N <sub>м</sub>	р <sub>и</sub>	р <sub>руб</sub>	Н <sub>с</sub>	t <sub>с</sub>	РС	ρ <sub>с</sub>	С <sub>с</sub>
		мм	м <sup>3</sup>			мм	об/мин	кВт						кг/м <sup>3</sup>	%
04	11	1600	4,0	-	10	1250	63	1,3	Табл. А.2	0,3	1,8	20	КОН	1280	30
05	10	1600	4,0	П, 3	01	500	250	1,3		-	1,7	120	Нефтепродукты	840	-
06	31	1600	4,0	-	10	1320	80	2,7		0,5	2,1	50	H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub>	1025	5
07	30	1600	4,0	П, 3	03	450	160	4,6		-	2,3	20	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	1190	40
08	10	1800	5,0	3	07	900	100	1,0		-	1,8	20	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	1190	40
09	11	1800	5,0	-	10	1320	63	1,3		0,45	1,9	60	Al(NO <sub>3</sub> ) <sub>3</sub>	1030	40
10	31	1800	5,0	-	10	1500	63	2,0		0,55	2,4	100	Нефтепродукты	840	-
11	30	1800	5,0	3	01	500	250	1,0		-	2,2	60	Нефтепродукты	840	-
12	30	1800	6,3	П, 3	03	500	200	6,7		-	2,4	20	NH <sub>4</sub> OH	890	30
13	10	1800	6,3	3	03	450	250	4,8		-	2,3	100	Глицерин	1200	-
14	11	1800	6,3	П	07	900	80	1,1		0,45	1,9	20	Глицерин	1200	-
15	31	1800	6,3	-	10	1500	63	2,5		0,55	2,8	100	HNO <sub>3</sub>	1050	10
16	10	2000	8,0	П, 3	07	1120	63	1,4		-	1,9	140	HNO <sub>3</sub>	1050	10
17	11	2000	8,0	-	10	1600	50	1,7		0,35	2,4	80	Уксусная кислота	1020	15
18	31	2000	8,0	-	10	1700	50	2,3		0,35	2,5	50	H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub>	1025	5
19	30	2000	8,0	П, 3	01	630	200	1,3		-	2,6	100	Al(NO <sub>3</sub> ) <sub>3</sub>	1030	40
20	10	2200	10,0	П, 3	01	710	200	1,9		-	2,3	50	Толуол	870	80
21	11	2200	10,0	П	03	500	250	11,8		0,35	2,5	100	Толуол	870	80
22	31	2200	10,0	-	10	1900	32	1,3		0,35	3,1	100	КОН	1280	30

Продолжение таблицы А.1

№ п/п	ОК	D	V	ВУ	ТМ	d <sub>м</sub>	n <sub>м</sub>	N <sub>м</sub>	р <sub>и</sub>	р <sub>руб</sub>	H <sub>с</sub>	t <sub>с</sub>	РС	ρ <sub>с</sub>	C <sub>с</sub>
		мм	м <sup>3</sup>			мм	об/мин	кВт	МПа	Мпа	м	°С		кг/м <sup>3</sup>	%
23	30	2200	10,0	П, 3	01	630	250	3,0	Табл. А.2	-	2,9	20	КОН	1280	30
24	10	2400	12,5	П, 3	07	1120	80	2,3		-	2,6	150	Нефтепродукты	840	-
25	11	2400	12,5	П	03	710	160	18,1		0,35	2,7	50	Нефтепродукты	840	-
26	31	2400	12,5	-	10	2000	40	2,2		0,3	3,0	100	Нефтепродукты	840	-
27	30	2400	12,5	3	01	800	160	1,7		-	2,9	20	AlCl <sub>3</sub>	1090	10
28	10	2400	12,5	П, 3	01	710	200	2,4		-	2,5	60	AlCl <sub>3</sub>	1090	10
29	11	2400	12,5	П	07	1250	50	1,7		0,35	2,4	20	HNO <sub>3</sub>	1480	90
30	30	2400	12,5	П, 3	03	630	160	12,6		-	3,1	20	H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub>	1025	5
31	31	2400	12,5	-	10	2000	40	2,8		0,3	3,2	60	AlCl <sub>3</sub>	1090	10
32	10	2400	16,0	П, 3	01	800	200	4,3		-	3,0	20	AlCl <sub>3</sub>	1090	10
33	11	2400	16,0	П	01	630	250	5,8		0,35	3,1	20	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	1190	40
34	31	2400	16,0	-	10	1900	40	2,7		0,3	3,8	20	H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub>	1335	50
35	31	2400	16,0	П	03	800	100	10,1		0,35	3,6	50	H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub>	1025	5
36	10	2400	16,0	П, 3	07	1120	100	4,5		-	3,1	200	Нефтепродукты	840	-
37	11	2400	16,0	П	03	710	125	8,9		0,35	3,2	100	Нефтепродукты	840	-
38	30	2400	16,0	П, 3	01	800	200	3,3		-	3,5	60	Нефтепродукты	840	-
39	31	2400	16,0	-	10	2000	40	2,3		0,3	3,7	20	NH <sub>4</sub> OH	890	30
40	30	2400	16,0	3	03	710	160	9,2		-	3,8	40	NH <sub>4</sub> OH	890	30
41	31	2400	16,0	-	10	2120	32	1,6		0,35	3,6	60	NH <sub>4</sub> OH	890	30
42	10	2600	20,0	П, 3	07	1400	40	1,3		-	3,2	200	Глицерин	1200	-

Продолжение таблицы А.1

№ п/п	ОК	D	V	ВУ	ТМ	d <sub>м</sub>	n <sub>м</sub>	N <sub>м</sub>	р <sub>и</sub>	р <sub>руб</sub>	H <sub>с</sub>	t <sub>с</sub>	РС	ρ <sub>с</sub>	C <sub>с</sub>
		мм	м <sup>3</sup>			мм	об/мин	кВт						кг/м <sup>3</sup>	%
43	11	2600	20,0	П	01	710	250	5,1	Табл. А.2	0,35	3,0	100	Глицерин	1200	-
44	10	2600	20,0	П, 3	03	710	125	12,8		-	3,5	20	Глицерин	1200	-
45	11	2600	20,0	-	10	2240	32	2,5		0,3	3,3	120	HNO <sub>3</sub>	1050	10
46	10	2600	20,0	П, 3	01	800	200	4,1		-	3,1	20	HNO <sub>3</sub>	1050	10
47	11	2600	20,0	П	03	800	125	18,7		0,35	3,4	110	HNO <sub>3</sub>	1050	10
48	10	2600	20,0	3	07	1250	80	2,7		-	3,2	60	(NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	1228	40
49	11	2600	20,0	-	10	2120	32	2,2		0,3	3,3	100	(NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	1228	40
50	10	2600	20,0	3	01	710	250	3,9		-	3,0	20	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	1190	40
51	11	2600	20,0	П	03	630	160	14,4		0,35	3,3	20	(NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	1228	40
52	10	2600	20,0	3	07	1120	32	2,5		-	3,1	20	HNO <sub>3</sub>	1480	90
53	11	2600	20,0	-	10	2240	25	1,4		0,35	3,4	60	(NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	1228	40
54	30	2800	20,0	П, 3	03	800	125	16,2		-	3,7	200	Нефтепродукты	840	-
55	31	2800	20,0	-	10	2360	25	1,3		0,32	3,6	80	NH <sub>4</sub> OH	890	30
56	30	2800	20,0	3	07	1250	80	2,6		-	3,4	100	Глицерин	1200	-
57	31	2800	20,0	П	03	710	160	23,5		0,28	3,8	50	AlCl <sub>3</sub>	1090	10
58	30	2800	20,0	3	01	900	160	3,4		-	3,5	20	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	1190	40
59	31	2800	20,0	-	10	2240	32	2,4		0,36	3,7	20	H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub>	1025	5
60	30	2800	20,0	П, 3	01	800	200	5,0		-	3,4	110	КОН	1280	30
61	31	2800	20,0	П	07	1600	40	1,8		0,3	3,3	50	Толуол	870	80

Продолжение таблицы А.1

№ п/п	ОК	D	V	ВУ	ТМ	d <sub>м</sub>	n <sub>м</sub>	N <sub>м</sub>	р <sub>и</sub>	р <sub>руб</sub>	Н <sub>с</sub>	t <sub>с</sub>	РС	ρ <sub>с</sub>	C <sub>с</sub>
		мм	м <sup>3</sup>			мм	об/мин	кВт						кг/м <sup>3</sup>	%
62	11	2800	25,0	-	10	2360	32	2,6	Табл. А.2	0,25	3,6	150	Нефтепродукты	840	-
63	10	2800	25,0	3	01	900	200	4,9		-	3,3	20	NH <sub>4</sub> OH	890	30
64	11	2800	25,0	П	03	800	125	15,9		0,3	3,7	60	NH <sub>4</sub> OH	890	30
65	10	2800	25,0	3	07	1400	63	1,4		-	3,5	100	NH <sub>4</sub> OH	890	30
66	11	2800	25,0	-	10	2360	32	6,7		0,38	3,6	110	Толуол	870	80
67	30	2800	25,0	3	01	710	250	4,0		-	4,1	100	Толуол	870	80
68	31	2800	25,0	П	03	800	125	16,3		0,35	4,3	60	Толуол	870	80
69	10	1600	3,2	П, 3	03	400	200	3,3		-	1,6	60	КОН	1280	30
70	11	1600	3,2	П	01	360	160	1,2		0,3	1,4	100	КОН	1280	30
71	30	1600	3,2	3	01	500	200	1,1		-	1,6	20	КОН	1280	30
72	31	1600	3,2	-	10	1400	63	1,5		0,26	1,7	300	Нефтепродукты	840	-
73	11	1600	4,0	-	10	1250	63	1,3		0,3	1,8	200	Нефтепродукты	840	-
74	10	1600	4,0	П, 3	01	500	125	1,3		-	1,7	100	Нефтепродукты	840	-
75	31	1600	4,0	-	10	1320	80	2,7		0,35	2,1	60	(NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	1228	40
76	30	1600	4,0	П, 3	03	450	160	4,6		-	2,3	100	Al(NO <sub>3</sub> ) <sub>3</sub>	1030	40
77	10	1800	5,0	3	07	900	100	1,0		-	1,8	100	(NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	1228	40
78	11	1800	5,0	-	10	1320	63	1,3		0,42	1,9	60	(NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	1228	40
79	31	1800	5,0	-	10	1500	63	2,0		0,25	2,4	30	AlCl <sub>3</sub>	1090	10
80	30	1800	5,0	3	01	500	200	1,0		-	2,2	50	H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub>	1025	5



Продолжение таблицы А.1

№ п/п	ОК	D	V	ВУ	ТМ	d <sub>м</sub>	n <sub>м</sub>	N <sub>м</sub>	р <sub>и</sub>	р <sub>руб</sub>	Н <sub>с</sub>	t <sub>с</sub>	РС	ρ <sub>с</sub>	С <sub>с</sub>
		мм	м <sup>3</sup>			мм	об/мин	кВт							
81	11	1800	5,0	-	10	1320	63	1,3	Табл. А.2	0,22	2,4	20	AlCl <sub>3</sub>	1090	10
82	31	1800	5,0	-	10	1500	63	2,0		0,3	2,3	20	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	1190	40
83	30	1800	5,0	3	01	500	160	1,0		-	1,9	60	Al(NO <sub>3</sub> ) <sub>3</sub>	1030	40
84	30	1800	6,3	П, 3	03	500	200	6,7		-	2,8	100	Al(NO <sub>3</sub> ) <sub>3</sub>	1030	40
85	10	1800	6,3	3	03	450	250	4,8		-	1,9	200	Нефтепродукты	840	-
86	11	1800	6,3	П	07	900	80	1,1		0,25	2,7	100	Нефтепродукты	840	-
87	31	1800	6,3	-	10	1500	63	2,5		0,35	2,6	60	Нефтепродукты	840	-
88	10	2000	8,0	П, 3	07	1120	63	1,4		-	1,9	90	NH <sub>4</sub> OH	890	30
89	11	2000	8,0	-	10	1600	50	1,7		0,4	2,4	20	NH <sub>4</sub> OH	890	30
90	31	2000	8,0	-	10	1700	50	2,3		0,35	2,5	60	NH <sub>4</sub> OH	890	30
91	30	2000	8,0	П, 3	01	630	200	1,3		-	2,6	150	Глицерин	1200	-
92	10	2200	10,0	П, 3	01	710	200	1,9		-	2,3	20	Глицерин	1200	-
93	11	2200	10,0	П	03	500	250	11,8		0,28	2,5	120	Глицерин	1200	-
94	31	2200	10,0	-	10	1900	32	1,3		0,18	3,1	100	КОН	1280	30
95	30	2200	10,0	П, 3	01	630	250	3,0		-	2,9	20	КОН	1280	30
96	11	2400	12,5	П	03	710	160	18,1		0,3	3,2	20	NH <sub>4</sub> OH	890	30
97	10	2600	20,0	3	01	710	250	3,9		-	3,0	20	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	1190	40
98	11	2800	25,0	-	10	2360	32	2,6		0,25	3,6	150	Нефтепродукты	840	-
99	11	2800	25,0	-	10	2360	32	6,7		0,38	3,6	110	Толуол	870	80

Таблица А.2 – Варианты значений избыточных давлений в корпусе ( $P_{и}$ )

		Первая буква фамилии																							
		А	Б	В	Г	Д	Е	Ж,З	И	К	Л	М	Н	О	П	Р	С	Т	У,Ф	Х,Ц	Ч,Ш	Щ	Э,Ю	Я	
Первая буква имени	А	1,13	0,63	0,41	0,80	0,75	0,55	0,82	0,74	0,87	0,83	0,68	0,52	0,86	0,88	0,90	1,19	0,33	1,10	0,56	0,71	0,49	0,55	0,65	
	Б	0,90	0,32	0,99	0,49	0,26	0,84	0,56	0,92	0,65	0,98	0,32	0,70	0,48	1,04	0,21	0,88	0,59	0,75	1,00	0,43	1,09	0,98	0,31	
	В	0,56	0,86	1,08	0,93	0,45	0,27	0,30	0,89	0,23	0,58	1,11	0,51	0,30	0,95	0,45	0,57	0,92	1,02	0,23	0,81	0,36	0,70	0,91	
	Г	0,82	0,22	0,87	0,68	1,02	0,52	0,78	0,47	0,96	1,18	0,98	1,05	0,87	0,69	1,10	0,97	0,27	0,57	0,83	0,97	0,74	0,93	0,57	
	Д	0,78	1,04	0,34	1,13	1,20	0,37	0,50	0,99	0,27	1,06	0,60	1,09	0,51	1,15	0,91	0,39	0,66	0,46	1,15	0,88	0,40	0,25	0,62	
	Е	1,02	0,46	0,91	0,93	0,81	0,90	0,24	0,95	0,85	0,29	0,86	0,49	0,72	0,40	0,77	0,55	0,60	0,85	0,35	0,22	0,45	1,01	0,40	
	Ж,З	0,79	0,25	0,38	0,76	1,17	0,54	1,09	1,19	1,07	0,92	0,35	1,20	0,21	1,00	0,85	1,02	0,32	1,12	1,07	0,80	0,25	0,39	0,83	
	И	0,59	0,84	0,94	0,53	0,25	0,82	0,33	0,73	1,17	0,48	0,83	0,29	0,94	1,18	0,76	1,13	0,84	0,29	0,62	0,33	0,71	0,21	0,69	
	К	1,17	0,52	0,97	0,31	0,70	0,47	1,01	0,61	0,39	0,90	1,01	0,64	0,35	0,96	0,89	0,36	0,51	0,95	0,68	0,20	1,20	0,61	0,55	
	Л	0,86	0,23	0,46	0,72	1,05	0,79	1,03	0,53	1,06	0,60	0,97	0,79	1,14	0,78	0,36	1,16	0,81	0,46	1,03	0,78	0,28	0,73	0,66	
	М	0,66	1,11	1,15	0,34	0,74	0,93	0,38	1,15	0,22	0,36	1,03	0,54	0,79	0,33	0,99	0,56	0,68	1,05	0,31	0,92	1,05	0,67	0,32	
	Н	0,58	0,90	0,28	0,75	1,11	1,20	0,87	0,39	1,10	0,74	1,10	0,46	0,49	0,82	1,10	1,16	0,34	0,24	0,67	0,52	0,24	0,88	0,64	
	О	1,09	0,77	1,03	0,27	0,40	1,08	0,84	0,94	0,42	0,50	0,76	1,00	0,81	0,22	0,47	0,75	1,03	0,94	1,14	0,76	0,80	0,53	0,71	
	П	0,65	0,31	0,72	0,36	1,18	0,21	0,72	0,89	1,14	1,06	0,37	0,44	1,19	1,08	0,64	1,12	0,20	0,55	1,19	1,02	0,26	0,75	0,30	
	Р	0,70	1,06	1,16	0,62	0,50	0,73	1,18	0,77	0,40	1,00	0,31	0,84	0,48	0,99	0,77	0,34	0,62	1,18	0,92	0,66	0,32	1,17	0,48	
	С	0,21	0,94	0,47	1,04	0,91	0,35	0,97	0,33	0,85	1,12	0,78	0,24	0,70	1,07	0,67	1,04	0,54	1,03	0,58	0,83	0,48	0,82	0,96	
	Т,У	0,88	0,52	0,69	0,57	1,07	1,15	1,06	0,48	1,16	0,33	0,53	0,60	0,27	0,25	1,14	0,45	0,61	1,20	0,65	0,39	0,34	0,98	0,62	
	Ф,Х	0,37	0,96	0,23	0,90	1,12	0,59	0,39	1,01	1,13	0,56	0,24	0,59	1,05	0,65	0,38	0,63	0,30	0,69	0,39	0,57	0,94	0,86	0,38	
	Ц,Ч	0,61	1,10	0,85	0,26	0,50	0,72	0,67	0,31	0,66	0,56	0,69	1,11	1,01	0,37	0,89	0,50	0,74	0,20	0,80	0,88	0,51	0,26	0,44	
	Ш,Щ	0,28	0,40	0,64	0,89	0,95	0,28	1,04	0,53	0,93	0,23	0,98	0,61	0,58	1,10	0,26	1,14	1,20	0,45	0,60	0,29	1,08	0,73	0,91	
Э	0,54	0,60	1,13	1,00	0,30	0,82	0,45	0,99	0,71	1,12	0,34	1,03	0,80	1,09	1,16	0,81	1,19	0,87	0,95	0,79	0,22	0,37	0,77		
Ю	0,90	0,25	0,76	0,38	0,64	1,11	0,58	0,29	0,50	0,63	0,92	0,21	0,54	0,32	1,17	1,08	0,35	0,66	0,28	0,63	0,75	0,53	0,71		
Я	0,75	0,63	1,07	0,73	0,20	0,55	0,67	0,80	0,49	0,88	0,51	0,77	0,54	0,79	0,60	0,36	0,96	0,47	0,68	0,59	0,55	0,72	0,20		

## ПРИЛОЖЕНИЕ Б

(справочное)

### Материалы, применяемые при изготовлении аппаратов

Применимость материалов для изготовления элементов аппаратов основывается на температурной области применения, коррозионной стойкости, прочности, литейных качествах, пригодности для механической обработки (обработка резанием, штамповкой), свариваемости, а также на виде выпускаемого сортамента. При выборе конструкционного материала необходимо учитывать экономическую целесообразность его применения.

Чугуны и стали представляют собой сплавы железа с углеродом. Они относятся к черным металлам. Сталями называют сплавы, в которых содержится от 0,08 до 2,14% углерода [1]. Как правило, они имеют хорошую однородную структуру. В чугунах содержание углерода составляет от 2,14 до 6,67%. Их структура может быть неоднородна, содержит многочисленные дефекты, поры, трещины и т.п. В сплав железа с углеродом входят другие элементы в виде сопутствующих примесей (Si, Mn, S, P) или специально вводимых легированных элементов (Cr, Ni, Ti, V, W, Al и др.). Вредными примесями, ухудшающими свойства стали, являются сера (придает хрупкость при горячей обработке материалов ковкой и прокатом) и фосфор (придает хрупкость при пониженных температурах).

В зависимости от состава чугуны делят на белые и серые (по цвету излома). *Белый чугун* применяется в химическом машиностроении для изготовления деталей подверженных износу. Детали получают литьем. Белый чугун хрупок, имеет высокую твердость, плохо обрабатывается механически.

*Серый чугун* – основной литейный материал в машиностроении. В химическом машиностроении он используется для изготовления станин, корпусов как наиболее дешевый материал. Серый чугун достаточно прочен, износостоек, обладает хорошими литейными качествами, поддается дополнительной механической обработке, но нестойк в агрессивных средах. Марки серого чугуна обозначают начальными буквами СЧ и значением предела прочности при растяжении в МПа, деленным на 10, например, СЧ 18 ( $\sigma_{пч} = 180 \text{ МПа}$ ).

Стали по химическому составу делят на углеродистые и легированные, в которых содержание легирующих компонентов составляет более 1%. Конструкционные стали делят на стали обыкновенного качества и качественные стали.

*Стали обыкновенного качества* по ГОСТ 380 – 2005 маркируются буквами Ст и номерами 0, 1, 2, ... 6. Чем больше номер, тем выше прочность и ниже пластичность. Для обозначения степени раскисления к марке добавляют индексы: кп – кипящая, сп – спокойная, пс – полуспокойная. В зависимости от нормируемых показателей по химическому

составу и механическим свойствам прокат подразделяют на пять категорий. При необходимости номер категории указывают после обозначения марки стали, например, СтЗсп5.

*Качественные углеродистые стали* по ГОСТ 1050 – 88 маркируют двумя цифрами, обозначающими среднее содержание углерода в сотых долях процента: 05, 08, 10, 11, 15, 18, 20, 25, 30, 35, 40, 45, 50, 55, 60. В марках стали с 05 до 20 могут добавляться в обозначении индексы: кп, пс. С повышением содержания углерода прочность стали увеличивается, а пластичность снижается.

*Легированные стали* в зависимости от общего содержания легирующих элементов делят на низколегированные (менее 3% добавок), среднелегированные (от 3 до 10%), высоколегированные (свыше 10%). Если сталь содержит более 50% легирующих добавок, ее называют сплавом.

Хром повышает прочность, твердость и износостойкость стали, но снижает пластичность. При введении более 12% хрома она становится нержавеющей.

*Маркировка легированных сталей.*

Русскими буквами в марках стали обозначают легирующие элементы: А – азот (не ставится в конце марки), Б – ниобий, В – вольфрам, Г – марганец, Д – медь, К – кобальт, М – молибден, Н – никель, С – кремний, Т – титан, Ю – алюминий, Х – хром, Ц – цирконий, Ф – ванадий, Р – бор.

Первые две цифры, стоящие в начале марки, показывают среднее содержание углерода в сотых долях процента, а цифры, следующие за буквами, среднее содержание данного элемента в целых процентах. Например, нержавеющая сталь 12Х18Н10Т содержит:  $C \approx 0,12 \%$ ,  $Cr \ 18 \%$ ,  $Ni \ 10 \%$ ,  $Ti \approx 1 \%$ . Если содержание углерода в стали составляет 1% и более, а данного легирующего компонента меньше или около 1%, то цифра перед маркой и после буквы отсутствует. Например, сталь ХВ5 содержит:  $C \approx 1,3 \%$ ,  $Cr \ 1 \%$  и  $W \approx 5 \%$ . Буква А в конце марки означает, что сталь высококачественная, имеет гарантированный химический состав и пониженное содержание серы и фосфора (по 0,025%). Марки стали лишь примерно соответствуют составу и служат условными обозначениями, а не рецептами.

Низколегированные стали прочнее обычных малоуглеродистых сталей. Высоколегированные кислотостойкие стали составляют особую группу среди сталей. Никель добавляют в хромистую сталь для повышения ее стойкости к кислотам. Однако введение никеля существенно удорожает сталь. Поэтому часть никеля заменяют марганцем в сочетании с азотом.

Высоколегированные стали и сплавы с особыми свойствами выделены в отдельные группы с соответствующими обозначениями: Ж – хромистые нержавеющие, Я – хромоникелевые нержавеющие, Ш – шарикоподшипниковые.

*Алюминий* применяют в виде сплавов, которые делят на *деформируемые* и *литейные*. Алюминий и его сплавы обладают высокой коррозионной стойкостью, удельной прочностью. Деформируемые сплавы

маркируют буквами и цифрами, указывающими состав или условный номер сплава. Например, АМц – алюминивно-марганцевый сплав. К упрочняемым термообработкой алюминиевым сплавам относят *дюралюмины* Д1, Д16 и другие сплавы на основе системы алюминий-медь-марганец. Алюминиевые литейные сплавы более высоко легированы, чем деформируемые, их обозначают буквами АЛ и цифрами, например, АЛ1. Механические свойства литейных алюминиевых сплавов хуже, чем деформируемых. Сплавы алюминия с кремнием называют *силуминами*.

*Медь* марок М000, М00, М0, М1, М2, М3 (чистой меди соответственно 99,999; 99,99; 99,95; 99,9; 99,7; 99,5) применяют для изготовления элементов химического оборудования, работающих в интервале температур от – 254 до + 250 °С при давлении до 0,6 МПа со средами средней агрессивности.

*Латунь* – сплав меди с цинком (до 50 %). Простые латуни содержат не более 38 % цинка. Они прочнее, более коррозионностойки, чем медь. Простая латунь маркируется буквами и цифрами: Л96, Л90, Л63. Буква Л означает латунь, а цифры – среднее содержание меди в процентах.

*Бронза* – сплав меди с оловом и другими элементами: алюминием, бериллием, свинцом, кремнием, марганцем. Обладают хорошими антифрикционными свойствами, хорошо обрабатываются резаньем, коррозионно-устойчивы. Бронзы обозначают буквами БР и условными обозначениями компонентов (помимо меди): А – алюминий, Б – бериллий, Ж – железо, К – кремний. Мц – марганец, Н – никель, О – олово, С – свинец, Ц – цинк, Ф – фосфор – и цифрами, которые выражают среднее содержание компонентов в процентах. Например, марка БрОЦС 5-5-5 указывает на то, что бронза содержит по 5% олова, цинка и свинца, остальное медь.

*Свинец* марок С0000, С000, С00, С0, С1, С2, С3 (последняя марка – чистого свинца 99,90 %) применяют в качестве покрытий от коррозии внутренних поверхностей стальных аппаратов, а также для защиты от рентгеновских и ядерных излучений.

*Никель* марок Н-0, Н-1, Н-2, Н-3 обладает высокой коррозионной стойкостью во многих средах, но как конструкционный материал дорог и дефицитен, используется как легирующий компонент. Особенно кислотостойки сплавы ХН65МВ, Н70МФ.

*Титан* и его сплавы (ОТ4-0, ОТ4-1, ОТ-4, ВТ1-0, ВТ6) отличаются от других конструкционных материалов малой плотностью (4540 кг/м<sup>3</sup>), высокой прочностью и очень высокой коррозионной стойкостью и теплостойкостью. Срок эксплуатации оборудования из титана (выпарные аппараты, реакторы, фильтры, центрифуги) возрастает в 10-20 раз.

В химическом машиностроении применяются тугоплавкие металлы – тантал, ниобий, цирконий, молибден.

*Порошковая металлургия* позволяет получать из металлических и неметаллических порошков (графит, глинозем, карбиды, бориды и т.д.) прессованием под давлением 100 – 600 МПа в заданных пресс-формах при последующем спекании детали, не требующие дальнейшей механи-

ческой обработки, обладающие заданными свойствами. Полученные детали имеют наиболее высокую прочность и износостойкость (вкладыши не смазываемых подшипников, фильтры, лопадки турбин и компрессоров, детали, работающие в условиях интенсивного коррозионного и абразивного воздействия среды).

*Термическую и химико-термическую обработку* применяют для улучшения и регулирования свойств сталей и сплавов. Термическую обработку делят на отжиг, нормализацию, закалку, отпуск.

*Отжиг* применяют для понижения твердости и повышения пластичности металлов и сплавов. Отжиг заключается в медленном нагреве деталей в печи, выдержке при заданной температуре и медленном охлаждении вместе с печью.

*Закалка* заключается в нагреве детали до 800 – 950 °С и последующем быстром охлаждении на воздухе, в воде, масле, растворах солей и кислот.

*Отпуск* – окончательная операция термообработки закаленных сталей, алюминиевых и бериллиевых бронз. Он позволяет снизить остаточные напряжения, уменьшает хрупкость и твердость. Отпуск состоит из нагрева до 150 – 680 °С, выдержки и быстрого или медленного, для разных материалов, охлаждения. Термообработка, состоящая из закалки и высокого отпуска (нагрев до 500 – 680 °С), называется *улучшением*.

*Цементацией* называют процесс диффузионного насыщения углеродом поверхностного слоя изделий из закаливаемых сталей. Процесс ведут при температуре 900 – 970 °С в течение 2 – 3 часов, используя метан, пропан, бутан и др. При этом увеличивается твердость поверхности, износостойкость, вибропрочность, сопротивление ударным нагрузкам. Цементированные стали работают при 200 – 225 °С.

*Азотирование* заключается в диффузионном насыщении поверхностных слоев азотом (используют аммиак) при 450 – 650 °С в течение 20 – 50 ч. При этом материал приобретает приблизительно такие же качества, что и при цементации, но расширяется температурный диапазон (до 450 – 600 °С) их применения.

К неметаллическим *прокладочным и уплотнительным материалам* относятся технические резины, асбест, паронит, фторопласты, полиэтилен, полипропилен и др. Неметаллические материалы применяют и как конструкционные и футеровочные материалы, что позволяет экономить дорогостоящие металлы и сплавы.

*Техническая резина* – композиция из каучука и серы. Выпускают резины (на основе каучуков СКН, СКФ, СКТФ): мягкие, средней и повышенной твердости. Техническую резину используют, не только как коррозионностойкие уплотнительные материалы, но и для гуммирования аппаратуры.

*Асбест* имеет высокую стойкость к щелочам, не горит, не стоек к кислотам. Часто применяется в комбинации с металлической оболочкой.

*Паронит* – композиционный материал, изготовленный из асбеста, каучука, наполнителей. Получил широкое распространение паронит

общего назначения – ПОН, маслобензостойкий – ПМБ, кислотостойкий – ПК.

*Фторопласт* – материал на основе политетрафторэтилена (фторопласт-4) и политрифторхлорэтилена (фторопласт-3). Фторопласт стоек ко всем минеральным и органическим кислотам, щелочам, органическим растворителям, окислителям. Фторопластовые пленки и пластины используются для защиты стальных изделий от коррозии. Благодаря низкой теплопроводности и малому коэффициенту трения фторопласт применяют для изготовления подшипников скольжения, сальниковых набивок, прокладок фланцевых соединений.

*Полиэтилен* устойчив к органическим растворителям, ко многим кислотам, щелочам и растворам солей при нормальной температуре. Хорошо обрабатывается прессованием, литьем под давлением. Легко сваривается и склеивается. Используется в качестве уплотнительного и защитного материала в средах средней и повышенной агрессивности.

*Полипропилен* – обладает хорошими механическими характеристиками, которые сохраняются вплоть до температуры размягчения. Применяется для аппаратуры, насосов, трубопроводов, арматуры, работающих при температурах от  $-10$  до  $+100$  °C и при давлении до 0,07 МПа со средами средней и повышенной агрессивности. Легко перерабатывается в готовые изделия многими способами, как и полиэтилен.

*Поливинилхлорид* используется для изготовления винипласта и пластика. *Винипласт* – обладает высокой коррозионной стойкостью во всех минеральных кислотах, щелочах и растворах солей любых концентраций за исключением сильных окислителей (азотная кислота, олеум). Хорошо обрабатывается резаньем и давлением, хорошо сваривается и склеивается. Используется для изготовления трубопроводов, арматуры, аппаратов, работающих при температурах от 0 до  $+40$  °C давлением до 0,6 МПа. *Пластика* – менее коррозионностоек, применяется для приводных ремней, транспортерных лент, уплотнений насосов и компрессоров.

*Асбобластики* – пластмассы на основе асбестового наполнителя и термореактивного связующего, например феноло-формальдегидной смолы. По виду наполнителя различают асботекстолит (наполнитель – асбестовая ткань), асбогетинакс (наполнитель – асбестовая бумага), асбобоволкнит (наполнитель – волокнистый асбест). Обладают высокой прочностью, теплостойкостью, электроизоляционными и антикоррозионными свойствами. Материалы используются для изготовления лопаток центробежных насосов, элементы химической аппаратуры.

*Фаолит* – пластмасса на основе феноло-формальдегидной смолы и кислотостойкого наполнителя – асбеста, графита, талька. Материал кислотостоек, но не стоек в щелочных средах. Хорошо обрабатывается резаньем, прессуется, склеивается фаолитовой замазкой. Применяется для изготовления колонной и теплообменной аппаратуры, труб и трубной арматуры, работающих при температурах от 0 до  $140$  °C и давлении до 0,06 МПа.

*Полиамиды (капрон, капролон, нейлон, лавсан)* – обладают высокой упругостью, хорошей прочностью, низким коэффициентом трения,

стойкостью к маслам и бензину. Используются для изготовления зубчатых колес, подшипников, ремней.

*Текстолит* – слоистый пластик из природного волокна (главным образом хлопкового) и полимерного связующего, например феноло-формальдегидной смолы. Обладает высокой прочностью, стоек во многих агрессивных средах, хорошо обрабатывается резаньем. Используется при температурах от  $-196$  до  $+125$  °С. Применяется в производстве зубчатых колес, вкладышей подшипников, шкивов, втулок и т.п.

*Полистирол* – используется как футеровочный материал в аппаратах, работающих при температурах от  $0$  до  $75$  °С и давлении до  $0,07$  МПа. Химически стоек в средах средней и повышенной агрессивности. Удовлетворительно сваривается и склеивается.

*Углепластики, карбопласты, углеродопласты* – пластмассы, содержащие в качестве упрочняющего наполнителя углеродные волокна в виде жгутов, лент, тканей и др. Связующими являются эпоксидные, феноло-формальдегидные, полиэфирные смолы, кремний органические полимеры и др. Материалы прочны, имеют высокую коррозионную стойкость, теплопроводность, хорошо обрабатывается резаньем, склеивается. Используются для изготовления аппаратуры для производства ядохимикатов, гербицидов, кислот и других высоко агрессивных продуктов.

*Керамический конструкционный материал* – устойчив к воздействию агрессивных сред любых концентраций за исключением плавиковой и фосфорной кислот, а также щелочных сред. Применяется для изготовления деталей и узлов центробежных насосов, трубопроводной аппаратуры, реакторов, колонных аппаратов.

*Кварцевое стекло* – используется для изготовления колонной, теплообменной, реакционной аппаратуры и трубопроводной аппаратуры при получении многих органических кислот и особо чистых веществ.

*Эмаль* – стеклообразное покрытие. Наносится на поверхность изделия электрохимическим способом, закрепляется обжигом. Используется в качестве защитных покрытий внутренних поверхностей аппаратов, изготовленных из углеродистой стали. Эмалированные аппараты используются при давлениях до  $0,6$  МПа и температурах от  $-30$  до  $+250$  °С.

В таблице Б.1 приведена классификация материалов по предельной скорости коррозии (П) в зависимости от свойств среды. Следует иметь в виду, что группа вполне стойких материалов (В) объединяет материалы со скоростью коррозии от  $0,001$  до  $0,1$  мм/год, т.е. действительная скорость коррозии может быть существенно меньше  $0,1$  мм/год. Материалы в таблице расположены в порядке возрастания цены. Ориентировочная цена (в феврале – марте 2005 г) за 1 тонну листового проката (или круга) из стали Ст3сп, 20, 40 составляла  $17 \div 20$  тыс. руб., а из стали 12Х18Н10Т, 10Х17Н13М2Т –  $120 \div 180$  тыс. руб. Стоимость корпуса аппарата из нержавеющей стали массой  $1000$  кг достигает  $400 \div 700$  тыс. рублей.



Таблица Б.1 – Коррозионная стойкость металлов и сплавов

Среда			Марки сталей и сплава					
Наименование	Концентрация, %	Температура, °С	Ст3сп; 20; 20К; 16ГС; 35*; 40*	30ХМА*; 40Х*	12ХМ; 15Х5М	12Х18Н10Т	10Х17Н13М2Т	06ХН28МДТ
$\text{AlCl}_3$	10	20 60 100	Н   	Н   	Н   	В Х О	В   	В В Х
$\text{Al}(\text{NO}_3)_3$	40	20 60 100	Н Н Н	—	—	В В В	В В В	—
$\text{NH}_4\text{OH}$	30	20 100 кип.	В Х Х	В В —	В В —	В В В	В В В	В В Х
$(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$	40	20 60 100	Х Х Н	Х Х О	Х Х О	В В В	—	—
КОН	30	20 100 кип.	Х Х —	В Х Х	В Х Х	В В В	В В В	В В 

Продолжение таблицы Б.1

Среда			Марки сталей и сплава					
Наименование	Концентрация, %	Температура, °С	Ст3сп; 20К; 16ГС; 35*; 40*	30ХМА*; 40Х*	12ХМ; 15Х5М	12Х18Н10Т	10Х17Н13М2Т	06ХН28МДТ
HNO <sub>3</sub>	10	20 100 кип.	Н Н Н	—	—	В В В	В В В	В В В
	90	20 100 кип.	Н Н Н	Н — —	Н — —	В Н Н	Х Н Н	В Н Н
H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	40	20 100	Н Н	Н Н	Н Н	Н Н	В Н	В О
H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub>	5	20 50	Н Н	—	—	В В	В В	—
	50	20	Н	—	—	В	В	—
Уксусная кислота	15	20 80	О Н	—	—	В В	В В	—

### Продолжение таблицы Б.1

Среда			Марки сталей и сплава					
Наименование	Концентрация, %	Температура, °С	Ст3сп; 20; 20К; 16ГС; 35*; 40*	30ХМА*; 40Х*	12ХМ; 15Х5М	12Х18Н10Т	10Х17Н13М2Т	06ХН28МДТ
Глицерин	—	20 100 280	Н Н Н	В В —	В В В	В В В	В В В	В В В
Нефтепродукты	—	20 100 300	В В В	В В В	В В В	В В В	В В В	В В В
Толуол	80	20 60 110	В В Х	—	—	В В В	В В В	В — —
Вода	—	20 80 кип.	Х О —	В — —	В — —	В В В	В В В	В В В

Примечание – В таблице обозначено: В – для  $P \leq 0,1 \cdot 10^{-3}$  м/год (вполне стойкие); Х – для  $P \leq 1,0 \cdot 10^{-3}$  м/год (стойкие); О – для  $P \leq 3,0 \cdot 10^{-3}$  м/год (относительно стойкие); Н – для  $P \geq 3,0 \cdot 10^{-3}$  м/год (нестойкие), где  $P$  – скорость коррозии материала в рабочей среде.

\* материал для вала и крепежа мешалки.

Таблица Б.2 – Рекомендации по выбору сталеи для изготовления элементов аппарата

Элементы аппарата	Марки сталей															
	Ст3сп	20	20К	05кп	35	40	16ГС	65Г	30ХМА	30Х13	40Х	12ХМ **	15Х5М	15ХМ **	12Х18Н10Т	08Х18Н10Т
Оболочка корпуса, рубашка	+		+				+					+	+		+	+
Люк, штуцер, цапфа, бобышка	+	+					+						+	+	+	+
Отражательные перегородки	+	+	+				+					+	+		+	+
Змеевик	+	+											+	+	+	+
Мешалка	+		+				+					+	+		+	+
Крепеж мешалки (болт, гайка)		+			+	+			+		+		+		+	+
Вал, шпонка		+			+	+			+		+		+		+	+
Опоры привода и аппарата	+	+	+				+					+	+		+	
Крепеж фланцевого соединения люка	см. таблицу Б.5															
Крепеж стойки привода, муфты и уплотнения (болт, шпилька, гайка)		+			+	+					+					
Шайба пружинная *								+		+						
Шайба стопорная с лапками	+											+	+		+	+

\* Применять вне контакта с рабочей средой. \*\* При температуре ниже 200 °С применять не рекомендуется

**Таблица Б.3 – Нормативные допускаемые напряжения  $\sigma_n$  для материала корпуса и других изделий из листового проката, рекомендуемые допускаемые напряжения для материала вала, МПа**

Расчетная температура стенки аппарата $t_p$ , °C	Для элементов корпуса из сталей марок (извлечение из ГОСТ Р 52857.1 – 2007)						
	Ст3сп ГОСТ 380-2005	20К ГОСТ 5520-79	16ГС ГОСТ 5520-79	12ХМ ГОСТ 5520-79	15Х5М ГОСТ 20072-74	12Х18Н10Т, 10Х17Н13М2Т ГОСТ 5632-72	06ХН28МДТ ГОСТ 5632-72
20	154	147	196	147	146	184	147
60	151,5	144,5	186,5	147	143,5	179	142,5
100	149	142	177	146,5	141	174	138
125	147	140,5	174	146,5	139,5	171	134
150	145	139	171	146	138	168	130
175	143	137,5	168	145,5	136	164	127
200	142	136	165	145	134	160	124
225	136,5	134	163,5	145	130,5	157	120,5
250	131	132	162	145	127	154	117
275	123	125,5	156,5	143	123,5	151	113,5
300	115	119	151	141	120	148	110

Продолжение таблицы Б.3

Расчетная температура стенки аппарата $t_p$ , °C	Для валов из сталей марок								
	20 ГОСТ 1050-88	35 ГОСТ 1050-88	40 ГОСТ 1050-88	40Х ГОСТ 4543-71	30ХМА ГОСТ 4543-71	15Х5М ГОСТ 20072-74	12Х18Н10Т, ГОСТ 5632-72	10Х17Н13М2Т ГОСТ 5632-72	06ХН28МДТ ГОСТ 5632-72
20	125	140	170	250	250	110	125	110	104
60	123	138	168	250	250	107	121,5	107,5	101
100	121	136	166	250	250	104	118	105	98
125	119,5	134,5	164,5	248	242,5	102	115,5	103	95
150	118	133	163	247	235	100	113	101,5	93
175	116,5	131,5	161,5	246	227,5	98	110,5	99,5	91
200	115	130	160	245	220	96	108	98	89
225	108,5	123,5	153,5	243,5	208	92	105,5	96,5	86,5
250	102	117	147	242	202	88	103,5	95	84
275	97	112	142	242	198	84	101	92,5	81,5
300	92	107	137	242	194	80	99	90	79

**Таблица Б.4 – Термостойкость стального проката**

СТАЛИ по ГОСТ Р 52630 – 2012			Температура	
Марка	Технические требования			
	Листовой прокат для корпуса аппарата	Труба для змеевика и штуцера	t <sub>min</sub>	t <sub>max</sub>
			°C	
Ст3сп	ГОСТ 14637 – 89	ГОСТ 10706 – 76	– 20	400
20	—	ГОСТ550 – 75	– 30	475
20К	ГОСТ 5520 – 79	—	– 20	425
12ХМ			– 40	560
16ГС			– 40	475
30ХМА	—	ГОСТ 8731 – 74, ГОСТ 8733 – 74	– 40	560
15Х5М	ГОСТ 7350 – 77	ТУ 14-3-1080 – 81	– 40	650
12Х18Н10Т		ГОСТ 9940 – 81, ГОСТ 9941 – 81	– 253	610
10Х17Н13М2Т			– 253	700
06ХН28МДТ		ТУ 14-3-318 – 75,	– 196	400
		ТУ 14-3-763 – 78,		
		ТУ 14-3-822 – 79		

[illegible]



## ПРИЛОЖЕНИЕ В

(справочное)

### Типы, параметры и размеры корпусов

Вертикально расположенные аппараты с мешалками выполняются по ГОСТ 20680-2002. В соответствии с ГОСТ 9931-85 вертикальные корпуса делятся на типы: ВЭЭ и ВКЭ. Используемые буквы в обозначениях корпуса соответствуют: первая буква – вертикальный корпус (В); вторая буква – вид днища: Э – эллиптическое днище по ГОСТ 6533-78 (табл. В.5) и К – коническое днище по ГОСТ 12619-78 (табл. В.6); третья буква – вид крышки. Номинальные объемы корпуса соответствуют ряду по ГОСТ 13372-78, а диаметры – ряду по ГОСТ 9617-76. Базовые размеры сварных стальных корпусов в зависимости от объема принимаются по ГОСТ 9931-85.

В данном пособии рассмотрены следующие типы корпусов с теплообменными устройствами:

1 – цельносварной с эллиптическим днищем и эллиптической крышкой со змеевиком (рис. В.1 и табл. В.1) или с приварной рубашкой (рис. В.2 и табл. В.2);

2 – цельносварной с коническим днищем, углом при вершине конуса 90° и эллиптической крышкой со змеевиком (рис. В.3 и табл. В.3) или с приварной рубашкой (рис. В.4 и табл. В.4).

Неразъемная рубашка теплообменного устройства для корпуса с эллипсоидным днищем и сливным штуцером выполняется по ОСТ 26-01-984-82. Аналогично для корпуса с коническим днищем и сливным штуцером – по ОСТ 26-01-985-82.

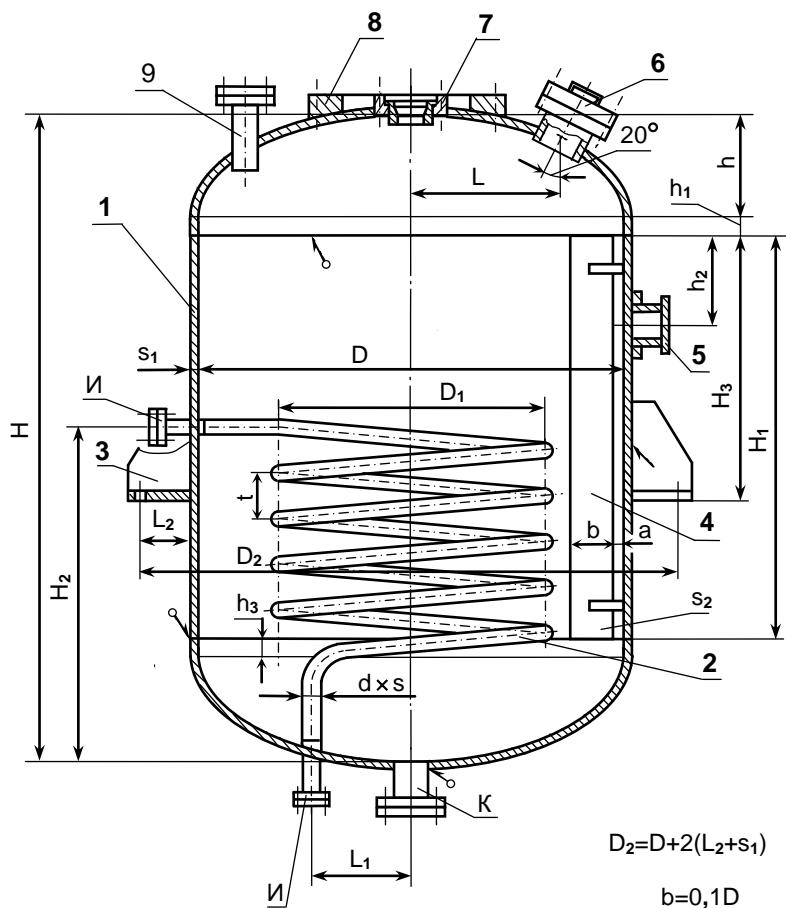
Змеевик устанавливается по оси корпуса. Труба змеевика приваривается к штуцерам. Рекомендованное количество витков может меняться в зависимости от высоты корпуса.

Из внутренних устройств в корпусе возможно использование отражательных перегородок для предотвращения глубокой воронки рабочей среды при вращении быстрходных мешалок. Четыре перегородки равномерно размещаются внутри корпуса. Высота перегородки принимается примерно равной высоте цилиндрической части корпуса.

Корпус может устанавливаться на опорных лапах по ГОСТ 26296-84 (рис. Г.1 и табл. Г.1, Г.2), привариваемых к цилиндрической обечайке корпуса или рубашки, на межэтажных перекрытиях со специальными проёмами в полу для размещения нижней части корпуса.

Для обслуживания аппарата на корпусе помещаются люки-лазы (рис. В.7, В.8 и табл. В.10) и технологические штуцеры с плоскими фланцами (рис. В.5 и табл. В.7). Количество штуцеров и их расположение на крышке корпуса принимается как для типового исполнения. Конструкция уплотняющего затвора во фланцах люка для обеспечения герметичности корпуса выполняется с шипом и пазом, материал прокладки из фторопласта. Размеры штуцеров на избыточное условное давление выбирается по АТК 24.218.06-90 (рис. В.6 и табл. В.8) с учетом свойств рабочей среды. Неиспользуемые в работе штуцеры должны иметь заглушки по АТК 24.200.02-90 (рис. В.6 и табл. В.8).

Две цапфы (табл. В.9), исполненные по ГОСТ 13716-73, предназначены для зацепления строп при погрузке на транспорт или установки аппарата на фундаменте по месту эксплуатации с помощью тали или подъемного крана.



1 – корпус (табл. В.1); 2 – змеевик (табл. В.1); 3 – лапа опорная (рис. Г.1), 4 шт.; 4 – перегородка отражательная, 4 шт.; 5 – цапфа монтажная (табл. В.10), 2 шт.; 6 – люк (рис. В.7, В.8); 7 – бобышка под уплотнение (рис. В.9); 8 – опора под привод (рис. В.9), 2 шт.; 9 – штуцер (рис. В.6).

Обозначение штуцеров по таблице В.7. Люк, перегородка и штуцеры змеевика в сечении корпуса изображены условно.

Рисунок В.1 – Корпус (10) типа ВЭЭ цельносварной с эллиптическим днищем и эллиптической крышкой и со змеевиком для аппарата типа 1, исполнения 0

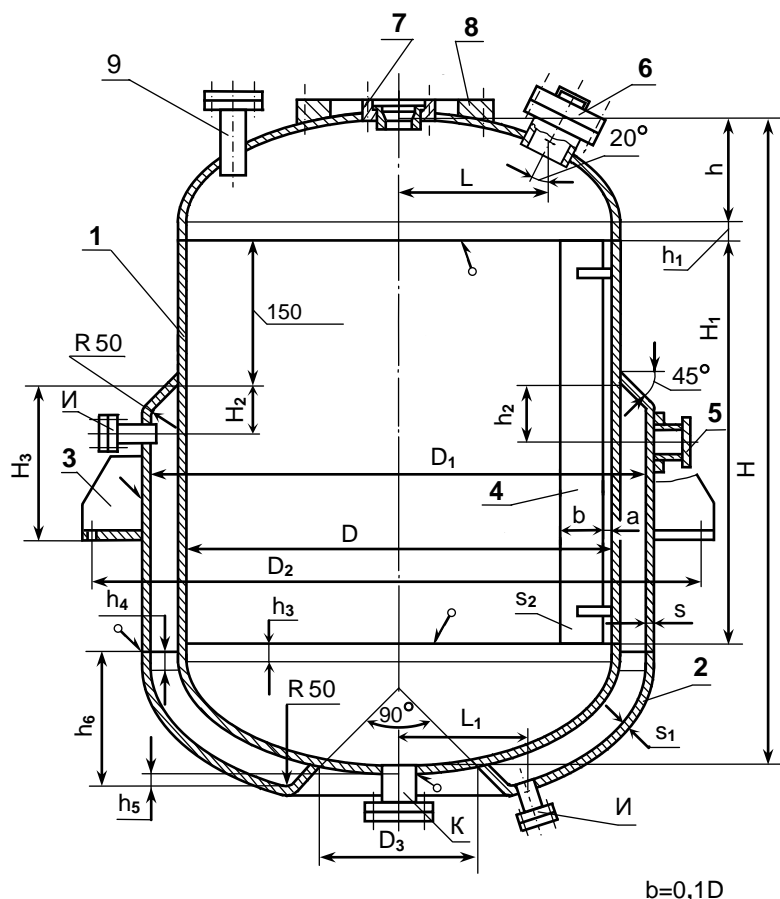
Таблица В.1 – Основные размеры корпусов (тип ВЭЭ, исполнение 1 по ГОСТ 9931 – 85) и змеевиков для аппаратов типа 1, исполнения 0 по ГОСТ 20680 – 2002

V <sub>M</sub> <sup>3</sup>	Размеры, мм																									
	D	D <sub>1</sub>	H*	H <sub>1</sub>	H <sub>2</sub>	H <sub>3</sub> **		L	L <sub>1</sub>	L <sub>2</sub> **		a	h	h <sub>1</sub>	h <sub>2</sub> **	d x s	n	t	s <sub>2</sub>							
3,20	1600	1110	1850	1000	1205	290	465	460	510	96	206	30	400	25	120	89x5	6		8							
4,00			2250	1400																						
5,00	1800	1260	2230	1250	1255	400	565	520	590	133,5	252	35	450	160												
6,30			2780																							
8,00	2000	1400	2880	1800	1580	470	610	580	605	167,5	271	40	500				40	190					135			
10,0	2200	1550	2980		1630			640	685				550											8		
12,5	2400	1700	3180	1900	1545	520	700	700	765	172	306	45	600	40	210										12	
16,0			3880	2600				750	845				650													
20,0	2600	1850	4080	2700	1595	620	780	810	925	210	344	55	700				60	800	60			220				
25,0	2800	2000	4480	3000	1510			870	1005				750													
32,0	3000	2150	4880	3300	1560	1610	790	920	930	1085	285,5	400	800	60	220											
40,0	3200	2300	5320	3600	8																					
50,0			6520	4800																						

Примечание – В таблице обозначено: V – номинальный объем корпуса, d × s – наружный диаметр и толщина стенки трубы змеевика, n – рекомендуемое число витков змеевика

\* Значения ориентировочные и уточняются при изменении высоты отбортованной части крышки h<sub>1</sub> и днища h<sub>3</sub> в соответствии с таблицей В.5. В данной таблице при расчете H принято h<sub>3</sub>=h<sub>1</sub>.

\*\* Значения параметров рекомендуемые, и зависят от грузоподъемности опоры или цапфы. Значения L<sub>2</sub> и H<sub>3</sub> даны без учета толщины и высоты накладного листа опоры (правые столбцы относятся к опоре с увеличенным вылетом для корпуса с внешней теплоизоляцией)



1 – корпус (табл. В.4); 2 – рубашка (табл. В.4); 3 – лапа опорная (рис. Г.1), 4 шт.; 4 – перегородка отражательная, 4 шт.; 5 – цапфа монтажная (табл. В.10), 2 шт.; 6 – люк (рис. В.7, В.8); 7 – бобышка под уплотнение (рис. В.9); 8 – опора под привод (рис. В.9), 2 шт.; 9 – штуцер (рис. В.6).

Обозначение штуцеров по таблице В.7. Люк и перегородка в сечении корпуса изображены условно.

Рисунок В.2 – Корпус (11) типа ВЭЭ цельносварной с эллиптическим дном и эллиптической крышкой с неразъемной рубашкой для аппарата типа 1, исполнения 1

Таблица В.2 – Основные размеры корпусов (тип ВЭЭ, исполнение 1 по ГОСТ 9931 – 85) и рубашек (исполнение 2) по ОСТ 26-01-984 – 82) для аппаратов типа 1, исполнения 1 по ГОСТ 20680 – 2002

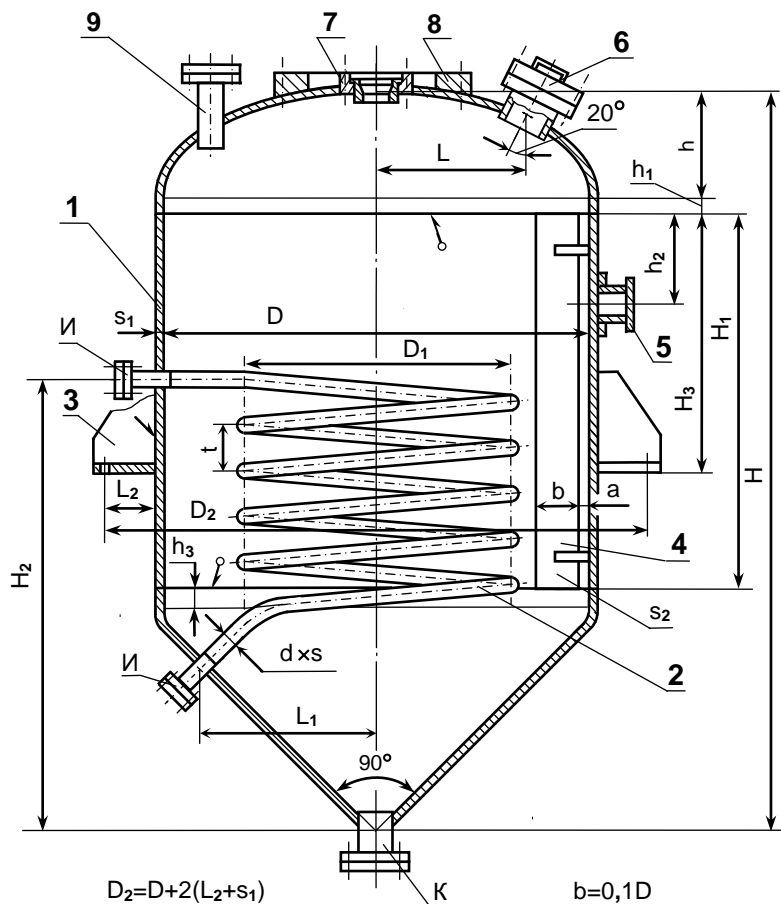
V <sub>М<sup>3</sup></sub>	Размеры, мм																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						
	D	D <sub>1</sub>	D <sub>2</sub> **		D <sub>4</sub>	H*	H <sub>1</sub>	H <sub>2</sub>	H <sub>3</sub> **		L	L <sub>1</sub>	a	h	h <sub>1</sub>	h <sub>2</sub> **	h <sub>4</sub>	h <sub>5</sub>	h <sub>6</sub>	s <sup>*3</sup>	s <sub>1</sub> <sup>*3</sup>	s <sub>2</sub>																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																	
3,20	1600	1700	1900	2120	300	1850	1000	140	320	505	460	250	30	400	25	170	40	30	450	6	10	8																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																	
4,00						2250	1400									210							505																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																
5,00	1800	1900	2180	2420		2230	1250						35	450		210			500				290	600	620	695	745	795	845	14																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																									
6,30						2780	1800																								580	720	580	640	700	750	810	910	1040	870	320																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																														
8,00	2000	2200	2550	2760	430	2880	1800	220	620	800	700	320	40	550	40	310	60	40	745	8	12	12																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																	
10,0	2200	2400	2760	3025		2980	1900																2600	2700	3000	3300	3400	3705	4015	4480	4880	5280	5680	6080	6480	6880	7280	7680	8080	8480	8880	9280	9680	10080	10480	10880	11280	11680	12080	12480	12880	13280	13680	14080	14480	14880	15280	15680	16080	16480	16880	17280	17680	18080	18480	18880	19280	19680	20080	20480	20880	21280	21680	22080	22480	22880	23280	23680	24080	24480	24880	25280	25680	26080	26480	26880	27280	27680	28080	28480	28880	29280	29680	30080	30480	30880	31280	31680	32080	32480	32880	33280	33680	34080	34480	34880	35280	35680	36080	36480	36880	37280	37680	38080	38480	38880	39280	39680	40080	40480	40880	41280	41680	42080	42480	42880	43280	43680	44080	44480	44880	45280	45680	46080	46480	46880	47280	47680	48080	48480	48880	49280	49680	50080	50480	50880	51280	51680	52080	52480	52880	53280	53680	54080	54480	54880	55280	55680	56080	56480	56880	57280	57680	58080	58480	58880	59280	59680	60080	60480	60880	61280	61680	62080	62480	62880	63280	63680	64080	64480	64880	65280	65680	66080	66480	66880	67280	67680	68080	68480	68880	69280	69680	70080	70480	70880	71280	71680	72080	72480	72880	73280	73680	74080	74480	74880	75280	75680	76080	76480	76880	77280	77680	78080	78480	78880	79280	79680	80080	80480	80880	81280	81680	82080	82480	82880	83280	83680	84080	84480	84880	85280	85680	86080	86480	86880	87280	87680	88080	88480	88880	89280	89680	90080	90480	90880	91280	91680	92080	92480	92880	93280	93680	94080	94480	94880	95280	95680	96080	96480	96880	97280	97680	98080	98480	98880	99280	99680	100080	100480	100880	101280	101680	102080	102480	102880	103280	103680	104080	104480	104880	105280	105680	106080	106480	106880	107280	107680	108080	108480	108880	109280	109680	110080	110480	110880	111280	111680	112080	112480	112880	113280	113680	114080	114480	114880	115280	115680	116080	116480	116880	117280	117680	118080	118480	118880	119280	119680	120080	120480	120880	121280	121680	122080	122480	122880	123280	123680	124080	124480	124880	125280	125680	126080	126480	126880	127280	127680	128080	128480	128880	129280	129680	130080	130480	130880	131280	131680	132080	132480	132880	133280	133680	134080	134480	134880	135280	135680	136080	136480	136880	137280	137680	138080	138480	138880	139280	139680	140080	140480	140880	141280	141680	142080	142480	142880	143280	143680	144080	144480	144880	145280	145680	146080	146480	146880	147280	147680	148080	148480	148880	149280	149680	150080	150480	150880	151280	151680	152080	152480	152880	153280	153680	154080	154480	154880	155280	155680	156080	156480	156880	157280	157680	158080	158480	158880	159280	159680	160080	160480	160880	161280	161680	162080	162480	162880	163280	163680	164080	164480	164880	165280	165680	166080	166480	166880	167280	167680	168080	168480	168880	169280	169680	170080	170480	170880	171280	171680	172080	172480	172880	173280	173680	174080	174480	174880	175280	175680	176080	176480	176880	177280	177680	178080	178480	178880	179280	179680	180080	180480	180880	181280	181680	182080	182480	182880	183280	183680	184080	184480	184880	185280	185680	186080	186480	186880	187280	187680	188080	188480	188880	189280	189680	190080	190480	190880	191280	191680	192080	192480	192880	193280	193680	194080	194480	194880	195280	195680	196080	196480	196880	197280	197680	198080	198480	198880	199280	199680	200080	200480	200880	201280	201680	202080	202480	202880	203280	203680	204080	204480	204880	205280	205680	206080	206480	206880	207280	207680	208080	208480	208880	209280	209680	210080	210480	210880	211280	211680	212080	212480	212880	213280	213680	214080	214480	214880	215280	215680	216080	216480	216880	217280	217680	218080	218480	218880	219280	219680	220080	220480	220880	221280	221680	222080	222480	222880	223280	223680	224080	224480	224880	225280	225680	226080	226480	226880	227280	227680	228080	228480	228880	229280	229680	230080	230480	230880	231280	231680	232080	232480	232880	233280	233680	234080	234480	234880	235280	235680	236080	236480	236880	237280	237680	238080	238480	238880	239280	239680	240080	240480	240880	241280	241680	242080	242480	242880	243280	243680	244080	244480	244880	245280	245680	246080	246480	246880	247280	247680	248080	248480	248880	249280	249680	250080	250480	250880	251280	251680	252080	252480	252880	253280	253680	254080	254480	254880	255280	255680	256080	256480	256880	257280	257680	258080	258480	258880	259280	259680	260080	260480	260880	261280	261680	262080	262480	262880	263280	263680	264080	264480	264880	265280	265680	266080	266480	266880	267280	267680	268080	268480	268880	269280	269680	270080	270480	270880	271280	271680	272080	272480	272880	273280	273680	274080	274480	274880	275280	275680	276080	276480	276880	277280	277680	278080	278480	278880	279280	279680	280080	280480	280880	281280	281680	282080	282480	282880	283280	283680	284080	284480	284880	285280	285680	286080	286480	286880	287280	287680	288080	288480	288880	289280	289680	290080	290480	290880	291280	291680	292080	292480	292880	293280	293680	294080	294480	294880	295280	295680	296080	296480	296880	297280	297680	298080	298480	298880	299280	299680	300080	300480	300880	301280	301680	302080	302480	302880	303280	303680	304080	304480	304880	305280	305680	306080	306480	306880	307280	307680	308080	308480	308880	309280	309680	310080	310480	310880	311280	311680	312080	312480	312880	313280	313680	314080	314480	314880	315280	315680	316080	316480	316880	317280	317680	318080	318480	318880	319280	319680	320080	320480	320880	321280	321680	322080	322480	322880	323280	323680	324080	324480	324880	325280	325680	326080	326480	326880	327280	327680	328080	328480	328880	329280	329680	330080	330480	330880	331280	331680	332080	332480	332880	333280	333680	334080	334480	334880	335280	335680	336080	336480	336880	337280	337680	338080	338480	338880	339280	339680	340080	340480	340880	341280	341680	342080	342480	342880	343280	343680	344080	344480	344880	345280	345680	346080	346480	346880	347280	347680	348080	348480	348880	349280	349680	350080	350480	350880	351280	351680	352080	352480	352880	353280	353680	354080	354480	354880	355280	355680	356080	356480	356880	357280	357680	358080	358480	358880	359280	359680	360080	360480	360880	361280	361680	362080	362480	362880	363280	363680	364080	364480	364880	365280	365680	366080	366480	366880	367280	367680	368080	368480	368880	369280	369680	370080	370480	370880	371280	371680	372080	372480	372880	373280	373680	374080	374480	374880	375280	375680	376080	376480	376880	377280	377680	378080	378480	378880	379280	379680	380080	380480	380880	381280	381680	382080	382480	382880	383280	383680	384080	384480	384880	385280	385680	386080	386480	386880	387280	387680	388080	388480	388880	389280	389680	390080	390480	390880	391280	391680	392080	392480	392880	393280	393680	394080	394480	394880	395280	395680	396080	396480	396880	397280	397680	398080	398480	398880	399280	399680	400080	400480	400880	401280	401680	402080	402480	402880	403280	403680	404080	404480	404880	405280	405680	406080	406480	406880	407280	407680	408080	408480	408880	409280	409680	410080	410480	410880	411280	411680	412080	412480	412880	413280	413680	414080	414480	414880	415280	415680	416080	416480	416880	417280	417680

Примечание – В таблице обозначено: V – номинальный объем корпуса

\* Значения ориентировочные и уточняются при изменении высоты отбортованной части крышки h<sub>1</sub> и днища h<sub>3</sub> в соответствии с таблицей В.5. В данной таблице при расчете H принято h<sub>3</sub>=h<sub>1</sub>.

\*\* Значения параметров рекомендуемые, и зависят от грузоподъемности опоры или цапфы. Значения D<sub>2</sub> и H<sub>3</sub> даны без учета толщины и высоты накладного листа опоры (правые столбцы относятся к опоре с увеличенным вылетом для корпуса с внешней теплоизоляцией).

\*<sup>3</sup> Значения толщины рубашки из материала СтЗсп5 даны для D<sub>1</sub> ≤ 1900 мм на давление p<sub>y</sub> 0,6 МПа и для D<sub>1</sub> ≥ 2200 мм на давление p<sub>y</sub> 0,4 МПа. Прибавка на коррозию принята равной 1мм



1 – корпус (табл. В.3); 2 – змеевик (табл. В.3); 3 – лапа опорная (рис. Г.1), 4 шт.; 4 – перегородка отражательная, 4 шт.; 5 – цапфа монтажная (табл. В.10), 2 шт.; 6 – люк (рис. В.7, В.8); 7 – бобышка под уплотнение (рис. В.9); 8 – опора под привод (рис. В.9), 2 шт.; 9 – штуцер (рис. В.6).

Обозначение штуцеров по таблице В.7. Люк, перегородка и штуцеры змеевика в сечении изображены условно.

Рисунок В.3 – Корпус (30) типа ВКЭ цельносварной с коническим отбортованным дном и эллиптической крышкой и со змеевиком для аппарата типа 3, исполнения 0

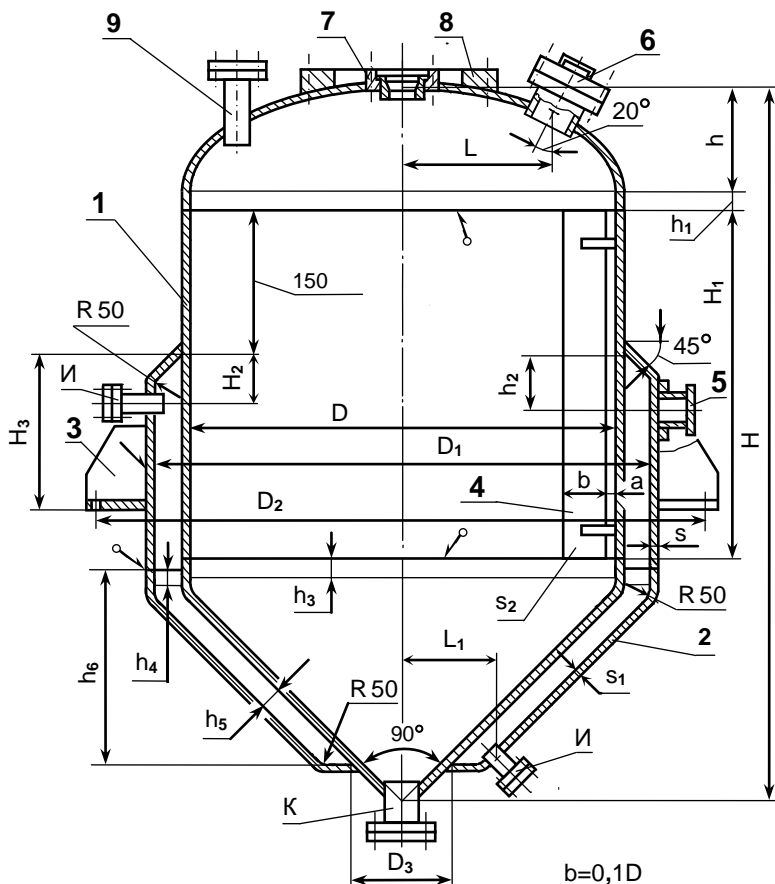
Таблица В.3 – Основные размеры корпусов (тип ВКЭ, исполнение 1 по ГОСТ 9931 – 85) и змеевиков для аппаратов типа 3, исполнения 0 по ГОСТ 20680 – 2002

V <sub>М<sup>3</sup></sub>	Размеры, мм																				
	D	D <sub>1</sub>	H*	H <sub>1</sub>	H <sub>2</sub>	H <sub>3</sub> **		L	L <sub>1</sub>	L <sub>2</sub> **		a	h	h <sub>1</sub>	h <sub>2</sub> **	h <sub>3</sub>	d x s	t	n	s <sub>2</sub>	
3,20	1600	1110	2257	900	1685	290	465	460	690	96	206	30	400	25	120	50	89x5	135	6	8	
4,00			2607	1250																	
5,00	1800	1260	2772	1785	400	565	520	790	133,5	252	35	450	160								
6,30			3222																		
8,00	2000	1400	3372	1700	2160	470	610	580	880	167,5	271	40	500	40	190				60		8
10,0	2200	1500	3532		2260			640	980				550								
12,5	2400	1700	3682	2500	2225	520	700	700	1080	172	306	45	600	40	190				60		
16,0			4482																		
20,0	2800	2000	4292	2000	2290	620	780	750	1280	210	344	55	700	40	210				70		6
25,0			5092	2800				810													

Примечание – В таблице обозначено: V – номинальный объем корпуса, d x s – наружный диаметр и толщина стенки трубы змеевика, n – рекомендуемое число витков змеевика

\* Значения ориентировочные и уточняются при изменении высоты отбортованной части крышки h<sub>1</sub> и днища h<sub>3</sub> в соответствии с таблицами В.5 и В.6.

\*\* Значения параметров рекомендуемые, и зависят от грузоподъемности опоры или цапфы. Значения L<sub>2</sub> и H<sub>3</sub> даны без учета толщины и высоты накладного листа опоры (правые столбцы относятся к опоре с увеличенным вылетом для корпуса с внешней теплоизоляцией)



1 – корпус (табл. В.4); 2 – рубашка (табл. В.4); 3 – лапа опорная (рис. Г.1), 4 шт.; 4 – перегородка отражательная, 4 шт.; 5 – цапфа монтажная (табл. В.10), 2 шт.; 6 – люк (рис. В.7, В.8); 7 – бобышка под уплотнение (рис. В.9); 8 – опора под привод (рис. В.9), 2 шт.; 9 – штуцер (рис. В.6).

Обозначение штуцеров по таблице В.7. Люк и перегородка в сечении изображены условно.

Рисунок В.4 – Корпус (31) типа ВКЭ цельносварной с коническим отбортованным дном и эллиптической крышкой с неразъемной рубашкой для аппарата типа 3, исполнения 1



Таблица В.4 – Основные размеры корпусов (тип ВКЭ, исполнение 1 по ГОСТ 9931 – 85) и рубашек по ОСТ 26-01-985 – 82 для аппаратов типа 3, исполнения 1 по ГОСТ 20680 – 2002

V М³	Размеры, мм																						
	D	D <sub>1</sub>	D <sub>2</sub> **		D <sub>3</sub>	H*	H <sub>1</sub>	H <sub>2</sub>	H <sub>3</sub> **		L	L <sub>1</sub>	a	h	h <sub>1</sub>	h <sub>2</sub> **	h <sub>3</sub>	h <sub>4</sub>	h <sub>5</sub>	h <sub>6</sub>	s**	s <sub>1</sub> **	s <sub>2</sub>
3,20	1600	1700	1900	2120	300	2257	900	140	320	505	460	235	30	400	25	170	50	50	30	790	6	8	8
4,00						2607	1250																
5,00	1800	1900	2180	2420		2772	440		605	520	255	35	450	210	60	30	900	8	1060				
6,30						3222																	
8,00	2000	2200	2550	2760		3372	220	580	720	580	255	40	500	60	70	1080							
10,0	2200	2400	2760	3025	3532	620											800		640	45	600	290	80
12,5	2400	2600	2960	3230	430			3682	740	890	810	55	700	310	70	100		1410					
16,0						4482		2500															
20,0	2800	3000	3435	3705	4292	2000		5092	2800														
25,0					5092	2800																	

Примечание – В таблице обозначено: V – номинальный объем корпуса

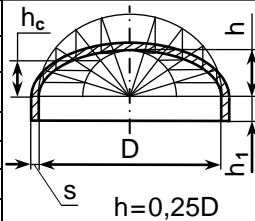
\* Значения ориентировочные и уточняются при изменении высоты отбортованной части крышки h<sub>1</sub> и днища h<sub>3</sub> в соответствии с таблицами В.5 и В.6.

\*\* Значения параметров рекомендуемые, и зависят от грузоподъемности опоры или цапфы. Значения D<sub>2</sub> и H<sub>3</sub> даны без учета толщины и высоты накладного листа опоры (правые столбцы относятся к опоре с увеличенным вылетом для аппарата с внешней теплоизоляцией).

\*<sup>3</sup> Значения толщины рубашки из материала СтЗсп5 даны для D<sub>1</sub> ≤ 1900 мм на давление p<sub>y</sub> 0,6 МПа и для D<sub>1</sub> ≥ 2200 мм на давление p<sub>y</sub> 0,4 МПа. Прибавка на коррозию принята равной 1мм

Таблица В.5 – Днища эллиптические стальные отбортованные по ГОСТ 6533 – 78

Высота отбортовки $h_1$ , мм	Внутренний диаметр оболочки $D$ , мм											
	1000	1200	1400	1600	1800	2000	2200	2400	2600	2800	3000	3200
	Толщина эллиптической оболочки $s$ , мм											
25	5-10	6-8	6	6	-	-	-	-	-	-	-	-
40	12-25	10-20	8-18	8-16	6-14	6-14	8-10	8-10	8	8	8	-
60	28-55	22-45	20-40	18-36	16-32	16-28	12-25	12-22	10-22	10-18	10-18	10-18
80	60-80	50-80	45-70	38-60	34-55	30-50	28-45	25-40	25-38	20-36	20-34	20-32



$h = 0,25D$

Объем и внутренняя поверхность днища (без учета цилиндрической отбортовки  $h_1$ ):  $V \approx \pi D^3/24$ ;  $A \approx 0,345\pi D^2$ .

Внутренний объем части эллиптической оболочки (без отбортовки) высотой  $h_c$ :  $V_k \approx 0,25\pi D^2 h_c [1 - (1/3)(h_c/h)^2]$

Таблица В.6 – Днища конические стальные отбортованные по ГОСТ 12619 – 78

Высота отбортовки $h_3$ , мм	Внутренний диаметр оболочки $D$ , мм											
	1000	1200	1400	1600	1800	2000	2200	2400	2600	2800	3000	3200
	Толщина конической оболочки $s$ , мм											
30	4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
40	6-8	6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
50	10-12	8-10	6-8	6-8	6	6	-	-	-	-	-	-
60	14-16	12-14	10-12	10	8-10	8	8	8	-	-	-	-
70	-	16-18	14-16	12-14	12	10-12	10	10	8	8	-	-
80	-	-	18-20	16-18	14-16	14	12-14	12	10-12	10	10	10
100	-	-	-	20-25	18-25	16-22	16-20	14-18	14-18	12-16	12-16	12-16
120	-	-	-	-	-	22-30	22-30	20-28	20-22	18-22	18	18
$r$ , мм	160				200							250



$h_2 = 0,5D + 0,4r + a$   
 $a = 2 \text{ мм } (D \leq 3000)$   
 $a = 4 \text{ мм } (D \geq 3200)$

Объем и внутренняя поверхность днища (без учета цилиндрической отбортовки  $h_3$ ):  $V \approx \pi D^3(1 + 2,472r/D)/24$ ;

$A \approx 0,354\pi D^2(1 + 1,165r/D)$

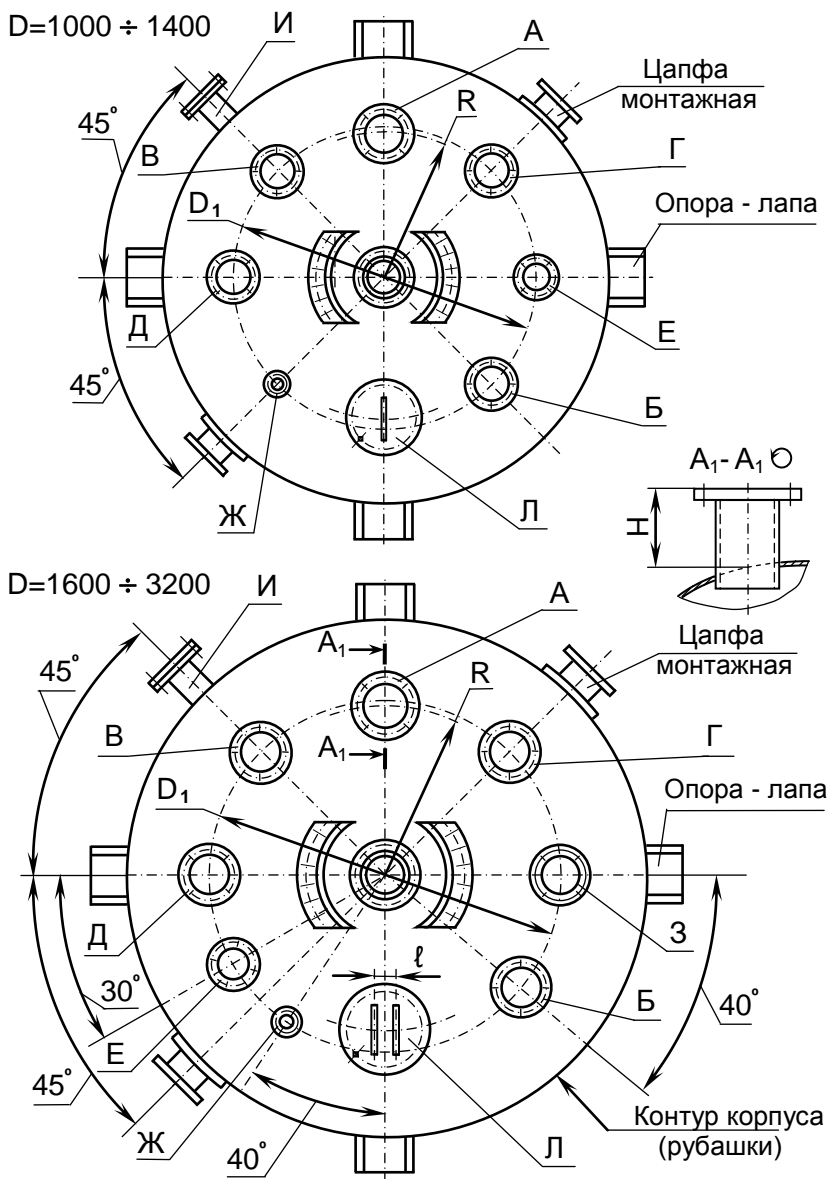
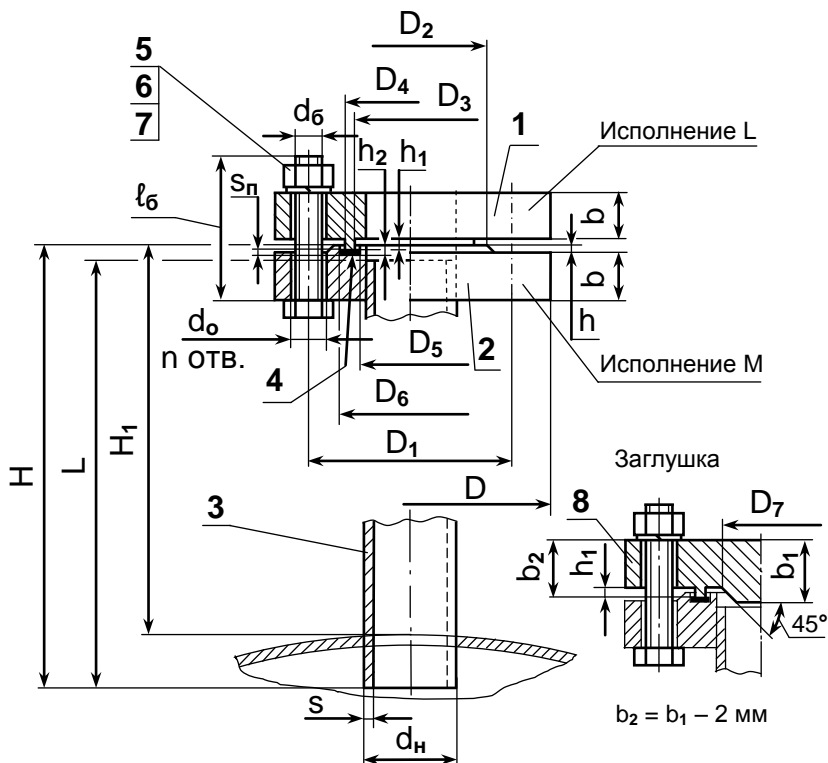


Рисунок В.5 – Расположение штуцеров, опор – лап и цапф на корпусе аппарата с эллиптической крышкой (таблица В.7)

Размеры, мм														Назначение штуцера	Обозна- чение										
D	D <sub>1</sub>	R	ℓ	Обозначение штуцера и люка																					
				A	Б	В	Г	Д	Е	Ж	З	И	К	Л											
1600	1060	500	320	200		100	100	100	50		150		100	400	Для загрузки	А									
1800	1190	560																				Резервный	Б		
2000	1320	620																				Резервный	В		
2200	1450	690	430		100	150	150	150		M27×2	200	80	150	500	Технологический	Г									
2400	1580	740																						Для трубы передавливания	Д
2600	1720	810																						Для манометра	Е
2800	1850	870																						Для термопары	Ж
3000	1980	930	500	250		200	200	200	100				200	700	Технологический	З									
3200	2110	990																						Вход и выход теплоносителя	И
Примечание – В таблице обозначено: D – внутренний диаметр корпуса аппарата; R – рекомендуемый радиус расположения штуцера (А) на крышке аппарата; D <sub>1</sub> – рекомендуемый диаметр расположения штуцеров (Б, В, Г, Д, Е, Ж, З) на крышке аппарата.																Для слива	К								
Для люка в таблице указан внутренний диаметр. Вылет (Н) штуцеров из корпуса или рубашки (рис. В.6) определяют по табл. В.8 в зависимости от наличия или отсутствия теплоизоляции корпуса.																Люк	Л								
Неиспользуемые штуцера должны иметь фланцевые заглушки (исполнение 3) по АТК 24.200.02–90.																									



1 – фланец плоский приварной по ГОСТ 33259–2015 с шипом (исполнение L); 2 – фланец штуцера плоский приварной по ГОСТ 33259–2015 с пазом (исполнение M); 3 – патрубок штуцера; 4 – прокладка эластичная из фторопласта (исполнение Г) по ГОСТ 15180–86; 5 – болт по ГОСТ 7798–70; 6 – гайка по ГОСТ 5915–70; 7 – шайба пружинная по ГОСТ 6402–70; 8 – фланцевая заглушка (исполнение 3) по АТК 24.200.02–90 для резервных или неиспользуемых штуцеров.

Размеры фланцев и патрубка штуцера по табл. В.8. При установке штуцера на днище фланцы исполнений L и M следует поменять местами.

Для фланцев и заглушек с прокладкой из фторопласта принять:  
 1)  $D_3 = D_5$  и  $D_4 = D_6$ . Образующее соединение имеет посадку для диаметров  $D_5$  и  $D_6$ : св. 30 до 130 мм – H12/d11, св. 130 до 260 мм – H11/d11;  
 2) Для  $D_\gamma < 100$  мм: высота шипа  $h_1 = 4$  мм; глубина паза  $h_2 = 3$  мм; при  $D_\gamma \geq 100$  мм:  $h_1 = 6$  мм,  $h_2 = 5$  мм. 3) Толщина прокладки  $s_H = 2$  мм.

Рисунок В.6 – Фланцевые соединения штуцера типа 1 (исполнение 5) по АТК 24.218.06–90 для стальных сварных аппаратов

Таблица В.8 – Основные размеры и масса штуцера типа 1 по АТК 24.218.06–90 с ответным фланцем или заглушкой и комплектом крепежных изделий для стальных сварных аппаратов

ру 0,6 МПа																							
Размеры, мм																							
D <sub>y</sub>	D	D <sub>1</sub>	D <sub>2</sub>	D <sub>3</sub>	D <sub>4</sub>	D <sub>5</sub>	D <sub>6</sub>	D <sub>7</sub>	b	b <sub>1</sub>	h	d <sub>o</sub>	n	d <sub>6</sub>	d <sub>н</sub>	s	ℓ <sub>6</sub>	H		H <sub>1</sub>		m, кг не более	
																		max	min	max	min	max	min
25	100	75	60	41	51	40	52	22	12	12	2	11	4	M10	32	3,5	50	215	155	180	120	2,9	2,8
50	140	110	90	66	80	65	81	46	13	14	3	18		M12	57	4,0	55					4,1	3,8
80	185	150	128	101	115	100	116	76	15					108	89	5,0	60					7,8	7,2
100	205	170	148	117	137	116	138	94							159	6,0						9,6	8,7
150	260	225	202	171	191	170	192	142	17	16		8	12	M16	159	65	70	220	160	200	140	15,0	13,6
200	315	280	258	229	249	228	250	196	19					219	8,0							22,0	19,5
250	370	335	312	283	303	282	304	244	20					273	10							31,2	27,3

Примечания: 1. В таблице обозначено: p<sub>y</sub> – условное давление; D<sub>y</sub> – условный проход патрубка штуцера (фланца, заглушки); d<sub>6</sub>, ℓ<sub>6</sub> – номинальный диаметр резьбы и длина крепежных болтов штуцера; H, H<sub>1</sub> и m – максимальные размеры и масса фланцевого соединения штуцера для аппарата с теплоизоляцией и минимальные размеры и масса фланцевого соединения штуцера для аппарата без теплоизоляции. H<sub>1</sub>, ℓ<sub>6</sub> – размеры рекомендуемые.

2. Длина патрубка штуцера (рис. В.6) для D<sub>y</sub> ≤ 150 мм: L = H – 5 мм и для D<sub>y</sub> ≥ 200 мм: L = H – 10 мм.

3. Размеры D<sub>7</sub> и b<sub>1</sub> относятся к фланцевым заглушкам по АТК 24.200.02– 90.

Продолжение таблицы В.8

p <sub>y</sub> 1,0 МПа																							
Размеры, мм																							
D <sub>y</sub>	D	D <sub>1</sub>	D <sub>2</sub>	D <sub>3</sub>	D <sub>4</sub>	D <sub>5</sub>	D <sub>6</sub>	D <sub>7</sub>	b	b <sub>1</sub>	h	d <sub>o</sub>	n	d <sub>6</sub>	d <sub>н</sub>	s	ℓ <sub>6</sub>	H		H <sub>1</sub>		m, кг не более	
																		max	min	max	min	max	min
50	160	125	102	73	87	72	88	–	15	–	3	18	4	M16	57	4	60	215	155	180	120	5,9	5,6
80	195	160	133	106	120	105	121	–	17	–					89	5	65					9,3	8,7
100	215	180	158	129	149	128	150	–	19	–					108	6	70					12,6	11,7
150	280	240	212	183	203	182	204	–	21	–		22	8	M20	159		75	245	185	200	140	21,4	20,1
200	335	295	268	239	259	238	260	196		16					219	8		250	190			28,8	26,3
250	390	350	320	292	312	291	313	244	23	18			12		273	10	80					41,1	37,2

Примечания: 1. В таблице обозначено: p<sub>y</sub> – условное давление; D<sub>y</sub> – условный проход патрубка штуцера (фланца, заглушки); d<sub>6</sub>, ℓ<sub>6</sub> – номинальный диаметр резьбы и длина крепежных болтов штуцера; H, H<sub>1</sub> и m – максимальные размеры и масса фланцевого соединения штуцера для аппарата с теплоизоляцией и минимальные размеры и масса фланцевого соединения штуцера для аппарата без теплоизоляции. H<sub>1</sub>, ℓ<sub>6</sub> – размеры рекомендуемые.

2. Длина патрубка штуцера (рис. В.6) для D<sub>y</sub> ≤ 150 мм: L = H – 5 мм и для D<sub>y</sub> ≥ 200 мм: L = H – 10 мм.

3. Размеры D<sub>7</sub> и b<sub>1</sub> относятся к фланцевым заглушкам по АТК 24.200.02– 90.

Продолжение таблицы В.8

p <sub>y</sub> 1,6 МПа																							
Размеры, мм																							
D <sub>y</sub>	D	D <sub>1</sub>	D <sub>2</sub>	D <sub>3</sub>	D <sub>4</sub>	D <sub>5</sub>	D <sub>6</sub>	D <sub>7</sub>	b	b <sub>1</sub>	h	d <sub>o</sub>	n	d <sub>б</sub>	d <sub>н</sub>	s	ℓ <sub>б</sub>	H		H <sub>1</sub>		m, кг не более	
																		max	min	max	min	max	min
80	195	160	133	106	120	105	121	76	17	16		18	4	M16	89	5	75	225	165	180	120	10,5	9,9
100	215	180	158	129	149	128	150	94	19													14,6	11,7
150	280	240	212	183	203	182	204	142	21	18	3	22	8	M20	159	6	85	245	185	200	140	23,9	22,6
200	335	295	268	239	259	238	260	196														34,9	32,4
250	405	355	320	292	312	291	313	244	23	22		26	12	M24	273	10	95	250	190			51,8	47,9

Примечания: 1 В таблице обозначено: p<sub>y</sub> – условное давление; D<sub>y</sub> – условный проход патрубка штуцера (фланца, заглушки); d<sub>б</sub>, ℓ<sub>б</sub> – номинальный диаметр резьбы и длина крепежных болтов штуцера; H, H<sub>1</sub> и m – максимальные размеры и масса фланцевого соединения штуцера для аппарата с теплоизоляцией и минимальные размеры и масса фланцевого соединения штуцера для аппарата без теплоизоляции. H<sub>1</sub>, ℓ<sub>б</sub> – размеры рекомендуемые.

2. Длина патрубка штуцера (рис. В.6) для D<sub>y</sub> ≤ 150 мм: L = H – 5 мм и для D<sub>y</sub> ≥ 200 мм: L = H – 10 мм.

3. Размеры D<sub>7</sub> и b<sub>1</sub> относятся к фланцевым заглушкам по АТК 24.200.02– 90.



Таблица В.9 – Конструкция и размеры стальных строповых устройств по ГОСТ 13716 – 73

Тип 4 (цапфа), исполнение 1

1 – заглушка  
2 – труба  
3 – кольцо

V*, м <sup>3</sup> не более	[G] <sub>ц</sub> , кН (т)	Размеры, мм								m, кг
		D <sub>1</sub>	D <sub>2</sub>	D <sub>3</sub>	H	s	s <sub>1</sub>	s <sub>2</sub>		
2	10 (1)	140	100	60	71	6	6	6	1,45	
5	20 (2)	160	160	89	76				2,44	
10	40 (4)	180	200	108	81	12	10	8	4,83	
25	80 (8)	255	230	133	93				8,43	
32	160 (16)	320	260	159	98	16	12	10	13,74	
40	250 (25)	360	300	194	103				18,15	
50	320 (32)	380	320	219	110			10	22,08	

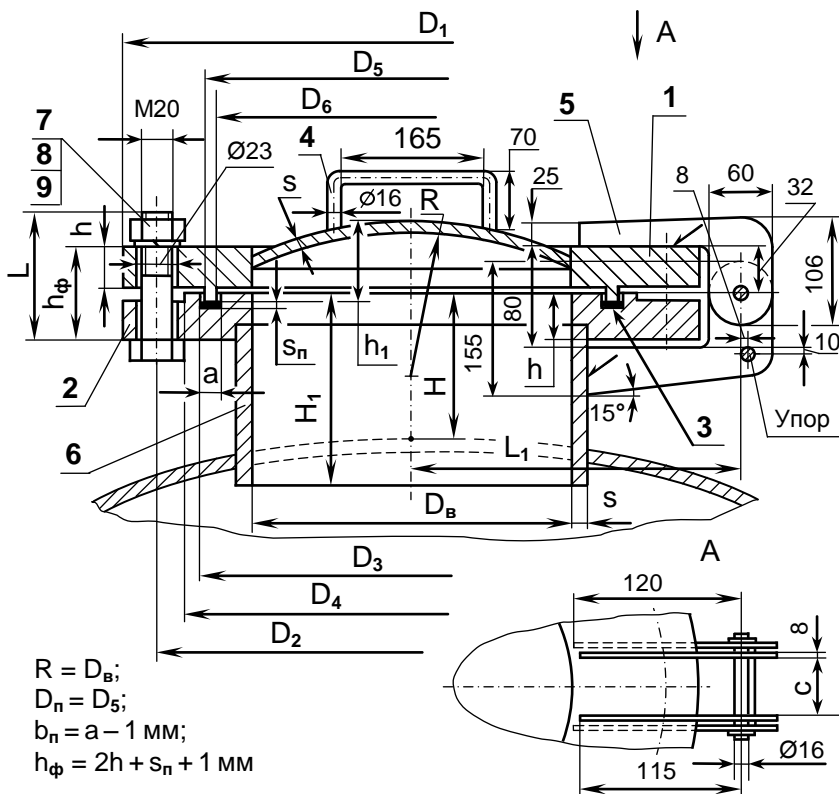
Радиус кривизны поверхности кольца

D <sub>в</sub> , м	1,0 – 1,1	1,2 – 1,6	1,7 – 2,0	2,2 – 2,6	2,8 – 3,8
R, мм	550	750	1000	1300	1700

Примечание – В таблице обозначено: [G]<sub>ц</sub> – допускаемая грузоподъемность цапфы; D<sub>в</sub> – внутренний диаметр корпуса или рубашки; V – номинальный объем аппарата.

\* Для предварительного выбора цапф

$D_B = 400 \text{ мм } p_y \leq 1,6 \text{ МПа}$  и  $D_B = 500 \text{ мм } p_y = 0,6 \text{ МПа}$



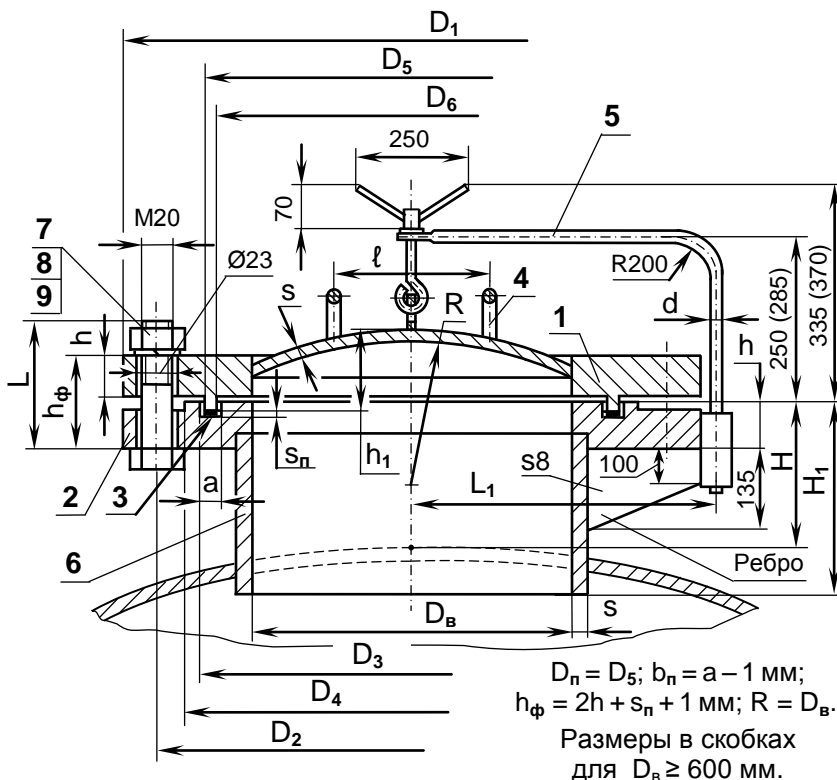
1 – крышка сферическая; 2 – фланец плоский приварной по ГОСТ 28759.2 – 90; 3 – прокладка из фторопласта, исполнение 1 по ГОСТ 28759.6 – 90; 4 – ручка, 2 шт. (расстояние между ручками по рис. В.5); 5 – устройство шарнирное; 6 – обечайка; 7 – болт по ГОСТ 7798 – 70; 8 – гайка по ГОСТ 5915 – 70; 9 – шайба пружинная по ГОСТ 6402 – 70.

Для прокладки из фторопласта принять:  $D_3 = D_5$ ,  $a = 0,5(D_5 - D_6) + 0,6 \text{ мм}$ ,  $b_n = a$ . Образованные соединения должны иметь посадку по ОСТ 26 – 2011 – 83 для диаметров  $D_5$ : от 400 мм до 500 мм – H11/ d11; свыше 500 мм до 630 мм – H11/ d10; свыше 630 мм – H11/d9.

$D_n$ ,  $b_n$ ,  $s_n = 2 \text{ мм}$  – наружный диаметр, ширина и толщина прокладки.

Рисунок В.7 – Люк со сферической крышкой и уплотнительной поверхностью затвора шип-паз (исполнение 2) по ОСТ 26 – 2003 – 83 и устройство шарнирное по ОСТ 26 – 2012 – 83 (табл. В.10)

$D_B = 500 \text{ мм}$   $p_y \geq 1,0 \text{ МПа}$  и  $D_B \geq 600 \text{ мм}$   $p_y \geq 0,3 \text{ МПа}$



1 – крышка сферическая; 2 – фланец плоский приварной по ГОСТ 28759.2 – 90; 3 – прокладка эластичная, исполнение 1 по ГОСТ 28759.6 – 90 или асбометаллическая по ГОСТ 28759.7 – 90; 4 – ручка (размеры и расположение на крышке в соответствии с рис. В.5 и В.7); 5 – устройство подъемно-поворотное; 6 – обечайка; 7 – болт по ГОСТ 7798 – 70; 8 – гайка по ГОСТ 5915 – 70; 9 – шайба пружинная по ГОСТ 6402 – 70.

Для прокладок из фторопласта или полиэтилена принять:  $D_3 = D_5$ ,  $a = 0,5(D_5 - D_6) + 0,6 \text{ мм}$ ,  $b_n = a$ . Образованные соединения должны иметь посадку по ОСТ 26 – 2011 – 83 для диаметров  $D_5$ : от 400 мм до 500 мм – Н11/ d11; свыше 500 мм до 630 мм – Н11/ d10; свыше 630 мм – Н11/d9.

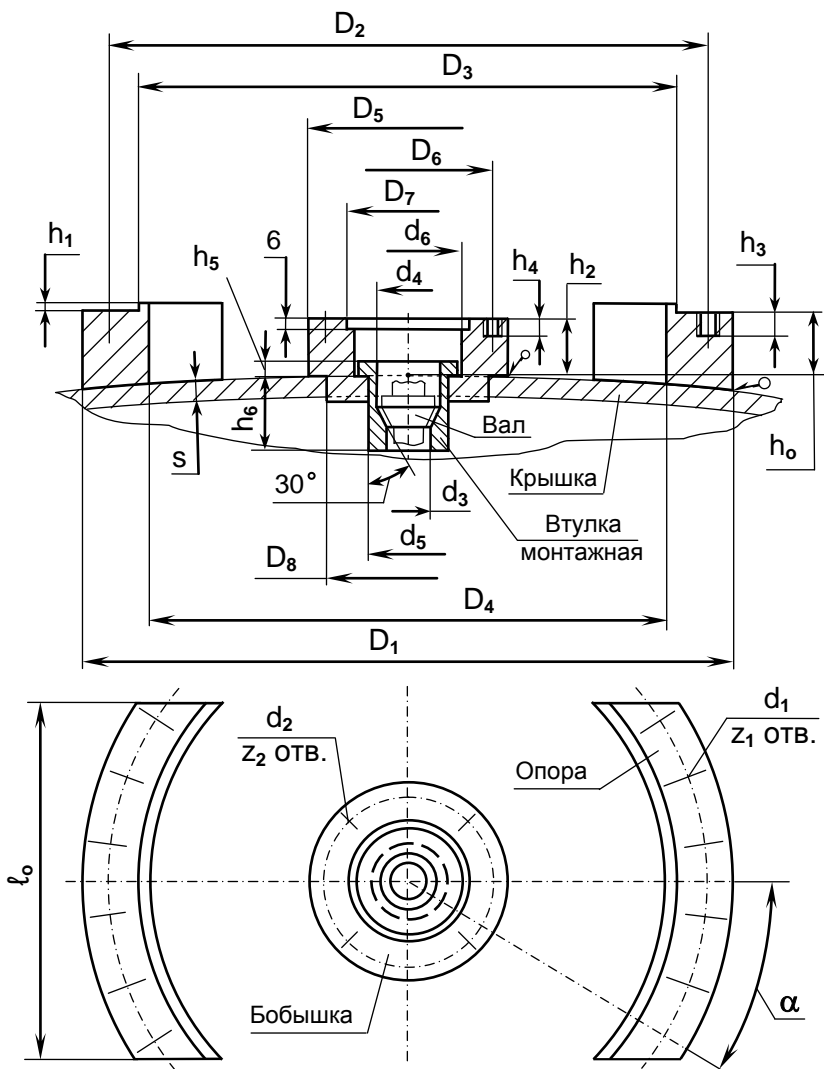
$D_n, b_n, s_n = 2 \text{ мм}$  – наружный диаметр, ширина и толщина прокладки.

Рисунок В.8 – Люк со сферической крышкой и уплотнительной поверхностью затвора шип-паз (исполнение 2) по ОСТ 26 – 2003 – 83 и устройство подъемно-поворотное (исполнение 2) по ОСТ 26 – 2013 – 83 (табл. В.10)

Таблица В.10 – Основные размеры и масса люков со сферической крышкой (исполнение 2) по ОСТ 26 – 2003 – 83 с шарнирным устройством по ОСТ 26 – 2012 – 83 или с подъемно-поворотным устройством (исполнение 2) по ОСТ 26 – 2013 – 83

p <sub>y</sub> , МПа	Размеры, мм																			m, кг не более	
	D <sub>в</sub>	D <sub>1</sub>	D <sub>2</sub>	D <sub>3</sub>	D <sub>4</sub>	D <sub>5</sub>	D <sub>6</sub>	H	H <sub>1</sub>	h	h <sub>1</sub>	a	ℓ	s	z	L	d	c	L <sub>1</sub>		
0,6	400	520	480	444	452	443	419	200	270	25	79	13,5	320	6	16	80	-	170	308	62	
1,0		535	495	458	466	457	433		275	30	82			8	20	90		135	317	83	
1,6		280	35	87	290	25	90		300	35	100					100		80	160	365	89
0,6	500	620	580	544	552	543	519	200	300	35	100	13,5	430	10	24	100	30	-	345	121	
1,0		640	600	564	572	563	539		305	40	103					110			110	149	
1,6		720	680	644	652	643	619		330	25	108			8	20	80			385	116	
0,3	600	720	680	644	652	643	619	220	335	30	108	14,0	430	8	24	90	-	385	127		
0,6									340	35	111					10			28	100	36
1,0									740	700	664			672	663	639			345	40	116
1,6	700	820	780	744	752	743	719	250	370	25	117	14,0	500	8	24	80	36	-	440	146	
0,3									380	35	127					28			100	169	
0,6									380	35	125			10	100	202					
1,0	700	840	800	764	772	763	739	250	395	50	138	14,0	500	12	32	130	45	-	455	202	
1,6									455	255											

Примечание – В таблице обозначено: p<sub>y</sub> – давление условное; z – количество болтов; m – масса люка с шарнирным или подъемно-поворотным устройством



$h_3 = d_1$ ;  $h_4 = d_2$  для шпильки по ГОСТ 22033 – 76;  $D_8 \approx 0,9D_5$ ;  
 $d_3 \approx 1,1d$ ;  $d_4 \approx 1,3d$ ;  $d_5 \approx 1,7d$ ;  $d_6 \approx 2d$ ;  $h_5 \approx 0,2d$ ;  $h_6 \approx s + 50 \text{ мм}$

Рисунок В.9 – Опоры для установки стойки привода (табл. В.12) и бобышка для установки уплотнения вала (табл. В.13) на эллиптической крышке корпуса аппарата

Таблица В.11 – Основные размеры опор для крепления стоек приводов на крышках корпусов

Тип привода	d, мм	Размеры опоры для привода, мм								z <sub>1</sub>	α, градус	
		D <sub>1</sub>	D <sub>2</sub>	D <sub>3</sub> (h <sub>9</sub> )	D <sub>4</sub>	ℓ <sub>o</sub>	h <sub>o</sub>	h <sub>1</sub>	d <sub>1</sub>			
1	50	540	500	430	410	350	50	8	M20	8	36	
2		390	350	300	280	270		6	M16	6	40	
1	65	540	500	430	410	350		8	M20	8	36	
2		390	350	300	280	270		6	M16	6	40	
1	80	680	630	545	515	450	60	8	M24	8	36	
2		540	500	430	410	350			M20			
1	95	680	630	545	515	450			M24			10
2		650	600	530	500	420						
1	110	960	900	800	760	720			10	M33	12	
2				820	780						10	
1	130			800	760						10	
2				820	780						M33	12

Примечание – В таблице обозначено: d – диаметр вала мешалки; z<sub>1</sub> – количество резьбовых отверстий; h<sub>9</sub> – поле допуска на размер

Тип привода	d, мм	Размеры бобышки для уплотнения в миллиметрах											
		торцовое ( $p_{\text{раб}} \leq 0,6 \text{ МПа}$ )						торцовое ( $0,6 < p_{\text{раб}} \leq 2,5 \text{ МПа}$ )					
		D <sub>5</sub>	D <sub>6</sub>	D <sub>7</sub> , (Н9)	h <sub>2</sub>	d <sub>2</sub>	z <sub>2</sub>	D <sub>5</sub>	D <sub>6</sub>	D <sub>7</sub> , (Н9)	h <sub>2</sub>	d <sub>2</sub>	z <sub>2</sub>
1; 2	50	205	170	148	30	M16	4	270	240	165	30	M16	12
	65	235	200	178			8						
	80	260	225	202				330	280	195	39	M24	
	95	290	255	232									
	110	315	280	258				395	340				
	130	340	305	282									

Примечание – В таблице обозначено:  $p_{\text{раб}}$  – рабочее давление; d – диаметр вала мешалки;  $z_2$  – количество резьбовых отверстий; Н9 – поле допуска на размер

## ПРИЛОЖЕНИЕ Г (справочное)

### Типы и размеры опор аппарата

Лапы опорные (рис. Г.1), выполненные по ГОСТ 26296 – 84, используются при подвесной установке аппарата между перекрытиями в помещении или при размещении на стальных специальных конструкциях. Обычно устанавливают четыре лапы. Размеры опор предварительно определяют по диаметру  $D_v$  корпуса или рубашки аппарата (табл. Г.1, Г.2), а затем их уточняют после выполнения проверки грузоподъемности в зависимости от веса заполненного жидкостью аппарата.

В зависимости от толщины стенки цилиндрической обечайки корпуса или рубашки аппарата опоры привариваются непосредственно к оболочке или к накладному листу.

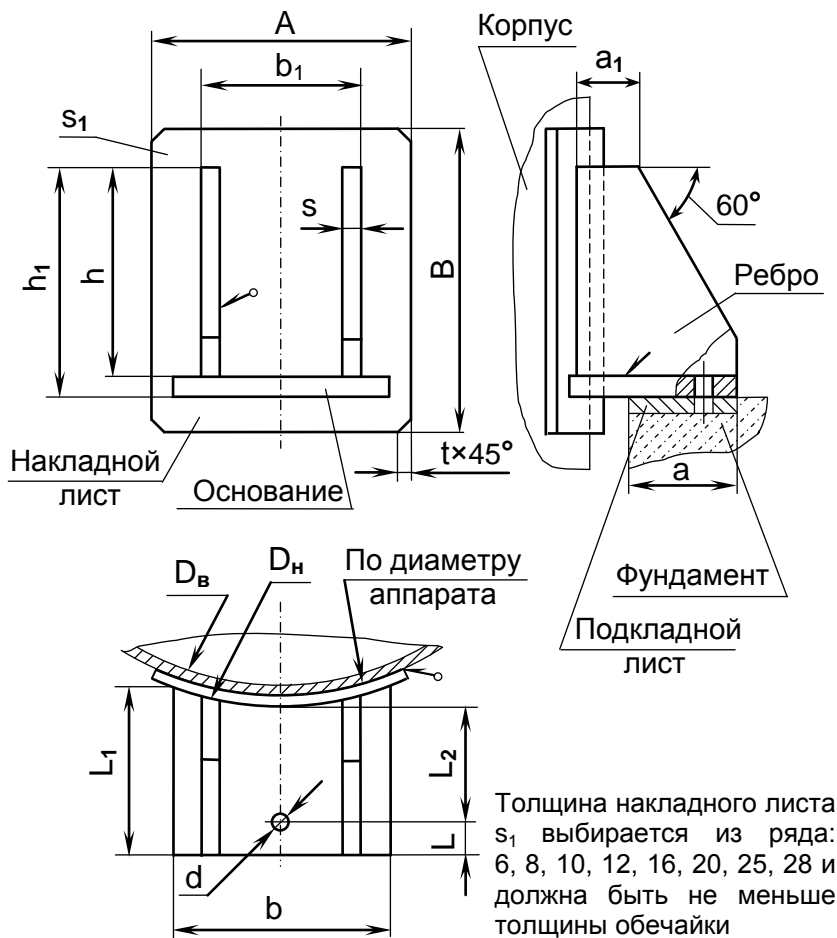
Необходимость применения накладного листа или увеличения толщины стенки обечайки в случае ее недостаточной несущей способности определяется по ГОСТ 26202–84. Метод учета влияния опор на оболочку в этом пособии не приводится.

Лапы с нормальным вылетом  $L_1$  (табл. Г.1) приваривают, если температура стенок не более 60 °С. При температуре свыше 60 °С корпус аппарата снаружи покрывают слоем теплоизоляции и габариты лап должны быть больше, чтобы они выступали за слой изоляции. В этом случае применяют лапы с увеличенным вылетом  $L_1$  (табл. Г.2).

Лапы изготавливаются сварными (исполнение 2 и 3), либо штампованными (исполнение 1 и 4) с меньшей опорной поверхностью на меньшую грузоподъемность (в пособии не даны).

При установке аппарата на фундамент необходимо применять подкладные листы под опоры толщиной равной толщине основания опоры, чтобы избежать скола бетона во время монтажных работ и равномерно распределить нагрузку на всю опорную поверхность.





$$L_2 = L_1 - L - 0,5(D_n - \sqrt{D_n^2 - b^2})$$

Размер А указан до гибки накладного листа.

$D_B$  – внутренний диаметр корпуса или рубашки

Рисунок Г.1 – Лапа опорная сварная с накладным листом по ГОСТ 26296 – 84, исполнение 2 с нормальным вылетом (таблица Г.1) и исполнение 3 с увеличенным вылетом для корпуса с внешней теплоизоляцией (таблица Г.2)

Таблица Г.1 – Основные размеры и масса сварных опорных лап с нормальным вылетом по ГОСТ 26296 – 84 для подвесных вертикальных аппаратов без теплоизоляции

Исполнение 2

[G], кН	Размеры, мм															m, кг	
	D <sub>в</sub>	a, не менее	a <sub>1</sub>	b	b <sub>1</sub>	h	h <sub>1</sub>	L, не менее	L <sub>1</sub>	L <sub>2</sub> *	s	d	A	B	t		
6,3	1000 – 1100	50	10	60	50	95	99	25	60	34,0	4	16	80	135	8	0,4	
10	1200 – 1300	65	15	80	65	125	130	30	80	48,5		24		105	175	10	0,7
16	1400 – 1500	80	20	105	85	170	176	35	100	63,0	5		35	140	235	12	1,5
25	1600 – 1700	115	25	155	130	245	253	45	145	96,0	6			210	355	16	3,8
40	1800 – 1900	145		210	180	360	370	55	195	133,5	8	42	300	505	20	9,2	
63	2000 – 2200	180		240	215	430	442	65	240	167,5				360	600	25	14
100	2400 – 2600	190	30	270	240	460	472	70	250	172,0	10	42	390	650	30	18	
160	2800 – 3000	240	35	335	295	560	576	80	300	210,0	12			465	775	40	34
250	3200 – 3400	315	40	425	380	720	740			380	285,5		14		600	1000	48

Примечание – В таблице обозначено: [G] – допускаемая нагрузка на опорную лапу, D<sub>в</sub> – внутренний диаметр корпуса или рубашки (размеры для справок), m – масса опорной лапы без учета массы накладного листа.

\* Значения L<sub>2</sub> даны ориентировочно и уточняются по формуле на рисунке Г.1 с учетом толщины корпуса (рубашки) и толщины накладного листа при его использовании.

Таблица Г.2 – Основные размеры и масса сварных опорных лап с увеличенным вылетом по ГОСТ 26296 – 84 для подвесных вертикальных аппаратов с теплоизоляцией

Исполнение 3

[G], кН	Размеры, мм															m, кг
	D <sub>в</sub>	a, не менее	a <sub>1</sub>	b	b <sub>1</sub>	h	h <sub>1</sub>	L, не менее	L <sub>1</sub>	L <sub>2</sub> <sup>*</sup>	s	d	A	B	t	
6,3	1000 – 1100	80	20	150	130	260	264	25	160	129,0	4	16	210	355	8	2,4
10	1200 – 1300	100	25	160	140	275	280	30	170	134,5		24	230	380	10	3,1
16	1400 – 1500	120	30	200	175	350	356	40	210	162,5	5		35	290	480	12
25	1600 – 1700	145	40	240	215	425	433	45	260	206,0	6	350		585	16	11
40	1800 – 1900	175	45	300	270	525	535	55	320	252,0	8	42	430	720	20	21
63	2000 – 2200	185	50	330	295	570	582	65	350	271,0			470	785	25	26
100	2400 – 2600	225	55	365	330	635	651	70	390	306,0	10	42	530	880	30	42
160	2800 – 3000	275	65	420	375	715	733	80	440	344,0	12		590	990	40	57
250	3200 – 3400	350	70	500	445	850	870	100	520	400,0	14		700	1170		92

Примечание – В таблице обозначено: [G] – допускаемая нагрузка на опорную лапу, D<sub>в</sub> – внутренний диаметр корпуса или рубашки (размеры для справок), m – масса опорной лапы без учета массы накладного листа.

\* Значения L<sub>2</sub> даны ориентировочно и уточняются по формуле на рисунке Г.1 с учетом толщины корпуса (рубашки) и толщины накладного листа при его использовании.

## ПРИЛОЖЕНИЕ Д

(справочное)

### Типы, параметры и размеры мешалок

Каждый тип мешалки (ТМ) имеет условное обозначение, которое указывается цифрами, и рекомендуемое отношение внутреннего диаметра корпуса (D) и диаметра мешалки ( $d_m$ ):

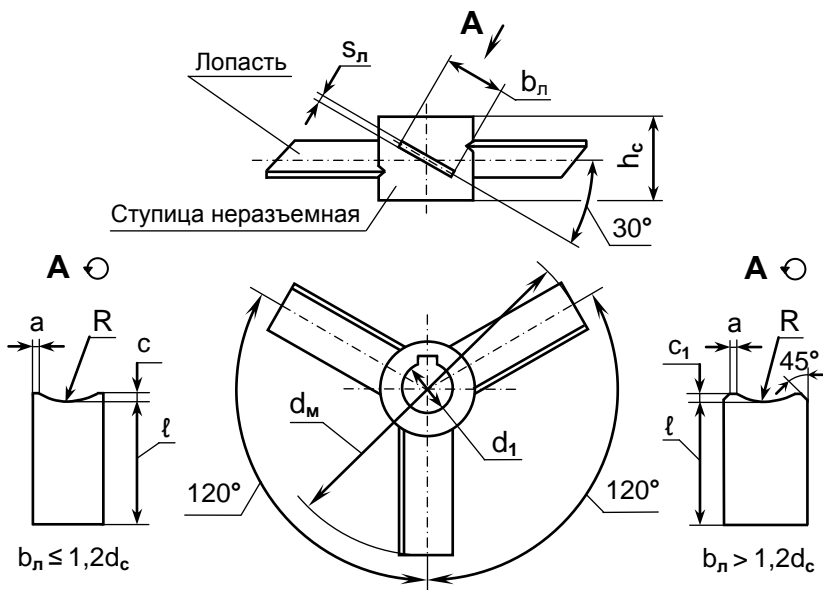
**трехлопастная – 01** ( $D/d_m = 3-6$ );

**турбинная открытая – 03** ( $D/d_m = 3-6$ );

**лопастная – 07** ( $D/d_m = 1,5-2,5$ );

**рамная – 10** ( $D/d_m = 1,1-1,3$ ).

Размеры мешалки (рис. Д.1 – Д.4 и табл. Д.1 – Д.4) определяются в соответствии с заданным *типом мешалки (ТМ)* и *диаметром мешалки  $d_m$*  с использованием АТК.24.201.17-90. Мешалка содержит неразъемную или разъемную ступицу (рис. Д.5 – Д.6 и табл. Д.5). Размеры ступицы определяются по внутреннему диаметру ступицы  $d_1$  и высоте ступицы  $h_c$  (табл. Д.1 – Д.4).



$R \approx 0,625d_c$ , где  $d_c$  – наружный диаметр ступицы

$\ell = 0,5(d_m - d_c)$ ;  $a = 3-5$  мм;  $c = R - \sqrt{R^2 - 0,25(b_n - 2a)^2}$ ;  $c_1 \approx 0,33d_c$

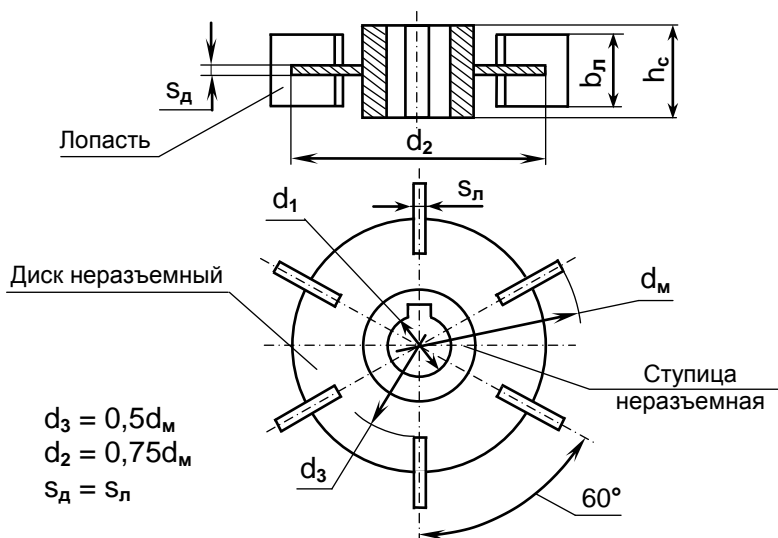
Размеры ступицы указаны на рисунках Д.5, Д.6 и в таблице Д.5

Рисунок Д.1 – Трехлопастная мешалка типа 01 (табл. Д.1)

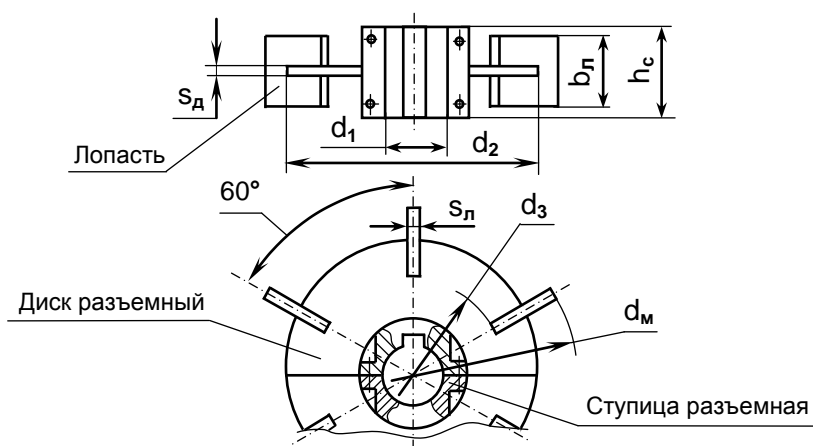
Таблица Д.1 – Основные параметры трехлопастных мешалок типа 01 по АТК 24.201.17 – 90

Размеры, мм					[ Т ] <sub>кр</sub> , кН·м, не более	m, кг, не бо- лее
d <sub>м</sub>	d <sub>1</sub> (H9)	h <sub>с</sub>	b <sub>л</sub>	S <sub>л</sub>		
180	25	40	36	4	0,011	0,76
200			40		0,016	0,82
220			44		0,02	0,88
250	45	70	50		0,03	2,35
280			56		0,05	2,57
320			64		0,06	2,68
360			72		0,08	2,87
400			80		0,10	3,40
450			90	6	0,12	3,90
500			100		0,16	4,45
560			112		0,20	5,1
630	60	110	126		0,28	13,3
710			142	0,45	15,0	
800			160	0,60	17,1	
900			180	8	0,80	20,0
1000	80	150	200		1,00	50,0
1120			224	10	1,20	55,0
1250			250		1,60	62,0
Примечание – В таблице обозначено: [ Т ] <sub>кр</sub> – допустимый крутящий момент; m – масса мешалки; H9 – поле допуска на размер						

Исполнение 1 (неразъемная мешалка),  $d_m = 80 \div 400$  мм



Исполнение 2 (разъемная мешалка),  $d_m = 450 \div 1250$  мм



Размеры ступицы указаны на рисунках Д.5, Д.6 и в таблице Д.5

Рисунок Д.2 – Турбинная открытая мешалка типа 03  
(табл. Д.2)

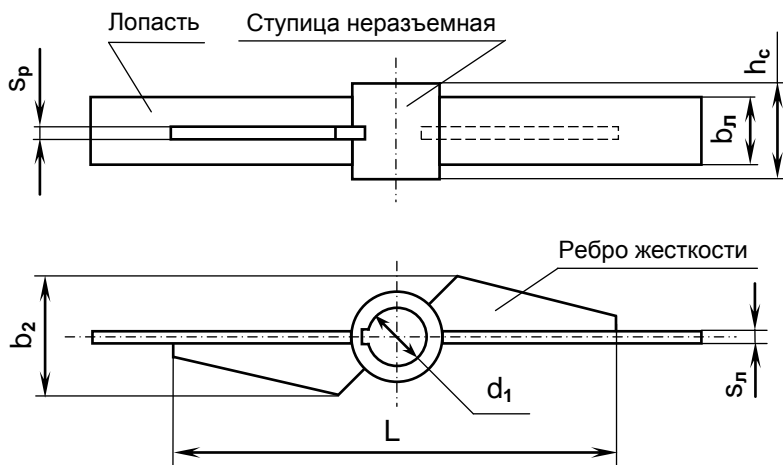
Таблица Д.2 – Основные параметры турбинных открытых мешалок типа 03 по АТК 24.201.17 – 90

Размеры, мм					[ T ] <sub>кр</sub> , кН·м, не более	m, кг, не более
d <sub>м</sub>	d <sub>1</sub> (Н9)	h <sub>с</sub>	b <sub>л</sub>	s <sub>л</sub>		
180	25	40	36	4	0,06	1,17
200		50	40			1,50
220			44		0,08	1,70
250	45	70	50		0,10	2,90
280			56		0,16	3,20
320			64		0,20	3,72
360		90	72	6	0,28	6,7
400			80		0,35	7,8
450		110	90		0,45	9,4
500			100		0,6	14,3
560	60	130	112	8	0,8	23,0
630			126		1,0	27,0
710	80	150	142		1,6	33,4
800			160	10	2,0	39,7
900			180		2,5	58,8
1000	90	200	200	10	3,0	77,4
1120			224		4,0	92,3
1250	100		250	12	6,0	155,0

Примечание – В таблице обозначено: [ T ]<sub>кр</sub> – допустимый крутящий момент; m – масса мешалки; Н9 – поле допуска на размер

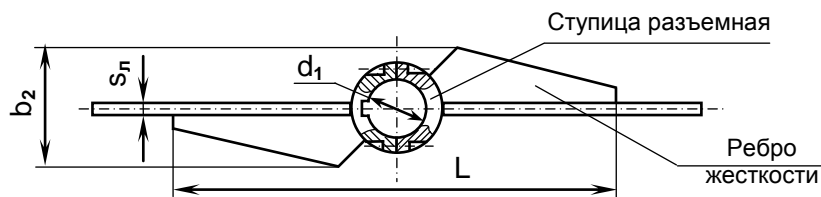
## Исполнение 1 – Неразъемная мешалка

$$d_M = 710 \div 1250 \text{ мм}$$



## Исполнение 2 – Разъемная мешалка

$$d_M = 1400 \div 2240 \text{ мм}$$



$$L = 0,63d_M; b_2 = 1,5b_n; s_p = s_n$$

Размеры ступицы указаны на рисунках Д.5, Д.6 и в таблице Д.5)

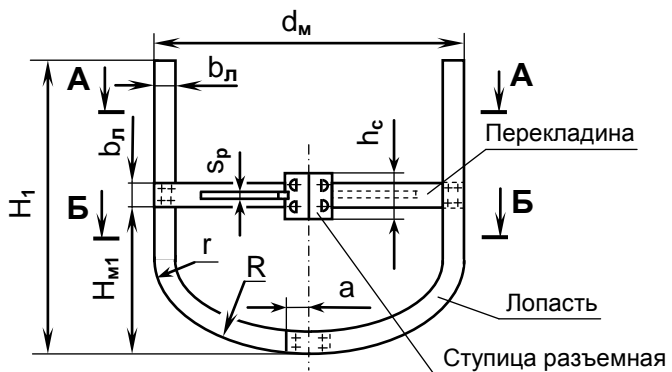
Рисунок Д.3 – Лопастная мешалка типа 07 (табл. Д.3)



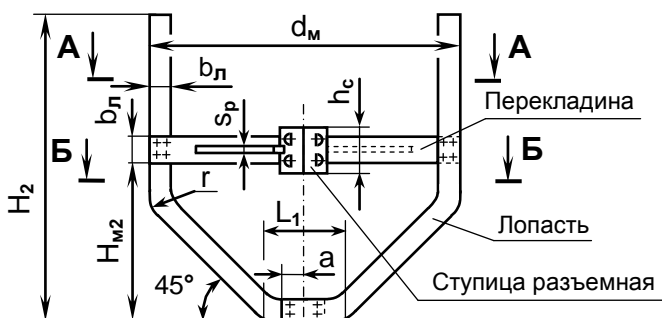
Таблица Д.3 – Основные параметры лопастных мешалок типа 07 по АТК 24.201.17 – 90

Размеры, мм					[ T ] <sub>кр</sub> , кН·м, не бо- лее	m, кг, не более
d <sub>м</sub>	d <sub>1</sub> (H9)	h <sub>с</sub>	b <sub>л</sub>	s <sub>л</sub>		
400	32	50	40	6	0,04	1,34
450			45		0,06	1,83
500		70	50	8	0,08	2,89
560			56		0,10	3,4
630			64		0,16	4,0
710	45	90	72	10	0,20	6,3
800			80		0,28	7,5
900		110	90	12	0,35	9,9
1000			100		0,45	12,0
1120	60	130	112		0,6	19,0
1250			125		0,8	21,0
1400	80	150	140	14	1,2	29,5
1600		180	160		1,6	37,4
1800	90	200	180		2,0	54,0
2000		220	200		3,0	64,1
2240		250	224		4,0	78,8
Примечание – В таблице обозначено: [ T ] <sub>кр</sub> – допустимый крутящий момент; m – масса мешалки; H9 – поле допуска на размер						

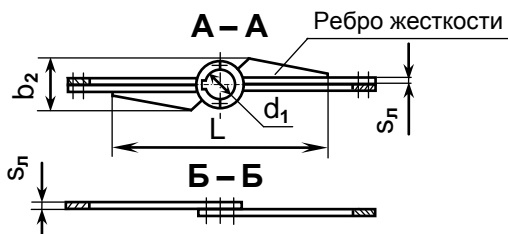
Исполнение 2 (разъемная мешалка),  $d_m = 850 \div 3000$  мм  
 Для корпуса с эллиптическим днищем



Для корпуса с коническим днищем



$$\begin{aligned} a &= 0,5b_{\text{л}} \\ b_2 &= 1,5b_{\text{л}} \\ L &= 0,7d_m \\ r &= 0,152d_m \\ R &= 0,82d_m \\ s_p &= 1,2s_{\text{л}} \\ L_1 &= 0,3d_m \end{aligned}$$



Для соединения лопастей с перекладинами использовать болты М12 ( $d_m \leq 2240$  мм) и М16 ( $d_m \geq 2360$  мм) по ГОСТ 7798 – 70, гайки по ГОСТ 5915 – 70, шайбы по ГОСТ 13463 – 77 (табл. Е.18). Расстояние от краев лопасти и перекладины до центров отверстий диаметров 13 мм и 17 мм под болты принять равным 15 мм и 20 мм соответственно. Размеры ступицы указаны на рисунках Д.5, Д.6 и в таблице Д.5

Рисунок Д.4 – Рамные мешалки типа 10 (табл. Д.4)

Таблица Д.4 – Основные параметры рамных мешалок типа 10 по АТК 24.201.17-90

Размеры, мм									[ Т ] <sub>кр</sub> , кН·м, не более	т, кг, не бо- лее
d <sub>м</sub>	d <sub>1</sub> (H9)	h <sub>с</sub>	H <sub>1</sub>	H <sub>м1</sub>	H <sub>2</sub> <sup>*</sup>	H <sub>м2</sub> <sup>*</sup>	b <sub>л</sub>	S <sub>л</sub>		
850	45	90	850	360	800	400	60	8	0,6	18
900			900		450	19				
950			950				70		22	
1000			1000			80				1,0
1060		110	1060	400	500		28			
1120								1100	550	1,2
1180				425	100	12	1,5			
1250	130	1250	480	1200				600	2,5	58
1320			500	1300			650	2,0		
1400			550	1400	700	2,5	73			
1500	60	1400	580	1500	750			110	75	104
1600			1600	600	1600	800	120	139		
1700				1700	850	14			7,0	163
1800		150		1800	630		1800	900		
1900			1900		950	16	10,0	200		
2000			180		2000				710	2000
2120		2100		1050		150	16,0	254		
2240	100	200		800		2200			1100	180
2360			2300		1150	18	20,0	410		
2500			2500		1250				—	—
2650	220	—	—	—	220					
2800	250	2800	1000	—	—	220				
3000										

Примечания: 1 Для d<sub>м</sub> = 1600 ÷ 3000 мм в обоснованных случаях допускается установка второй ступицы с перекладинами. Расстояние между ярусом перекладин для мешалок под эллиптическое днище принять – 0,5(H<sub>1</sub> – H<sub>м1</sub>), для мешалок под коническое днище – 0,5(H<sub>2</sub> – H<sub>м2</sub>).

2 В таблице обозначено: [Т]<sub>кр</sub> – допустимый крутящий момент; т – масса мешалки; Н9 – поле допуска на размер

\* Размеры рекомендуемые

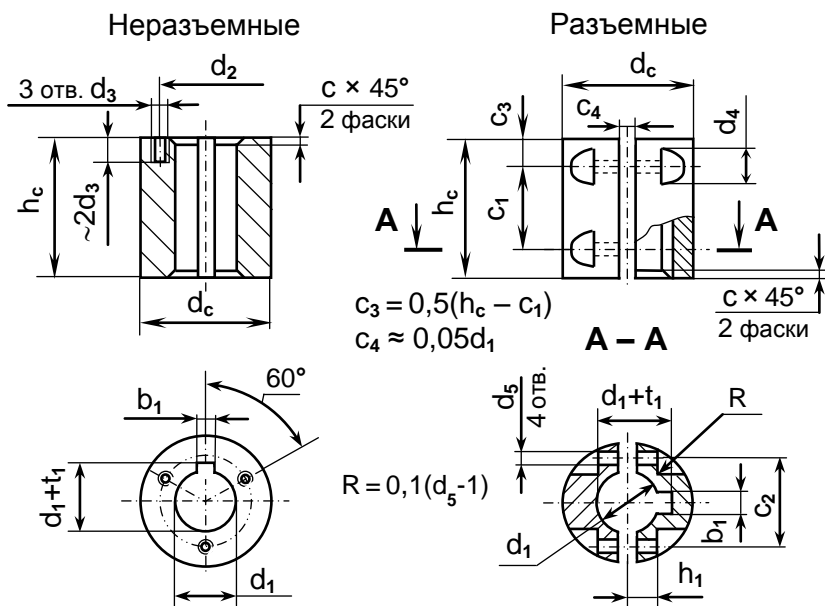
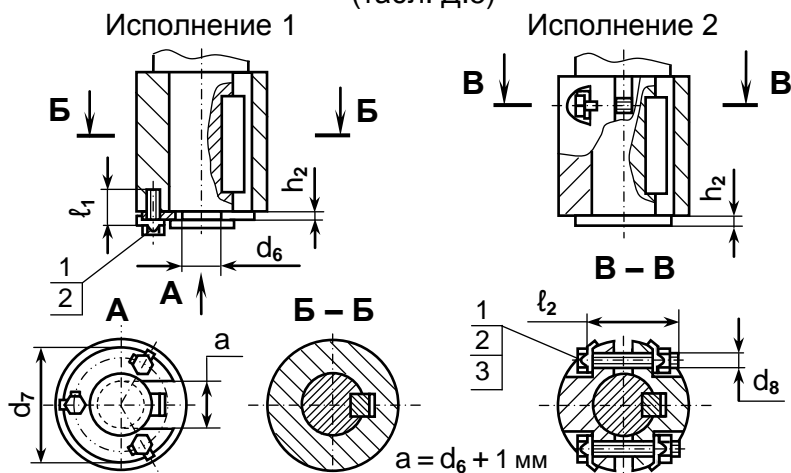


Рисунок Д.5 – Ступицы мешалок по АТК 24.201.17 – 90  
(табл. Д.5)



1 – болт по ГОСТ 7805 – 70; 2 – шайба по ГОСТ 13463 – 77 (табл. Е.18); 3 – гайка по ГОСТ 5927 – 70

Рисунок Д.6 – Крепление ступиц мешалок на валу  
по АТК 24.201.17 – 90 (табл. Д.5)

Таблица Д.5 – Основные размеры ступиц мешалок по АТК 24.201.17 – 90

d <sub>1</sub> (Н9)	h <sub>c</sub>	d <sub>1</sub> +t <sub>1</sub> (Н12)	b <sub>1</sub> (Н11)	d <sub>c</sub> , мм		d <sub>2</sub>	d <sub>3</sub>	d <sub>4</sub>	d <sub>5</sub>	d <sub>6</sub>	d <sub>7</sub>	d <sub>8</sub>	c	c <sub>1</sub>	c <sub>2</sub>	h <sub>1</sub>	h <sub>2</sub>	ℓ <sub>1</sub>	ℓ <sub>2</sub>																	
				Тип мешалки																																
				01	03; 07; 10																															
мм				HP		P	мм																													
25	40*	28,3	8	60	55	40	M6	—	—	18	55	—	2	—	—	—	6	14	—																	
32	50	35,8	10	—	60					—	48									25	60	M12	50	64	22	8	16	60								
	70			65	80															75	95								60	32	13	35	75	70	80	25
45	90	49,9	14	95	105	105	110	80	M8	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—																	
	110	66,4	18	120	140															150	—	—	80	M8	50	105	—	—	—	—	—	—	—			
60	130			66,4	18	140	150	125	130	105	M10	32	13	68	125	M12	100	100	28															12	25	70
	150	88,4	22	160	125	130	105													115	—	—	36	17	—	—	M16	130	115	—	—	—	75			
80	180			88,4	22	—	—	150	—	—	36	17	—	—	M16	3	160	128	30	15														35	80	
	200	99,4	25	140	170																128	M10	—	—	88	150	—	—	130	128	30	15	35			80
90	220			99,4	25																160	170	—	—	—	—	—	—	—	160	—	—	—			—
	250	110,4	28	—	—	170	128	M10	—	—	—	—	—	160	128	30	15	35	80																	
100	220																			110,4	28	160	170	—	—	—	—	—	—	—	160	—	—	—	—	—
	250	110,4	28																	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	160	—	—	—	—	—	
Примечание – В таблице обозначено: HP – неразъемные ступицы; P – разъемные ступицы; Н9, Н11, Н12 – поля допусков на размеры. * h <sub>c</sub> = 50 мм для турбинных мешалок d <sub>m</sub> = 200 и 220 мм																																				

## ПРИЛОЖЕНИЕ Е

(справочное)

### Типы, параметры и размеры элементов привода

#### Выбор типа привода для аппарата

Аппараты с мешалками предлагается комплектовать приводами типов 1 и 2 (табл. Е.1). Привод выбирается в соответствии с *частотой вращения мешалки  $n_m$ , потребляемой мощностью  $N_m$  и рабочим давлением  $p_{\text{раб}}$*  в корпусе аппарата.

Выбор типоразмера привода рекомендуется выполнять в последовательности указанной ниже.

1) По опасности рабочей среды, величине давления рабочего  $p_{\text{раб}}$ , а также по частоте вращения вала мешалки  $n_m$ , устанавливается тип уплотнения (табл. Е.1), которым комплектуется привод.

*Торцовыми уплотнениями* (рис. Е.10 и табл. Е.13) комплектуются аппараты, предназначенные для нейтральных и ядовитых, токсичных, взрывоопасных и пожароопасных сред с температурой до 250 °С и работающие при избыточном давлении до 2,5 МПа. Для более высоких температур под уплотнение устанавливается охлаждающее устройство.

2) По потребляемой мощности на перемешивание  $N_m$  и частоте вращения вала мешалки  $n_m$  (табл. Е.2) *предварительно* подбирается тип привода с ближайшей большей номинальной мощностью электродвигателя  $N_n$ .

Привод типа 1 (рис. Е.1) предпочтительно применять в исполнениях 3 или 4, как конструктивно более простых.

3) По номинальной мощности электродвигателя  $N_n$  и частоте вращения мешалки  $n_m$  для выбранного типа привода уточняется его устройство и основные размеры:

- для привода типа 1 устанавливается *типоразмер* мотор-редуктора (табл. Е.3), представляющего собой единый агрегат, который состоит из электродвигателя и планетарного редуктора. По типу мотор-редуктора определяются *конструктивные* размеры привода типа 1 (табл. Е.4).

- для приводов типа 2 (рис. Е.2) устанавливается *типоразмер* мотор-редуктора (табл. Е.6), сопряжённого с дополнительным редуктором с цилиндрической косозубой передачей. По типу мотор-редуктора определяются *конструктивные* размеры привода типа 2 (табл. Е.7).

4) Номинальная мощность электродвигателя  $N_n$  должна быть проверена с учетом потерь на трение в элементах привода:

$$N_n \geq N_d = N_m / (\eta_1 \cdot \eta_2 \cdot \eta_3 \cdot \eta_4),$$

где  $N_d$  – расчетная мощность электродвигателя;

$\eta_1$  – КПД подшипников, в которых крепится вал мешалки;

$\eta_2$  – КПД, учитывающий потери в уплотнении;

$\eta_3$  – КПД компенсирующей упругой втулочно-пальцевой муфты;

$\eta_4$  – КПД механической передачи привода.

Значения КПД принимаются по таблице Е.14 после уточнения, из каких частей конкретно состоит механический привод.

Если условие  $N_n \geq N_d$  не выполняется, то необходимо вернуться к пункту 1 и снова по таблице Е.2 выбрать привод с большей мощностью электродвигателя. Следует учитывать, что при переходе к большей на одну ступень мощности двигателя может измениться тип привода.

5) В соответствии с выбранным типом мотор-редуктора устанавливаются габаритные и присоединительные размеры привода: для привода типа 1 (рис. Е.1, табл. Е.4 и Е.5); для привода типа 2 (рис. Е.2, табл. Е.7 и Е.8).

По рисункам и таблицам определяют составные части, их технические характеристики и все основные размеры привода, в том числе диаметр  $d$  вала мешалки. Для выбранного типа мотор-редуктора определяют два значения диаметра вала мешалки (вначале следует принять меньшее значение). Для привода типа 1 определяются диаметры цилиндрических концов вала со ступенчатым переходом для осевой фиксации насаживаемых деталей: верхний конец под соединительную полумуфту  $d_{\text{муф}}$  и нижний конец под ступицу мешалки  $d_{\text{ст}}$ . В зависимости от рекомендуемых размеров  $d$  следует принять:

$d$ , мм	50	65	80	95	110	130
$d_{\text{муф}}$ , мм	40	50	65	80	90	110
$d_{\text{ст}}$ , мм	40	50	65	80	90	110

Для привода типа 2 валы в полумуфтах соединяются по конусу или по цилиндру без ступенчатого перехода диаметров (рис. Е.4), а при соединении вала со ступицей мешалки использовать таблицу выше.

Если окажется, что в приложении Д отверстие  $d_1$  в ступице мешалки по АТК не соответствует табличному значению  $d_{\text{ст}}$ , то в мешалке следует принять  $d_1 = d_{\text{ст}}$  и изменить в ступице размеры сечения паза под шпонку по таблице 11, оставив другие размеры мешалки без изменений.

6) Устанавливается тип муфты.

Привод типа 1 комплектуется стандартной упругой втулочно-пальцевой муфтой (рис. Е.3, табл. Е.9).

Привод типа 2 комплектуется фланцевой муфтой (рис. Е.4, табл. Е.10) с коническими концами соединяемых валов, а при необходимости передавать больший крутящий момент для выбранного диаметра вала мешалки использовать продольно-разъемную муфту (рис. Е.5, табл. Е.11).

7) Размеры муфты определяют по диаметру вала  $d$  привода и проверяют по величине крутящего момента.

Муфты изготавливают из стали 40 по ГОСТ 1050–88 и устанавливают на цилиндрические или конические концы вала редуктора и вала мешалки (рис. Е.3, Е.4, Е.5). Для передачи вращения от вала к полумуфтам используют призматические шпонки (рис. Е.6, табл. Е.14).

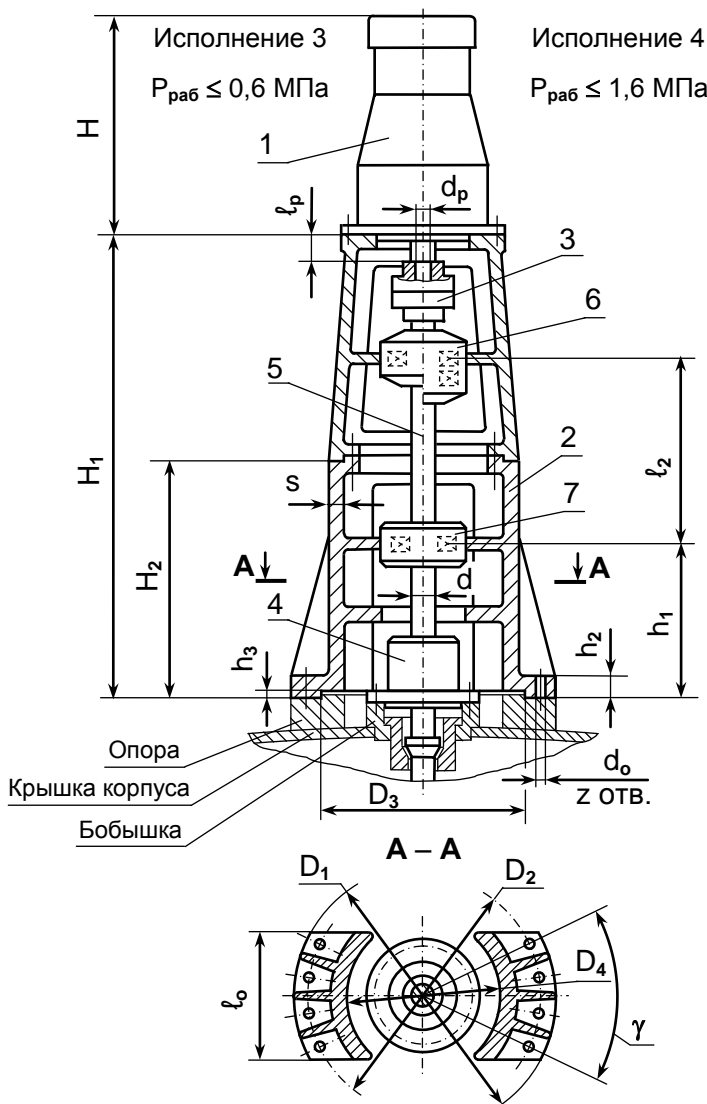
Таблица Е.1 – Типы и область применения приводов для аппаратов с перемешивающими устройствами

Тип и характеристика привода	Тип и характеристика уплотнения	Давление в уплотнении, МПа, не более	Исполнение привода	$P_{\text{раб}}^*$ , МПа, не более	
1 – типовой мотор-редуктор с вертикальным выходным валом и упругой втулочно-пальцевой муфтой, которая соединяется с валом мешалки, обеспечивает напрямую необходимую частоту вращения мешалки в диапазоне $n = 16 – 315$ об/мин	ТЗ – двойное торцовое	0,6	3	0,6	
		2,5	4	1,6	
2 – типовой мотор-редуктор с вертикальным выходным валом и с встроенной цилиндрической передачей, которая дополнительно понижает скорость вращения выходного вала, обеспечивают через жесткую муфту необходимую частоту вращения вала мешалки в диапазоне $n = 25 – 315$ об/мин		0,6	1	0,6	
		2,5		2,5	
Примечание – В таблице обозначено: $n$ – частота вращения выходного вала привода.					
* Максимальное давление в аппарате ограничивается типоразмером подшипников вала мешалки					



Таблица Е.2 – Ряды мощностей и частот вращения приводов типа 1, 2

Мощ- ность, кВт	Номинальная частота вращения выходного вала привода, об/мин*																							
	16	20	25	32	40	50	63	80	100	125	160	200	250	315										
	Типы приводов																							
0,75	1	1	2	1	2	1	–	–	–	–	–	–	–	–										
1,5	–			2			2	2	2	2	1	1	1	1	2									
3,0	1															1	1	1	1	1	2	2	2	2
5,5																								
7,5																								
11,0**																								
15,0																								
18,5	2		1	1	2	2	2	2	1	1	2	2	2											
22,0														–	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2
30,0														1										
37,0	–		1	–	2	2	1	1	1	2	2	1	2	2	–									
45***	1															1	1							
<div>* Фактическая частота вращения выходного вала может отличаться не более чем на 10%.</div> <div>** В приводе типа 1 при частоте вращения выходного вала 40 об/мин мощность электродвигателя 13 кВт.</div> <div>*** В приводе типа 1 при частоте вращения выходного вала 25, 100 об/мин мощность электродвигателя 40 кВт</div>																								



1 – мотор-редуктор планетарный; 2 – стойка привода;  
3 – муфта (рис. Е.3); 4 – уплотнение (рис. Е.6); 5 – вал мешалки;  
6 и 7 – верхняя и нижняя опора вала

Рисунок Е.1 – Привод вертикальный типа 1, исполнение 3 и 4  
(табл. Е.3 – Е.5) с уплотнением торцовым типа ТЗ

Таблица Е.3 – Выбор мотор-редуктора для привода типа 1

Мощность двигателя, кВт	Номинальная частота вращения выходного вала привода (мотор-редуктора), об/мин*						
	16	20	25	32	40	50	63
	Обозначение мотор-редуктора						
0,75	МПО2-10	МПО2-10	–	МПО2-10	–	МПО2-10	–
1,5	–			–			МПО2 -10
3,0	МПО2-18	МПО2-15		МПО2-15		МПО2 -15	–
5,5		МПО2-18		МПО2-15			–
7,5	МР3-315	МР3-315		МПО2-18		МР2-315	МПО2-18
11,0**			МР2-315	МР2-315	МПО2-18		МПО2-18
15,0			МР2-315У	МР2-315У	МР2-315		МР2-315
18,5	МР3-500	МР3-500	–	–	–	–	–
22,0	–	МР3-355		МР2-315У	–	–	–
30,0	МР3-500	МР3-500	МР2-500	МР2-315У	МР2-315У	МР2-315У	МР2-315У
37,0	–	МР2-500	–	–		МР1-500	–
45***	МР3-500	МР3-500	МР2-500	–	–	–	МР2-315У

\* Фактическая частота вращения выходного вала может отличаться не более чем на 10%.

\*\* Для мотор-редуктора МР2-315 при частоте вращения 40 об/мин мощность электродвигателя 13 кВт.

\*\*\* Для мотор-редуктора МР2-500 при частоте вращения 25 об/мин мощность электродвигателя 40 кВт.

Продолжение таблицы Е.3

Мощность двигателя, кВт	Номинальная частота вращения выходного вала привода (мотор-редуктора), об/мин*										
	80	100	125	160	200	250	315				
	Обозначение мотор-редуктора										
0,75	–	–	–	–	–	–	–				
1,5			МПО1-10	МПО1-10	МПО1-10	МПО1-10					
3,0											
5,5											
7,5		MP1-315	–	–	–						
11,0											
15,0											
18,5	MP2-315	MP1-315У	MP1-315У	MP1-315	MP1-315	MP1-315					
22	–						–	–	МЦФ		
30	MP2-315	–	MP1-315У	MP1-315У	MP1-315У	MP1-315У					
37	MP1-500						MP1-500	–	MP1-315У	–	–
45**	MP2-315У									MP1-315У	MP1-315У
* Фактическая частота вращения выходного вала может отличаться не более чем на 10%. ** Для мотор-редуктора MP1-500 при частоте вращения 100 об/мин мощность электродвигателя 40 кВт.											

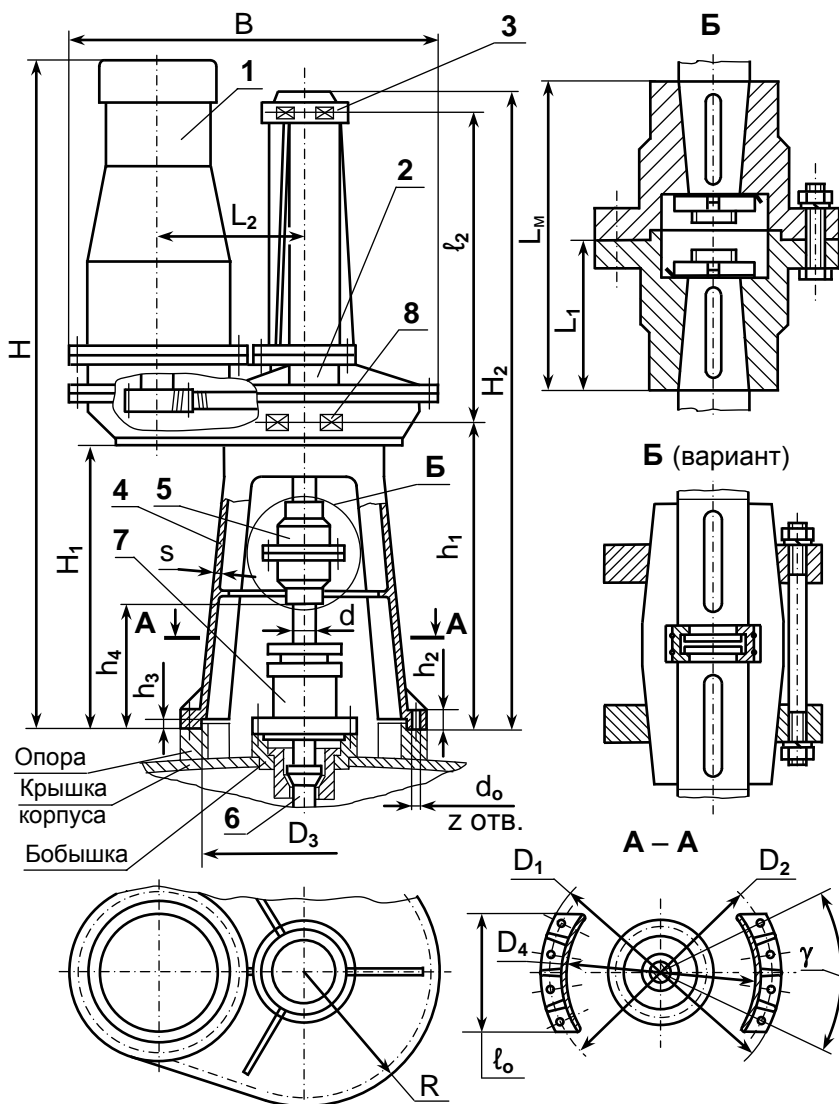
Таблица Е.4 – Основные размеры и масса привода типа 1, исполнений 3 и 4

Мотор-редуктор	Размеры, мм															z	γ, градус	Масса, кг, не более		
	d	d <sub>p</sub> <sup>*</sup>	ℓ <sub>p</sub> <sup>*</sup>	D <sub>1</sub>	D <sub>2</sub>	D <sub>3</sub> (H <sub>9</sub> )	D <sub>4</sub>	H <sub>1</sub> <sup>*</sup>	H <sub>2</sub>	H <sub>3</sub>	ℓ <sub>0</sub>	Исполнение		h <sub>2</sub>	h <sub>3</sub>				s	d <sub>0</sub>
												3 и 4								
												ℓ <sub>2</sub>	h <sub>1</sub>							
МПО1-10; МПО2-10	50	40	30	540	500	430	410	1100	525	475	350	300	400	30	8	14	23	8	72	500
МПО2-15; МР1-315; МР1-315У	65	65																		50; 85
МПО2-18; МР1-500; МР3-315; МР2-315; МР2-315У	80		80; 95	50; 130; 145	680	630	545	515	1675	500	450	600	520	35	10	18	27	10	90	
МР3-355; МР2-500; МР3-500	95	110																		145
	110		110; 125	145	960	900	800	760	1820	950	720	800	535	40	20	27	10	90	2200	
	130																			

Примечания: \* 1) Для редуктора МПО2-18 принять  $d_p = 80$  мм; для редукторов: МР2-315, МР2-315У, МР3-315, МР1-500 принять  $d_p = 90$  мм; для редуктора МР3-355 принять  $d_p = 110$  мм; для редукторов: МР2-500, МР3-500 принять  $d_p = 125$  мм. 2) Для редукторов: МПО2-15, МПО2-18 принять  $\ell_p = 50$  мм; для редукторов: МР1-315, МР1-315У принять  $\ell_p = 85$  мм; для редукторов: МР2-315, МР2-315У, МР3-315 принять  $\ell_p = 130$  мм; для редуктора: МР1-500 принять  $\ell_p = 145$  мм.

Таблица Е.5 – Высота Н мотор-редукторов для приводов типа 1

Мощность, кВт	Частота вращения выходного вала привода, об/мин*																	
	16	20	25	32	40	50	63	80	100	125	160	200	250	315				
	Н, мм, не более																	
0,75	620	620	–	620	–	620	–	–	–	–	–	–	–	–				
1,5	–			–			620			620	–	635	635		635	635		
3,0	820	820									–						620	
5,5	1090	1090		820		820	–			970	–						–	–
7,5	1160	1160		1090			820											
11,0**			1110	1110	1190	820	1045		970			970	–		–			
15,0	1320	1170	1110	1110	1190	1190	1110		1010	1045	1045	970	970		970			
18,5	1425	1425	1135	1170	1170	1110	1110	1110	1010	1045	1045	970	970	970				
22,0	–	1065	–	1145	–	–	–	–	–	1010	–	–	–	–				
30,0	1510	1510		1340	1175	1170	1170	1170		–	1010	1010	1140	1110	1110			
37,0	–	1365	1365	–	–	1135	1265	1205	1205			1110	–	–				
45***	1635	1635	1425			–	1175	1175	1265				1050	1050	1050			
<div>* Фактическая частота вращения выходного вала может отличаться не более чем на 10%.</div> <div>** При частоте вращения выходного вала 40 об/мин мощность электродвигателя 13 кВт.</div> <div>*** При частоте вращения выходного вала 25, 100 об/мин мощность электродвигателя 40 кВт</div>																		



- 1 – мотор-редуктор планетарный; 2 – редуктор цилиндрический;  
 3 и 8 – верхняя и нижняя опора вала; 4 – стойка привода;  
 5 – муфта фланцевая или продольно-разъемная (рис. Е.4, Е.5);  
 6 – вал мешалки; 7 – уплотнение (рис. Е.6)

Рисунок Е.2 – Привод вертикальный типа 2, исполнение 1  
 (табл. Е.6 – Е.8) с уплотнением торцовым типа ТЗ





Продолжение таблицы Е.6

Мощность двигателя, кВт	Номинальная частота вращения выходного вала привода (вала мешалки), об/мин*								
	100	125	160	200	250	315			
	Обозначение мотор-редуктора								
0,75	—	—	—	—	—	—			
1,5	МПО1-10/125					—	—	—	МЦФ/400
3,0									
5,5									
7,5									—
11,0	—	МПО1-10/200	МПО1-10/200	МЦФ/315	МЦФ/355	МЦФ/355			
15,0		—	—		—	—			
18,5			—	—					
22			MP1-315У/125	МЦФ/315	МЦФ/315		МЦФ/315		
30	MP1-315У/160	MP1-315У/160	—	—	—				
37	—	MP1-315У/200	MP1-315У/200		МЦФ/280				
45					—				
Примечание: В обозначении мотор-редуктора после слеша (/) указана номинальная частота вращения выходного вала мотор-редуктора, n <sub>p</sub> , об/мин.									
* Фактическая частота вращения выходного вала привода может отличаться не более чем на 10%.									

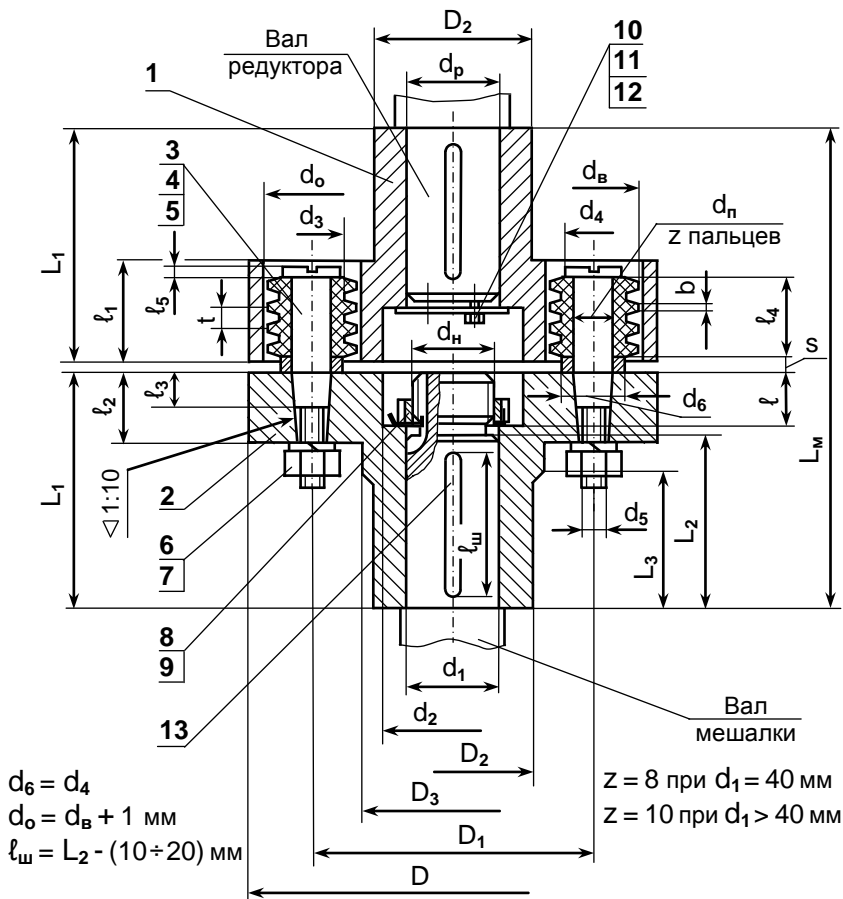
Таблица Е.7 – Основные размеры и масса привода типа 2, исполнение 1

Мотор-редуктор	Размеры, мм																						Масса, кг, не более
	d	B, не более	H <sub>1</sub>	H <sub>2</sub>	D <sub>1</sub>	D <sub>2</sub>	D <sub>3</sub> (H9)	D <sub>4</sub>	L <sub>м</sub>	L <sub>1</sub>	L <sub>2</sub>	h <sub>1</sub>	h <sub>2</sub>	h <sub>3</sub>	h <sub>4</sub>	ℓ <sub>0</sub>	ℓ <sub>2</sub>	R, не более	s	d <sub>0</sub>	z	γ, градус	
МПО1-10; МПО2-10	50	630	630	1150	390	350	300	280	230	110	235	645	25	8	340	270	400	230	14	18	6	80	400
										310													
МПО2-15; МР1-315; МР1-315У	65	770	750	1375	540	500	430	410	290	140	280	775	30		390	350	480	260	16	23		72	700
	80														360								
МПО2-18; МР1-500; МР3-315; МР2-315; МР2-315У	95	940	850	1660	650	600	530	500	350	170	350	870	35	10		370	420	800	305	18	26	8	1100
МР3-355; МР2-500; МР3-500	110	1100	900	2225	960	900	820	780	430	210	450	920	40	12	375	720	1100	390	20	35	12	90	1600
	130	1490	1100	2440					510	250	550	1120			380		1300	525					2200
Примечание – В таблице обозначено: z – количество отверстий, H9 – поле допуска на размер																							

Таблица Е.8 – Высота Н привода типа 2, исполнение 1

Мощность, кВт	Номинальная частота вращения выходного вала привода, об/мин*																			
	25	32	40	50	63	80	100	125	160	200	250	315								
	H, мм, не более																			
0,75	1400	–	1400	–	–	–	–	–	–	–	–	–								
1,5					1420	1420	1420					–								
3,0	1540	1540	1540		–							–	–	–	1200					
5,5	1860	–	1800		1560	1560	1560	1560	1560	–	1630	1630	1250							
7,5	2250		1860		–								1960	2090	–	1640	1640			
11	–		–			–	–											–	1630	1630
15																				
18,5		–			–			–	–	2170	2170	–	–	–						
22	2520		–	–		–	–								–	–	–	–		
30	2750		–	–		–	–								–	–	–	–	–	
37	–	–	2510	–	–	–	2270	2270	–	1900	–									
45			2640	2550	–	–	2210	2210	–											

\* Фактическая частота вращения выходного вала может отличаться не более чем на 10%

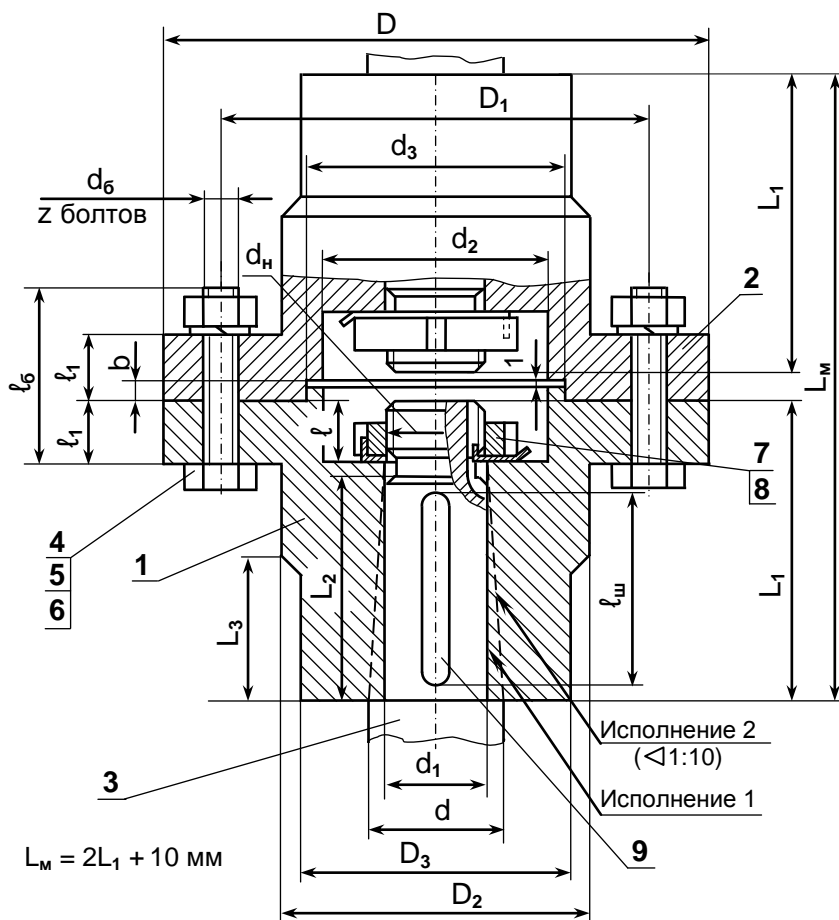


1, 2 – полумуфты; 3 – палец; 4 – гофрированная резиновая втулка; 5 – втулка распорная; 6 – гайка по ГОСТ 5927 – 70; 7 – шайба пружинная по ГОСТ 6402 – 70; 8 и 9 – гайка круглая шлицевая по ГОСТ 11871 – 88 и шайба стопорная многолапчатая по ГОСТ 11872 – 89 (табл. Е.15); 10, 11, 12 – шайба концевая для торцового крепления полумуфты, два болта по ГОСТ 7798 – 70 и стопорная пластина для болтов (табл. Е.16); 13 – шпонка призматическая по ГОСТ 23360 – 78 (рис. Е.7)

Рисунок Е.3 – Соединение валов упругой втулочно-пальцевой муфтой (табл. Е.9) в приводе типа 1

Таблица Е.9 – Основные размеры и масса упругих втулочно-пальцевых муфт по ГОСТ 21424 – 93

Размеры, мм																										Т, кН·м	m, кг, не более					
Исполнение	d	d <sub>1</sub> , H7 m6	d <sub>p</sub> , H7 k6	d <sub>н</sub>	D	D <sub>1</sub>	D <sub>2</sub>	D <sub>3</sub>	d <sub>в</sub>	d <sub>п</sub>	d <sub>2</sub>	d <sub>3</sub>	d <sub>4</sub>	d <sub>5</sub>	L <sub>м</sub>	L <sub>1</sub>	L <sub>2</sub>	L <sub>3</sub>	ℓ	ℓ <sub>1</sub>	ℓ <sub>2</sub>	ℓ <sub>3</sub>	ℓ <sub>4</sub>	ℓ <sub>5</sub>	s			b	t			
1	50	40	40	M39×1,5	170	120	80	85	32	18	65	28	25	M12							35	24	18	28	3				0,5	11,8		
	65	50	-	M48×1,5	220	160	90	100	45	25	75	34	32	M20	226	110	82	65	25		50	30	26	40		6	4,5	9	1,0	23,8		
		-	-	110			120	90			286				140	105	33	28,7														
	80	65	65	M64×2			120	130			100					288				85						4					31,6	
	95	80	80	M76×2	250	180		130	140	50	28	110	38		36		348	170	130		35	55	34	28	45		8	6,0	11	2,0	36,1	
			90																													
	110	90	90	M85×2																												40,1
	95	80	80	M76×2	320	230	150	165	63	35	130	50	48		M24	350	170	130	105	35	65	40	34	55		10	7,5	14	4,0	66,8		
			90	M85×2																												
110	90	90	M85×2																							5					71,6	
130	110	100	M95×2	400	290	200	215	80	45	180	60	58	M36	432	210	165	140	40	80	44	36	71		12	9,5	18	8,0	136				
		125	M105×2																													
Примечание – В таблице обозначено: Т – номинальный вращающий момент; m – масса муфты; d – диаметр вала мешалки; H7/k6, H7/m6 – посадки в соединениях вала редуктора и вала мешалки с полумуфтами; исполнение 1 – расточка цилиндрическая под длинный конец вала по ГОСТ 12080 - 66																																



1, 2 – полумуфты; 3 – вал мешалки; 4 – болт по ГОСТ 7805 – 70; 5 – гайка по ГОСТ 5927 – 70; 6 – шайба пружинная по ГОСТ 6402 – 70; 7 и 8 – гайка круглая шлицевая по ГОСТ 11871 – 88 и шайба стопорная многолапчатая по ГОСТ 11872 – 89 (табл. Е.15); 9 – шпонка по ГОСТ 23360 – 78 (рис. Е.7)

Исполнение полумуфты: 1 – расточка под цилиндрический конец вала, 2 – расточка под конический конец вала.

Длина шпонки  $l_{ш} = L_2 - (10 \div 20) \text{ мм}$

Рисунок Е.4 – Соединение валов фланцевой муфтой (табл. Е.10) в приводе типа 2

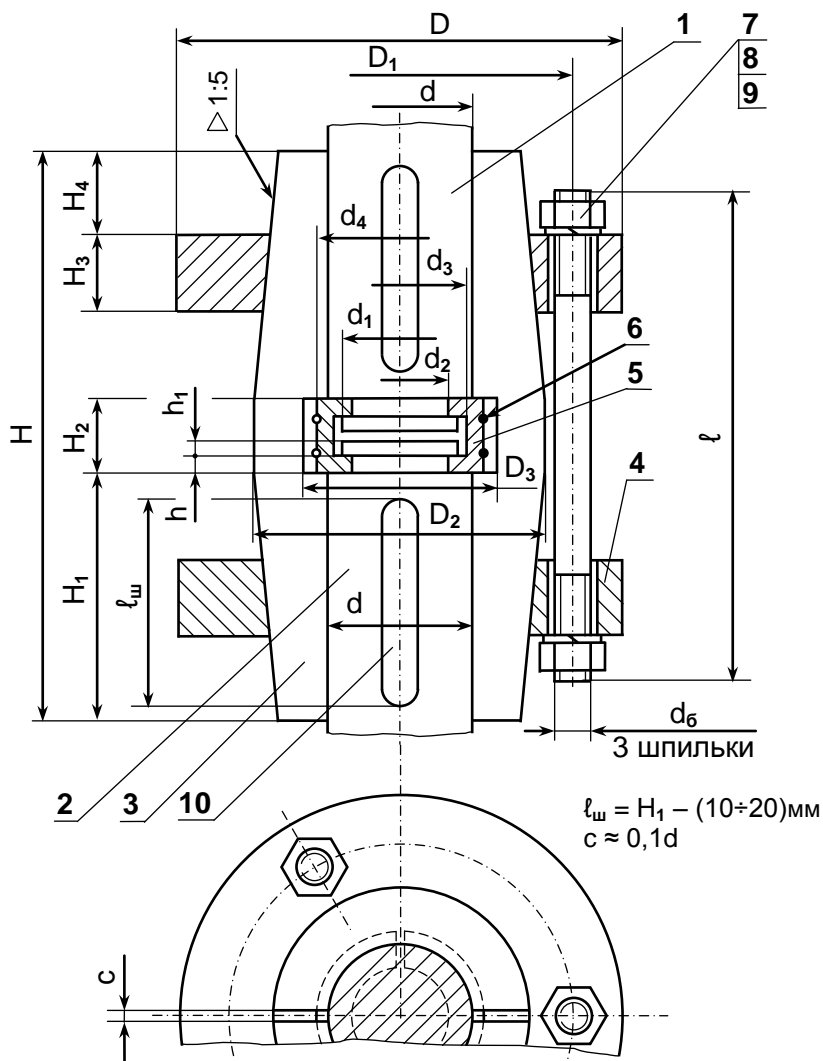
Таблица Е.10 – Основные размеры и масса фланцевых полумуфт

Габарит полумуфты	Исполнение	Размеры, мм																	z	T, кН·м	m, кг										
		d	d <sub>1</sub> , H7 m6	d <sub>н</sub>	D	D <sub>1</sub>	D <sub>2</sub>	D <sub>3</sub>	d <sub>2</sub>	d <sub>3</sub> , H8 h7	b	L <sub>1</sub>	L <sub>2</sub>	L <sub>3</sub>	ℓ	ℓ <sub>1</sub>	ℓ <sub>2</sub>	ℓ <sub>6</sub>				d <sub>6</sub>									
1	1	50	40	M39×1,5	190	150	110	80	80	90	6	110	82	65	25	22	22	60	M12	6	0,5	6,7									
	2		—					90								7,9															
2	1	65	50	M48×1,5 M52×1,5	220	180	130	105	120	6						140	105	85	32			25	75	M16	1,0	9,0					
	2		—																							120	13,2				
3	1	80	65	M64×2	260	220	160	160	135	150	11	170	130	105	35	28	28	80	M20	2,2	16,1										
	2		—				180														25,3										
	1	95	80	M76×2 M80×2			180									160	135	150			11	170	130	105	35	28	28	80	M16	2,2	24,5
	2		—																												160
4	1	110	95	M90×2	340	280	200	190	165	180	11	210	165	140	40	32	95	M20	8	5,0	31,5										
	2		—				220														44,4										
5	1	130	110	M105×2	380	325	240	230	190	210						11	210	165			140	40	36	36	100	M20	8	10,0	50,6		
	2		—				270																						72,8		

Примечания:

1) В таблице обозначено: Т – номинальный вращающий момент; z – количество болтов; m – масса полумуфты; H7/m6 – посадка в соединении вала мешалки и полумуфты, H8/h7 – посадка в соединении фланца выходного вала редуктора и полумуфты.

2) Исполнение 1 – расточка под цилиндрический вал, исполнение 2 – расточка под конический вал



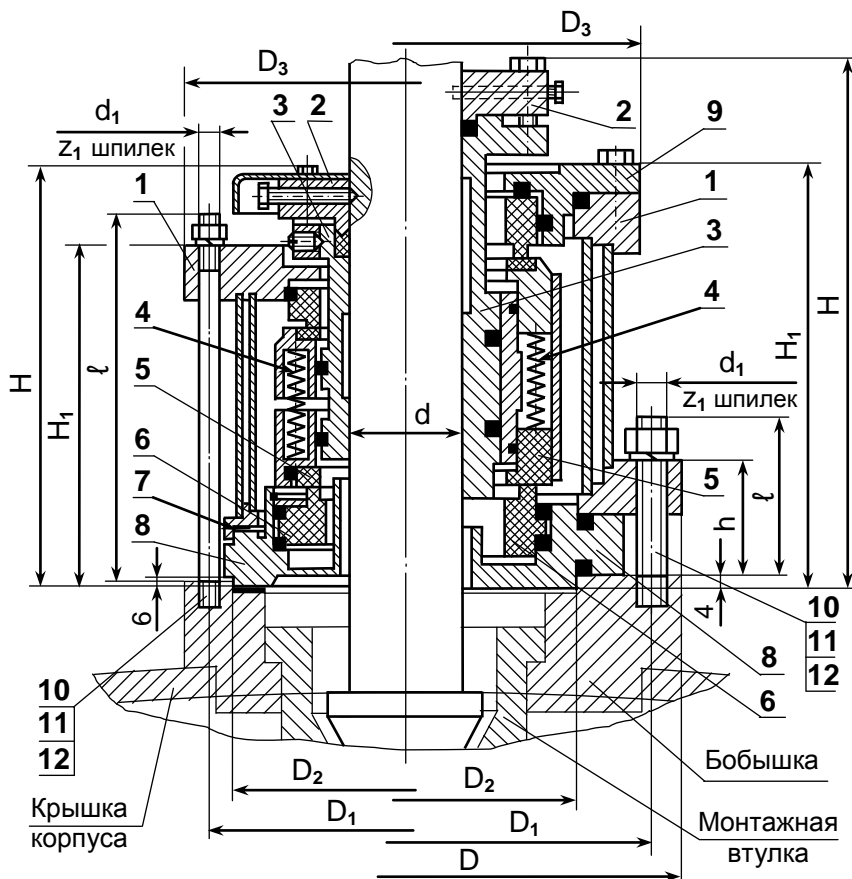
1 – выходной вал привода; 2 – вал мешалки; 3 – полумуфта; 4 – диск; 5 – вкладыш; 6 – пружинное кольцо; 7 – шпилька по ГОСТ 22043 – 76; 8 – гайка по ГОСТ 5927 – 70; 9 – шайба по ГОСТ 6402 – 70; 10 – шпонка по ГОСТ 23360 – 78 (рис. Е.7)

Рисунок Е.5 – Соединение валов продольно-разъемной муфтой (табл. Е.11) в приводе типа 2





Уплотнение на  $p_{раб} \leq 0,6 \text{ МПа}$       Уплотнение на  $p_{раб} \leq 2,5 \text{ МПа}$



1 – корпус; 2 – нажимная втулка; 3 – втулка; 4 – пружина; 5 – подвижное кольцо; 6 – неподвижное кольцо; 7 – прокладка; 8 – уловитель протечки; 9 – крышка; 10 – шпилька по ГОСТ 22033 – 76; 11 – гайка по ГОСТ 5927 – 70; 12 – шайба пружинная по ГОСТ 6402 – 70.

Примечание – Штуцера для подвода, отвода запирающей и охлаждающей жидкости, а также для отвода протечек условно не показаны

Рисунок Е.6 – Крепление на валу двойного торцового уплотнения типа Т3 по АТК 24.201.13 – 90 (табл. Е.12)

Таблица Е.12 – Основные размеры и масса двойных торцовых уплотнений типа ТЗ на избыточное давление  $p_{\text{раб}}$  0,6 МПа и 2,5 МПа по АТК 24.201.13 – 90

Типоразмер	Размеры, мм											Масса, кг					
	d (F9)	D	D <sub>1</sub>	D <sub>2</sub> (e9)	D <sub>3</sub>	H	H <sub>1</sub>	h	ℓ	d <sub>1</sub>	z <sub>1</sub>						
T3-50-6	50	—	170	148	205	225	172	—	220	M16	8	4	23				
T3-65-6	65		200	178	235	235	180					240	25				
T3-80-6	80		225	202	260	255	202						31				
T3-95-6	95		255	232	290	260	207		40								
T3-110-6	110		280	258	315		200		45								
T3-130-6	130		305	282	340	266	208		57								
T3-50-25	50	270	240	165	235	260	220	60	90	M16	12	55					
T3-65-25	65	330	280	195	275	280	230	70	110	M24		75					
T3-80-25	80											290	250	75	115	M27	85
T3-95-25	95																100
T3-110-25	110						360	310	225	300		340	250	75	115	M27	100
T3-130-25	130						395	340									
Примечание – В обозначении типоразмера уплотнения указано давление в атмосферах																	

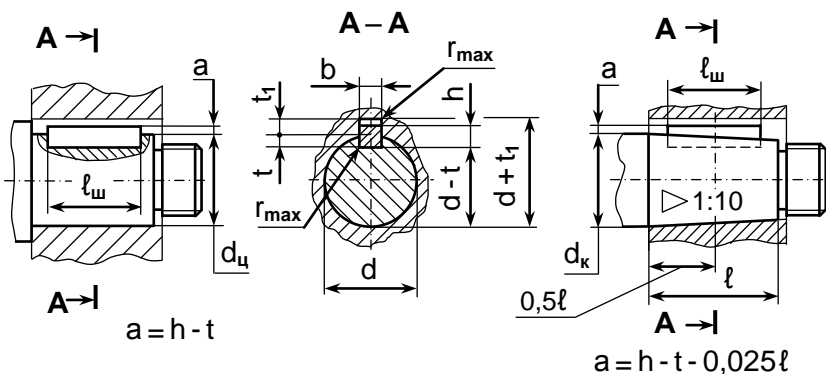


Рисунок Е.7– Соединение конца вала с призматической шпонкой по ГОСТ 23360 – 78 (таблица Е.14)

Таблица Е.13 – Размеры призматических шпонок и шпоночных пазов по ГОСТ 23360 – 78

Размеры, мм

Диаметр вала	Размеры сечения шпонки		Длина	Радиус	Глубина паза		Диаметр вала
					вал	втулка	
$d_{\text{ц}}$	$b$	$h$	$l_{\text{ш}}$	$r_{\text{max}}$	$t$	$t_1$	$d_{\text{к}}$
Св. 22 до 30	8	7	18 – 90	0,25	4,0	3,3	—
>> 30 >> 38	10	8	22 – 110	0,4	5,0	3,3	Св. 38 до 44
>> 38 >> 44	12	8	28 – 140		5,0	3,3	>> 44 >> 50
>> 44 >> 50	14	9	36 – 160		5,5	3,8	>> 50 >> 58
>> 50 >> 58	16	10	45 – 180		6,0	4,3	>> 58 >> 65
>> 58 >> 65	18	11	50 – 200		7,0	4,4	>> 65 >> 75
>> 65 >> 75	20	12	56 – 220	0,6	7,5	4,9	>> 75 >> 85
>> 75 >> 85	22	14	63 – 250		9,0	5,4	>> 85 >> 95
>> 85 >> 95	25	14	70 – 280		9,0	5,4	>> 95 >> 110
>> 95 >> 110	28	16	80 – 320		10,0	6,4	>> 110 >> 130
>> 110 >> 130	32	18	90 – 360		11,0	7,4	>> 130 >> 150
>> 130 >> 150	36	20	100 – 400	1,0	12,0	8,4	>> 150 >> 170

Примечания:

1  $d_{\text{ц}}$  – цилиндрический конец вала по ГОСТ 12080 – 66.

2  $d_{\text{к}}$  – конический конец вала по ГОСТ 12081 – 72.

3 Длины призматических шпонок  $l_{\text{ш}}$  выбирают из ряда, мм: 20, 22, 25, 28, 32, 36, 40, 45, 50, 56, 63, 70, 80, 90, 100, 110, 125, 140, 160, 180, 200, 220, 250, 280, 320, 360, 400

Таблица Е.14 – Коэффициенты полезного действия (КПД) для элементов привода

Наименование элементов приводов	КПД ( $\eta$ )
1 Подшипники качения (одна пара) для вала мешалки	0,99
2 Уплотнение двойное торцовое для диаметра вала мешалки $d$ , мм:	
50; 65; 80	0,99
95; 110; 130	0,98
3 Муфта упругая втулочно-пальцевая (компенсирующая)	0,98
4 Механическая передача:	
а) одноступенчатая планетарная в мотор-редукторах типа:	
МПО1 (привод типа 1),	0,97
МР1 (привод типа 1);	0,98
б) двухступенчатая планетарная в мотор-редукторах типа:	
МПО2 (привод типа 1),	0,95
МР2 (привод типа 1);	0,96
в) трехступенчатая планетарная в мотор-редукторах типа	
МР3 (привод типа 1);	0,94
г) мотор-редуктор (МПО1, МПО2, МР1, МР2, МЦФ) и цилиндрическая зубчатая передача одноступенчатого редуктора без учета подшипников (привод типа 2)*	0,92 ÷ 0,95
* КПД передачи (см. пункт 4, г) определяется произведением КПД мотор-редуктора, который используется в приводе типа 2, и КПД одноступенчатой цилиндрической передачи ( $\eta \approx 0,97$ ); КПД мотор-редуктора типа МЦФ ориентировочно – $\eta \approx 0,98$ .	

Таблица Е.15 – Основные размеры гаек круглых шлицевых, класса точности А (извлечение из ГОСТ 11871–88) и шайб стопорных многолапчатых (извлечение из ГОСТ 11872–89)

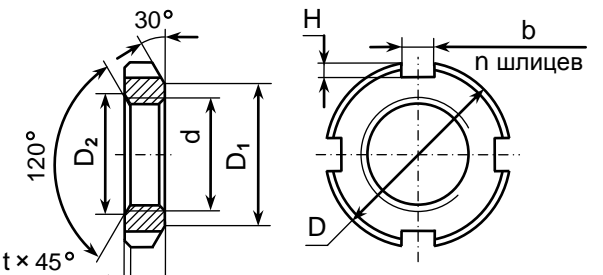
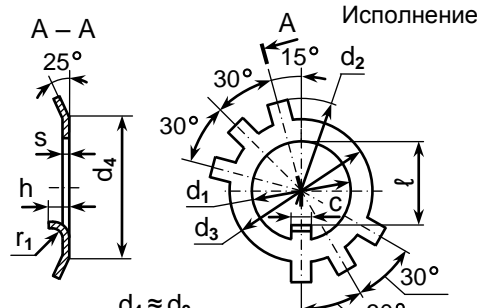
<div>Исполнение 1</div>  <div>Размеры, мм</div>										<div>Исполнение 1</div>  <div>Размеры, мм</div>											
d	D	m	D <sub>1</sub>	D <sub>2</sub>		b	H	t, не более	n	d <sub>1</sub>	d <sub>2</sub>	d <sub>3</sub>	ℓ	h		c	s				
				не менее	не более									не менее	не более						
M39×1,5	60	10	48	39	42,1	8	3,0	1,0	4	39,5	62	48	36	4,5	8	6,8	1,6				
M48×1,5	75	12	58	48	51,8		3,5			48,5	77	58	45								
M52×1,5	80		61	52	54					52,5	82	61	49								
M64×2	95		15	75	64	66	10	4,0	1,6	6	65,0	98	75	61	5,5	10		7,8			
M76×2	110	85		76	80	77,0					112	87	73								
M80×2	115	90		80	84	81,0					117	90	76	9,5							
M85×2	120	18	98	85	89	12					86,0	122	98	81	6,5	13		2,0			
M90×2	125		102	90	94						91,0	127	102	86		11,5					
M95×2	130		108	95	99						106,0	142	120	101		13,5					
M105×2	140		120	105	109						116,0	157	132	112							

Таблица Е.16 – Основные размеры концевых шайб для торцового крепления полумуфт

Размеры, мм

$d_p$	D	e	h	d	L	B	s	C, не более	$d_6 \times l$			
От 35 до 40	50	20	6	9	40	16	1,0	4	M8×20			
Св. 40 » 45	55				45							
» 45 » 50	60	25										
» 50 » 60	70	30	8	14	55	24	1,2	5	M12×30			
» 60 » 70	80	36			60							
» 70 » 80	90	40			65							
» 80 » 90	110	45	10		70							
» 90 » 100	120	50	12	18	80	30			M16×36			
» 100 » 110	125	55			85							
» 110 » 120	140	60			90							
» 120 » 130	150	65			95							

Примечание – В таблице обозначено:  $d_6 \times l$  – диаметр и длина болта по ГОСТ 7798 – 70;  $d_p$  – диаметр выходного вала редуктора

Таблица Е.17 – Основные размеры шайб стопорных с лапкой под шестигранные гайки и шестигранные головки болтов (извлечение из ГОСТ 13463 – 77)

# Способы крепления шайб

Размеры, мм

d	d <sub>1</sub>	D	B	B <sub>1</sub>	L	L <sub>1</sub>	r	r <sub>1</sub>	s
5	5,3	8	6	5	16	7,5	0,5	0,5	0,5
6	6,4	10	9	6	18	9			0,8
8	8,4	14	11	8	20	11		1,2	1
10	10,5	17	13	10	22	13	2		
12	13	19	15	12	28	15			
(14)	15	22	17			17			
16	17	24	20	15	32	20			
(18)	19	27	22	18	36	22			
20	21	30	24			24			
(22)	23	32	25	20	42	25	1,6		3
24	25	36	28			28			

Примечание – В таблице обозначено: d – номинальный диаметр резьбы; размеры в скобках применять не рекомендуется



## ПРИЛОЖЕНИЕ Ж (рекомендуемое)

### Взаимозаменяемость в машиностроении. Краткие сведения

Под *взаимозаменяемостью* в машиностроении понимают системы конструкторских и технологических мероприятий, обеспечивающих изготовление деталей и их сборку с требуемым характером соединения без дополнительной обработки. Взаимозаменяемость деталей машин обеспечивается *системой допусков и посадок*, нормализованной соответствующими стандартами и представляющими собой развернутую классификацию разрешенных к применению допусков и посадок. На допуски и посадки гладких элементов деталей с номинальными размерами до 3150 мм введены ГОСТ 25346-89 «Общие положения, ряды допусков и основных отклонений» и ГОСТ 25347-2013 «Поля допусков и рекомендуемые посадки». Стандартная система допусков и посадок позволяет достигать рационального соединения деталей машин, обеспечивающего нормальную работу; выбирать экономически обоснованную и достаточную точность изготовления деталей – чем выше точность изготовления тем больше затраты на изготовление (рис. Ж.1).

При сборке сопрягаемых деталей, входящих одна в другую, охватывающую поверхность называют *отверстием*, а охватываемую – *валом*.

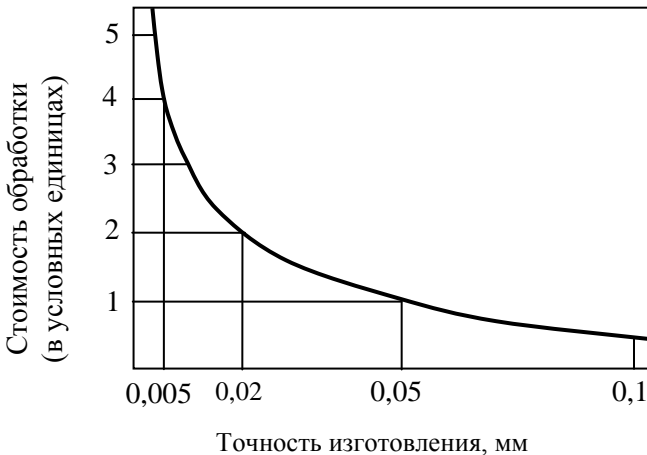


Рисунок Ж.1 – Зависимость стоимости механической обработки деталей от требуемой точности выполнения номинальных размеров

Следовательно, отверстие – это термин, применяемый для обозначения круглой или плоской внутренней поверхности, вал – это термин, применяемый для обозначения круглой или плоской наружной поверхности. Одним из факторов, определяющих взаимозаменяемость, является точность выполнения размеров.

*Размер* – числовое значение линейной величины в выбранных единицах.

*Действительный размер* – размер изготовленной детали, установленный измерением с допустимой погрешностью.

*Предельные размеры* – два предельно допустимых размера, наибольший и наименьший, между которыми находится действительный размер детали: наибольший предельный размер отверстия  $D_{\max}$ , вала –  $d_{\max}$ ; наименьший предельный размер отверстия  $D_{\min}$ , вала –  $d_{\min}$  (рис. Ж.2).

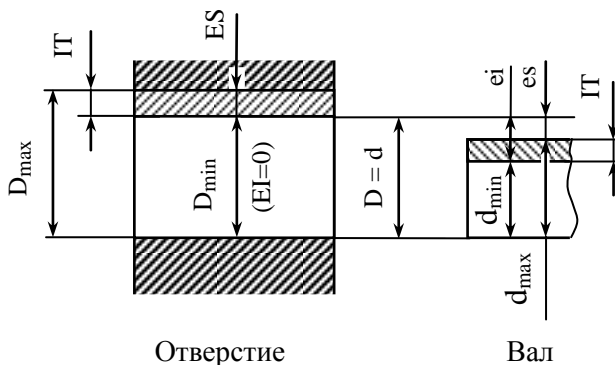


Рисунок Ж.2 – Предельные размеры отверстия и вала, определяющие поля допусков и посадку (посадка с зазором)

*Номинальный размер* – размер, проставляемый на чертеже и служащий началом отсчета отклонений при изготовлении детали. Номинальный размер получают расчетом по главным критериям работоспособности детали (например, из условия прочности, жесткости, устойчивости) или назначают конструктивно. Для сопрягаемых поверхностей *номинальный размер отверстия* ( $D$ ) и *вала* ( $d$ ) является общим, т.е.  $D = d$ , обычно он принимается из ряда значений по ГОСТ 6636-69.

*Предельное отклонение* – алгебраическая разность между предельным и номинальным размерами. Разность между наибольшим или наименьшим предельными размерами и номинальным размером отверстия или вала называются соответственно *верхним* или *нижним отклоне-*

*Нулевая линия* – линия, соответствующая номинальному размеру, от которого отсчитываются отклонения размеров при графическом изображении.

*Поле допуска* – это интервал значений размера, ограниченный верхним и нижним предельными отклонениями.

Отверстие

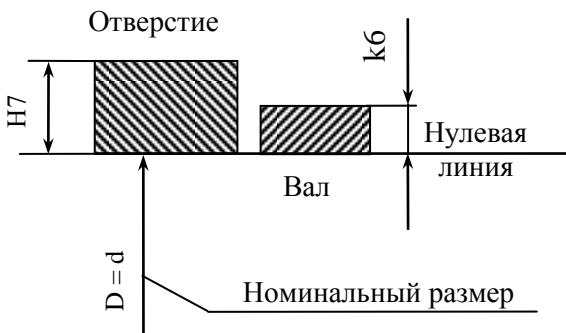


Рисунок Ж.3 – Пример выполнения посадки с полем допуска отверстия Н7 и полем допуска вала к6 (посадка переходная)

*Квалитет* – совокупность допусков, соответствующих одной степени точности для всех номинальных размеров. Стандартом предусматривается 20 квалитетов в порядке уменьшения степени точности: 01-й; 0-й; 1-й – для оценки точности концевых мер длины; 2 – 5-й для калибров и особо точных изделий; 6 – 12-й для наиболее распространенных видов сопряжений деталей; 13 – 18-й – для неотчетливых и свободных размеров (рис. Ж.4).

*Посадка* – характер соединения деталей, определяемый, величиной получающихся в нем зазоров или натягов.

*Зазор S* – разность между размерами отверстия и вала, если размер отверстия больше размера вала:  $S_{\max} = D_{\max} - d_{\min}$ ;  $S_{\min} = D_{\min} - d_{\max}$ .

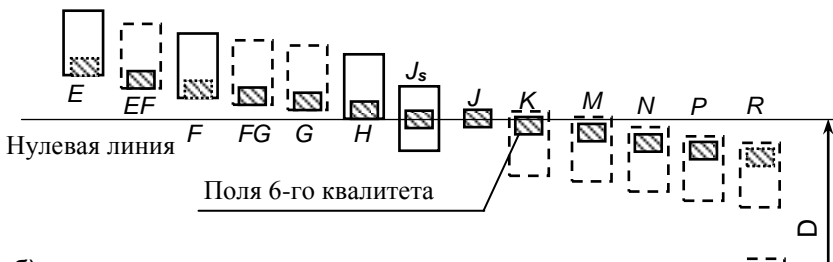
*Натяг N* – разность размеров вала и отверстия до сборки, если размер вала больше размера отверстия:  $N_{\max} = d_{\max} - D_{\min}$ ;  $N_{\min} = d_{\min} - D_{\max}$ .

В зависимости от действительных размеров сопрягаемых деталей посадки разделяются на три группы:

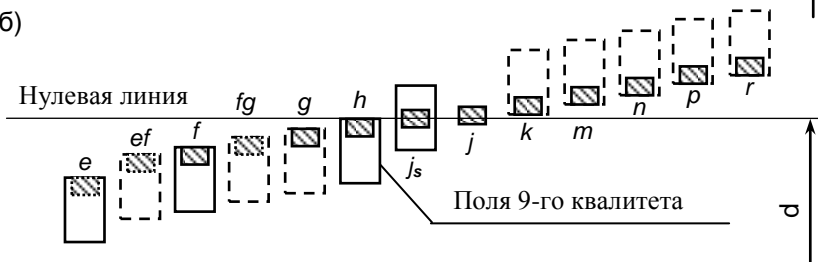
А) Охватывающая поверхность имеет действительный размер гарантированно больший, чем действительный размер охватываемой поверхности, такое соединение называют соединением (посадкой) с *гарантированным зазором*  $S \geq 0$ .

Б) Охватывающая поверхность имеет действительный размер гарантированно меньший, чем действительный размер охватываемой поверхности, такое соединение называют соединением (посадкой) с *гарантированным натягом*  $N > 0$ .

а)



б)



Сплошные линии – рекомендуемые поля допусков

Пунктирные линии – не рекомендуемые поля допусков

Рисунок Ж.4 – Расположение полей допусков относительно нулевой линии для 6-ого и 9-ого квалитетов: а) для отверстия; б) для вала

В) Охватывающая и охватываемая поверхности имеют действительные размеры близкие к номинальному размеру и отклоняющиеся от него настолько в плюс или минус, что нельзя утверждать будет соединение с гарантированными натягом или зазором, такие соединения называют соединениями *с переходными посадками*.

Посадки осуществляются по двум системам: *системе отверстия и системе вала*. В посадках по системе отверстия предельные размеры отверстия остаются постоянными, и различные посадки осуществляются за счёт изменения предельных размеров (положения поля допуска относительно номинального размера) вала. В посадках по системе вала наоборот: посадка осуществляется за счёт изменения предельных размеров отверстия. При прочих равных условиях *система отверстий при назначении посадок является более предпочтительной и распространённой*, так как при ней требуется меньше дорогостоящего инструмента и дешевле обработка.

В обозначении посадки на сборочном чертеже указывают номинальный размер, общий для обоих соединяемых элементов (отверстия и вала), за которым следуют обозначения полей допусков для каждого элемента, начиная с отверстия, например, 70H7/g6. В посадке могут быть применены поля допусков разных квалитетов, но отличающиеся друг от друга не более чем на два шага. Числовые значения допусков и основные отклонения даны в ГОСТ 25346-82.

Поля допусков, числовые значения предельных отклонений и рекомендуемые посадки приведены в ГОСТ 25347-82 (см. также [15]). Ниже приведены примеры обозначения посадок в системе отверстия.

*Посадки с зазором* (a – h) применяют для подвижных и неподвижных соединений деталей [2]: для соединений с частой сборкой-разборкой; для направляющих вращательного и поступательного движения (H9/f9, H7/f7, H7/g6, H8/h6, H7/h6 и др.).

*Посадки с натягом* (p – z) назначают для неразъемных соединений (H7/p6, H7/r6, H7/n6 и др.).

*Переходные посадки* (js – n) применяют для неподвижных соединений, разборка которых осуществляется при небольших усилиях (H7/js6, H7/k6, H7/n6 и др.).

На рабочих чертежах деталей все размеры должны проставляться с допусками: либо непосредственно рядом с размерами, либо указываются в технических требованиях (запись над штампом чертежа, см. рис. 16 – 18). Размер, для которого указано поле допуска, обозначается числом (номинальный размер) и условным обозначением, состоящим из букв (положения поля допуска) и цифр (квалитета), например: 40g6; 70H7; Ø 92H11.

Выбор посадок, допусков и квалитетов – один из самых ответственных моментов, так как именно ими определяется качество деталей и узлов, технология и стоимость изготовления. Правильно выбранными допусками считаются те наибольшие допуски, при которых сопрягаемые детали машин работают в соответствии с заданными техническими условиями и требуемой надёжностью. Для обеспечения лучших показателей изготовления следует принимать квалитеты наиболее низкой точности из возможных вариантов для требуемого сопряжения.

*Рекомендуемые допуски* для элементов шпоночного соединения: на ширину шпонки –  $h9$ ; на ширину паза на валу –  $N9$ ; на ширину паза на ступице –  $H11$ ; на ширину паза на полумуфте –  $J_s9$ ; на длину шпонки –  $h14$ ; на длину паза на валу –  $H15$ .

*Рекомендуемые посадки* для соединений (по ширине  $b$ ) шпонки в системе вала: с валом –  $N9/h9$ ; со ступицей мешалки –  $H11/h9$ ; с полумуфтой –  $J_s9/h9$ . Рекомендуемые посадки для соединений (по длине  $l_m$ ) шпонки с валом –  $H15/h14$  (рис. Ж.5).

Сопряжение вала со ступицей рекомендуется выполнять по посадке в системе отверстия –  $H9/h8$ ; с полумуфтой –  $H7/k6$  или  $H7/m6$ .

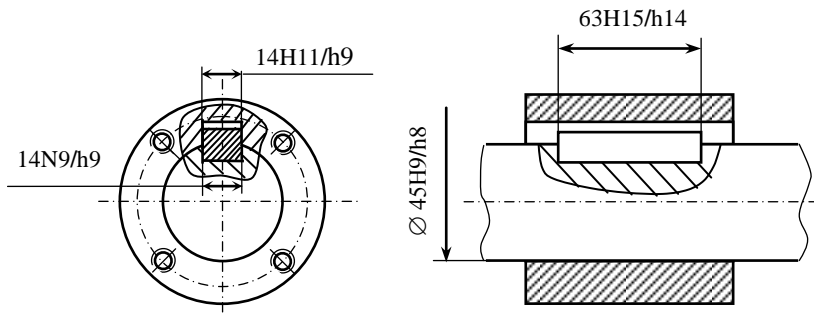


Рисунок Ж.5 – Пример обозначения на сборочном чертеже (общем виде) размеров и допусков шпоночного соединения и соединения вала со ступицей

## Шероховатость поверхностей деталей машин

*Шероховатость поверхности* – совокупность неровностей поверхности с относительно малыми шагами, рассматриваемых на базовой длине. Для оценки шероховатости ГОСТ 2789-73 предусматривает два основных параметра шероховатости –  $R_a$  и  $R_z$ . Параметр  $R_a$  – среднее арифметическое отклонение (в мкм) профиля в пределах базовой длины (рис. Ж.6.):

$$R_a = \frac{1}{\ell} \int_0^{\ell} |y(x)| dx,$$

где  $\ell$  – базовая длина,  $y(x)$  – отклонение профиля в точке с координатой  $x$ .

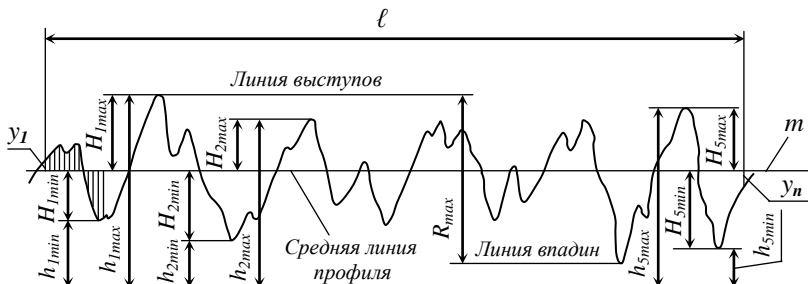


Рисунок Ж.6 – Схема профиля поверхности и его основные параметры

Параметр  $R_z$  – сумма средних арифметических абсолютных отклонений (в мкм) пяти наибольших максимумов и пяти наибольших минимумов профиля в пределах базовой длины:

$$R_z = \frac{1}{5} \left( \sum_1^5 |H_{i \max}| + \sum_1^5 |H_{i \min}| \right).$$

Шероховатость поверхностей деталей машин имеет очень большое значение, так как в значительной степени определяет КПД машин и механизмов, влияет на прочность и коррозионную стойкость и т.п.

Для ориентировочного выбора значений параметров шероховатости можно воспользоваться общими рекомендациями с учетом способа обработки поверхности детали (табл. Ж.1).

Ряд значений отклонения профиля  $R_a$ , мкм: **100**; 80; 63; **50**; 40; 32; **25**; 20; 16; **12,5**; 10,0; 8,0; **6,3**; 5,0; 4,0; **3,2**; 2,5; 2,0; **1,6**; 1,25; 1,00; **0,80**; 0,63; 0,50; **0,40**; 0,32; 0,25; **0,20**; 0,16; 0,125; **0,100**; 0,080; 0,063; **0,050**; 0,040; 0,032; **0,025**; 0,020; 0,016; **0,012**; ...

Ряд значений высоты неровностей профиля  $R_z$ , мкм: **400**; 320; 250; **200**; 160; 125; **100**; и т.д. в соответствии ряду  $R_a$  до значения 0,020 мкм.

Выделенные значения параметров предпочтительны.

Таблица Ж.1 – Соответствие параметров шероховатости и полей допусков при различных методах обработки поверхности детали

Возможные способы обработки поверхности	R <sub>a</sub> , мкм	R <sub>z</sub> , мкм	Квалитеты полей допусков IT
Литьё в песчаные формы, горячая ковка, газовая резка	100 – 50	500 – 250	17; 16
Отрезка резцом, долбление, отпиливание, черновое обтачивание наружной поверхности цилиндра	50 – 25	250 – 125	15; 14
Черновое фрезерование и строгание плоскости; черновое растачивание и зенкерование отверстия; получистовое обтачивание цилиндра; чистовая подрезка торцов	25 – 12,5	125 – 63	13; 12
Центробежное литьё под давлением и по выплавляемой модели; сверление и рас-сверливание; нормальное развертывание и черновое протягивание отверстия; чистовое фрезерование и строгание плоскости	12,5 – 6,3	63 – 32	11; 10
Холодная штамповка, чистовое обтачивание наружной поверхности цилиндра; чистовое зенкерование и растачивание отверстия; предварительное шлифование, точное развертывание	6,3 – 3,2	32 – 16	9; 8
Тонкое фрезерование и строгание плоскости; тонкое обтачивание цилиндра; тонкое развертывание и растачивание отверстия; чистовое шлифование и протягивание	3,2 – 1,6	16 – 8	7; 6
Тонкое шлифование, алмазное выглаживание, грубая притирка	1,6 – 0,8	8 – 4	6; 5
Обкатывание цилиндра, раскатывание и калибрование отверстия, средняя и тонкая притирка, тонкое шабрение плоскости	0,8 – 0,4	4 – 2	5; 4
Шлифование: суперфиниширование наружной и хонингование внутренней поверхности цилиндра; полирование, доводка	0,4 – 0,1	2 – 0,5	4; 3
Отделочная зеркальная доводка	0,1 – 0,012	0,5 – 0,063	3



Обозначение на чертежах шероховатости поверхностей в соответствии с ГОСТ 2.309-73 показано на рисунке Ж.7. Полка знака и обозначение параметров шероховатости по ГОСТ 2789-73 обязательны. Шероховатость всех поверхностей на чертеже детали должна быть указана (рис. Ж.8).

Значение параметра  $R_a$  и  $R_z$  указывают с символом, например  $R_z$  20. Кроме того, для обозначения шероховатостей поверхностей, не обрабатываемых по данному чертежу, используется символ —  $\sqrt{\phantom{x}}$ .

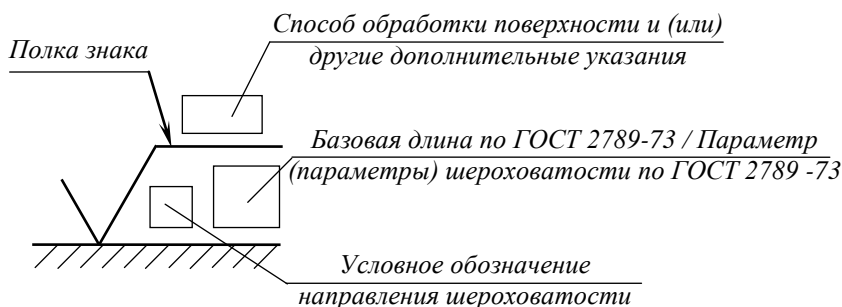


Рисунок Ж.7 – Структура обозначения шероховатости поверхности

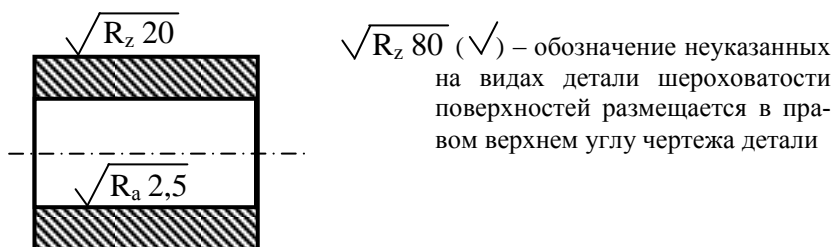


Рисунок Ж.8 – Обозначение шероховатостей поверхностей

## Допуски формы и допуски расположения поверхностей

Требования к соблюдению формы поверхностей и взаимному их расположению обуславливаются собираемостью и функционированием деталей, узлов и машин. Одним из источников вибраций, динамических нагрузок и снижения долговечности машин являются неточности формы деталей и их поверхностей. К деталям механических передач и подшипниковых узлов, валам и соединительным муфтам предъявляются требования допусков на их форму и расположение, связанные с обеспечением норм кинематической точности и работоспособности. Указанные причины требуют ограничить:

- отклонения от соосности посадочных поверхностей ступицы мещалки, полумуфты, подшипников, зубчатых колёс и т.п. на валу и в корпусе;
- отклонения от перпендикулярности базовых торцов вала и корпуса;
- отклонения формы поверхности валов, корпусов, шкивов, роторов и других быстровращающихся деталей;

При назначении допусков на форму и расположение важен вопрос о базовых осях и поверхностях, относительно которых определяются и контролируются указанные требования. Базовые оси и поверхности обозначают на чертежах равнобедренным треугольником, соединённым с рамкой, в которой записывается буквенное обозначение базы. Допуски формы и расположения указывают на чертеже условными знаками, которые записываются в рамке, разделённой на две или три части. В первой размещают графический знак допуска, во второй – его численное значение и в третьей – обозначение базы, относительно которой задан допуск (рис. Ж.9 и Ж.10).

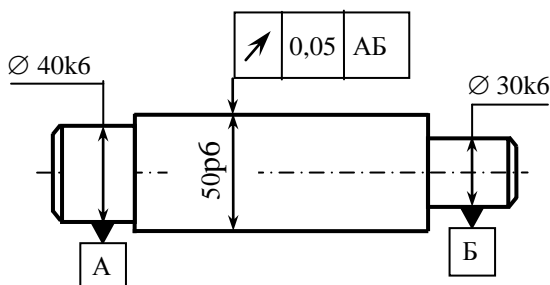


Рисунок Ж.9 – Пример задания радиального биения поверхности  $\varnothing 50p6$  относительно базовых поверхностей А и Б под подшипники

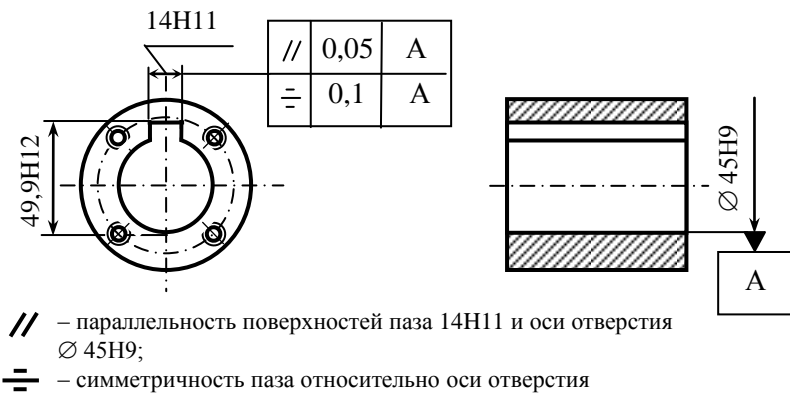


Рисунок И.10 – Пример назначения размеров и допусков на шпоночный паз в отверстии ступицы (на рабочем чертеже детали) с указанием допусков на расположение паза относительно базового отверстия А

ПРИЛОЖЕНИЕ И  
(справочное)

**Обозначение резьбовых крепежных изделий**

Структура условного обозначения крепежных деталей (болтов, шпилек, гаек) имеет следующий вид.

□	□	□	□	×	□	–	□	–	□	×	□	.	□	.	□	□	.	□	ГОСТ	□
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12								13	

Здесь:

- 1 – наименование изделия (Болт; Шпилька; Гайка);
- 2 – класс точности: определяется в соответствии с номером стандарта на изделие (А – повышенной точности, В – нормальной точности, С – грубой точности). Класс не указывается при однозначном определении его стандартом, а также класс «В» в случае, если в стандарте предусматривается более одного класса точности;
- 3 – исполнение: зависит от конструктивных особенностей изделия (исполнение 1 не указывается);
- 4 – обозначение метрической цилиндрической резьбы по ГОСТ 24705-2004 (буква «М») и номинальный диаметр резьбы;
- 5 – шаг резьбы (крупный шаг не указывается и знак «×» перед ним не ставится);
- 6 – направление резьбы (правую резьбу не указывают, а для левой резьбы проставляют буквы ЛН – используют только в обоснованном случае);
- 7 – поле допуска диаметра резьбы в соединениях с зазором по ГОСТ 16093-2004 (для наружного диаметра болтов и шпилек повышенной и нормальной точности – 6g и грубой точности – 8g, для внутреннего диаметра гаек повышенной и нормальной точности – 6H и грубой точности – 7H); цифра в обозначении показывает степень точности, а буква – основное отклонение;
- 8 – длина изделия (кроме гаек) по таблице И.1;
- 9 – класс прочности углеродистой или низколегированной стали при нормальной температуре для болтов и шпилек по ГОСТ Р 52627-2006 и для гаек по ГОСТ Р 52628-2006 (табл. К2) или условное обозначение группы, характеризующей прочность коррозионностойкой, жаропрочной и теплоустойчивой стали по ГОСТ 1759.0-87 (табл. И.3);
- 10 – указание о применении спокойной (С) углеродистой стали или автоматной (А) стали;

11 – марка материала для изделий классов прочности 8 (гайка), 8.8 (болт или шпилька) и выше, для группы из высоколегированных сталей, а также марки других сталей с механическими характеристиками не хуже, чем указано в стандартах на болты, шпильки и гайки;

12 – условное цифровое обозначение вида покрытия (отсутствие покрытия не указывается) и суммарная толщина покрытия (выбор толщины покрытия по ГОСТ 9.303-84), (табл. И.4);

13 – номер стандарта на изделие.

Таблица И.1 – Размеры болтов и шпилек, мм

Номинальный диаметр резьбы d	Длина болта (без учета высоты шестигранной головки)	Длина откидного болта от торца до оси отверстия проушины по ГОСТ 3033-79	Длина шпильки (без ввинчиваемого конца в резьбовое отверстие)	Длина шпильки с двумя резьбовыми концами для гладких отверстий по ГОСТ 22043-76	Длина шпильки с двумя резьбовыми концами по ГОСТ 9066-75
M6	8 – 90	32 – 70	16 – 160	14 – 300	–
M8	8 – 100	36 – 80	16 – 200	20 – 300	–
M10	10 – 200	40 – 100	16 – 200	30 – 300	45 – 150
M12	14 – 260	45 – 125	25 – 220	40 – 360	55 – 200
M16	16 – 300	60 – 160	25 – 220	55 – 500	65 – 230
M20	25 – 300	80 – 200	42 – 240	80 – 500	85 – 230
M24	32 – 300	100 – 250	45 – 240	130 – 500	110 – 250
(M27)	35 – 300	–	55 – 260	150 – 500	120 – 260
M30	40 – 300	125 – 280	60 – 260	170 – 500	130 – 340
(M33)	–	–	70 – 300	–	–
<p>Ряд длин болтов с шестигранной головкой и шпилек: 8, 10, 12, 14, 16, 18, 20, 22, 25, 28, 30, 32, 35, 38, 40, 42*, 45, 48**, 50, 55, 60, 65, 70, 75, 80, 85, 90, 95, 100, 105, 110, 115, 120, 125***, 130, 140, 150, 160, 170, 180, 190, 200, 210*, 220, 230*, 240, 250*, 260, 270*, 280, 290*, 300, 310*, 320, 330*, 340, 350*, 360, 380, 400, 420, 450, 480, 500.</p> <p>Ряд длин откидных болтов: 32, 36, 40, 45, 50, 60, 65, 70, 75, 80, 85, 90, 95, 100, 110, 125, 140, 160, 180, 200, 220, 250, 280, 320.</p> <p>Размеры в скобках применять не рекомендуется.</p> <p>* Для шпилек по 9066-75. ** Для шпилек по ГОСТ 22043-76. *** Для болтов</p>					

Таблица И.2 – Механические свойства, классы прочности: болтов (шпилек) по ГОСТ Р 52627-2006 и гаек по ГОСТ Р 52628-2006; рекомендуемые материалы из углеродистых и низколегированных сталей

Болт (шпилька)					Гайка	
Класс прочности	Марка стали	Предел прочности на растяжение $\sigma_b$ , МПа		Предел текучести $\sigma_T$ ( $\sigma_{0,2}^*$ ), МПа	Класс прочности	Марка стали
		номинальный	минимальный			
3.6	Ст3сп, Ст5сп	300	330	180 (190)	4	Ст3кп, Ст3сп, Ст5, Ст5кп
4.6	Ст5кп, 10	400	400	240 (240)	5	10, 10кп, 20, 20кп
4.8	10, 10кп, 09ГС, 10Г2		420	320 (340)		
5.6	30, 35	500	500	300 (300)	6	15, 15кп, 20, 20кп, 35, 45, 40Х
5.8	20, 20кп, 40, 45		520	400 (420)		
6.8	20, 20кп, 35	600	600	480 (480)	8	20Г2Р, 35, 45, 40Х
8.8	35, 45, 30Х, 35Х, 38ХА, 40Х, 20Г2Р	800	830	640* (660*)	9	35Х, 38ХА, 45, 40Х
9.8	35, 45, 35Х, 38ХА, 40ХН, 45Г,	900	900	720* (720*)	10	40Х, 30ХГСА, 38ХА, 16ХСН
10.9	20Г2Р, 30ХГСА	1000	1040	900* (940*)	12	30ХГСА
12.9	30ХГСА, 35ХГСА, 40ХНМА, 16ХСН	1200	1220	1080* (1100*)		35ХГСА, 40ХН2МА

Примечание: Приведённые в таблице марки стали являются наиболее используемые для данных классов прочности. В скобках указаны минимальные значения, без скобок – номинальные значения предела текучести

\* Условный предел текучести

Таблица И.3 – Механические свойства и группы прочности: болтов (шпилек) и гаек по ГОСТ 1759.0-87; рекомендуемые материалы и их сочетания для групп из средне и высоколегированных сталей

Условное обозначение группы	Болт (шпилька)			Гайка	Обозначение стандарта на сталь
	Марка стали	Предел прочности на растяжение $\sigma_B$ , МПа	Предел текучести $\sigma_T$ ( $\sigma_{0,2}^*$ ), МПа	Марка стали	
21	12X18H10T, 12X18H9T, 08X18H10T, 08X17H15M3T, 10X17H13M2T, 10X17H13M3T, 06XH28MДT	510	195	12X18H10T, 12X18H9T, 08X18H10T, 08X17H15M3T, 10X17H13M2T, 10X17H13M3T, 06XH28MДT	ГОСТ 5632-2014
22	12X13, 20X13, 08X22H6T, 08X21H6M2T, 31X19H9MBBT, 07X21Г7АН5, 10X14Г14Н4Т	590	315	12X13, 20X13, 08X22H6T, 08X21H6M2T, 31X19H9MBBT, 07X21Г7АН5, 10X14Г14Н4Т	
23	30X13, 14X17H2, 18X12BMБФР, 08X15H24B4TP 30XMA, 20XH3A	690	540	30X13, 14X17H2, 18X12BMБФР, 08X15H24B4TP 30XMA, 20XH3A	ГОСТ 4543-71
24	18X2H4MA 10X11H23T3MP, 37X12H8Г8МФБ 13X11H2B2MФ	880		18X2H4MA 10X11H23T3MP,3 7X12H8Г8МФБ 13X11H2B2MФ	ГОСТ 5632-2014
25	25X1MФ, 25X2M1Ф, 20X1M1Ф1TP, 20X1M1Ф1БP	880	735	25X1MФ, 25X2M1Ф, 20X1M1Ф1TP, 20X1M1Ф1БP	ГОСТ 20072-74
26	07X16H6	1080	835	07X16H6	ГОСТ 5632-2014
Примечание: Приведенные в таблице марки стали являются наиболее используемые для данных групп прочности по СТБ 26.260.2043-2004					
* Условный предел текучести					

Механические свойства болтов и шпилек (табл. И.2) из углеродистых и низколегированных сталей при нормальных условиях характеризуются 10 классами прочности, каждое из которых обозначаются двумя числами, отделённые точкой. Первое число, умноженное на 100, определяет номинальное значение предела прочности  $\sigma_b$  (временное сопротивление) на растяжение в МПа, второе число, деленное на 10 – отношение предела текучести  $\sigma_T$  (условного предела текучести  $\sigma_{0,2}$ ) к номинальному пределу прочности на растяжение. Произведение этих чисел, умноженное на 10, определяет номинальный предел текучести (условный предел текучести) в МПа.

Таблица И.4 – Виды и условные обозначения покрытий болтов, шпилек, гаек и шайб по ГОСТ 1759.0-87

Вид покрытия	Условное обозначение покрытия	
	по ГОСТ 9.306-85	цифровое
Цинковое, хромированное	Ц. хр	01
Кадмиевое, хромированное	Кд. хр	02
Многослойное: медь-никель	М. Н	03
Многослойное: медь-никель-хром	М. Н. Х. б (блестящее)	04
Окисное, пропитанное маслом	Хим. Окс. прм	05
Фосфатное, пропитанное маслом	Хим. Фос. прм	06
Оловянное	О	07
Медное	М	08
Цинковое	Ц	09
Окисное, наполненное хроматами	Ан. Окс. нхр	10
Окисное из кислых растворов	Хим. Пас	11
Серебряное	Ср	12
Никелевое	Н	13

Механические свойства гаек (табл. И.2) с нормальной высотой не менее  $0,8d$  ( $d$  – номинальный диаметр резьбы) и крупной резьбой из углеродистых и низколегированных сталей разделяются на 7 классов прочности.

Класс прочности для гаек с нормальной высотой указывает на наибольший класс прочности болтов, с которыми они могут создавать



соединение, т.е. на первое из чисел в обозначении класса прочности соответствующего болта (шпильки). Рекомендуются следующие сочетания классов прочности гаек и болтов (шпилек) (табл. И.5) и материалов для болтовых и шпильчных соединений (табл. И.6).

Механические свойства болтов, шпилек и гаек из коррозионно-стойких, жаропрочных, жаростойких и теплоустойчивых сталей (табл. И.3) при нормальной температуре делятся на 6 групп, характеризующих их прочность. Допускается изготавливать крепежные изделия из других материалов, не предусмотренных в таблице И.3, но при этом их механические свойства должны быть не ниже, указанных в таблице для соответствующих групп.

Крепежные изделия изготавливаются или без защитного покрытия, или с одним из видов покрытий (табл. И.4). Минимальная толщина покрытия: 3; 6; 9 мкм.

Таблица И.5 – Сочетания классов прочности гаек и болтов (шпилек)

Класс прочности гайки	Класс прочности болта (шпильки)	Диаметр резьбы d, мм
4	3.6; 4.6; 4.8	$d \leq M16$
5	3.6; 4.6; 4.8	$d > M16$
	5.6; 5.8	$d \leq M48$
6	4.6; 4.8; 5.6; 5.8; 6.8	
8	8.8	
9	8.8	$M16 \leq d \leq M48$
	9.8	$d \leq M16$
10	10.9	$d \leq M48$
12	12.9	

При повышенных температурах механические характеристики болтов (шпилек) уменьшаются. Приближенные данные представлены в таблице И.7.

Длительная работа при повышенной температуре может привести к значительной релаксации напряжений. Обычно 100 ч. работы при температуре 300 °С приводят к снижению усилия затяжки болта или шпильки вследствие уменьшения значения предела текучести более чем на 25% от начальной.

Таблица И.6 – Сочетания материалов болтов (шпилек) с гайками

Материал болта или шпильки (соответствующее обозначение класса или группы прочности)	Материал гайки (соответствующее обозначение класса или группы прочности)
35 (6.6)	20 (4.6), 25 (4.6)
35X (8.8)	35 (6.6)
20X13 (22)	20X13 (22)
07X21Г7АН5 (22)	12X18Н9Т (21), 12X18Н10Т (21), 08X18Н10Т (21), 10X14Г14Н4Т (22)
20ХН3А (23)	10Г2 (4.8), 09Г2С (4.8)
30ХМА (23)	35X (8.8)
14X17Н2 (23)	08X18Н10Т (21) 12X18Н9Т (21), 12X18Н10Т (21)
45X14Н14В2М (23)	31X19Н9МВБТ (22) 08X18Н10Т (21), 12X18Н10Т (21)
18X2Н4МА (24)	20ХН3А (23)
25X1МФ (25)	30ХМА (23)
20X1М1Ф1Бр (25)	25X1М1Ф (25)
07X16Н4Б (26)	08X18Н10Т (21), 12X18Н10Т (21)

Таблица И.7 – Предел текучести или условный предел текучести материала болтов (шпилек) при повышенных температурах

Класс прочности	Температура °С				
	20	100	200	250	300
	Предел текучести или условный предел текучести, МПа				
5.6	300	270	230	215	195
8.8	640	590	540	510	480
10.9	940	875	790	725	705
12.9	1100	1020	925	875	825

Структура условного обозначения шайб имеет следующий вид.

□	□	.	□	□	×	□	.	□	□	.	□	□	ГОСТ	□
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11			12	

Здесь:

- 1 – наименование изделия;
- 2 – исполнение (исполнение 1 не указывается);
- 3 – тип изделия по ГОСТ 11872-89 (Л – легкое (не указывается) и Н – нормальное);
- 4 – класс точности (А – повышенная точность, С – грубая точность; класс не указывается при однозначном определении его стандартом на изделие);
- 5 – диаметр резьбы крепежной детали;
- 6 – толщина (указывается для изделия с толщиной, не предусмотренной в стандартах на конкретный вид изделия, для стандартных толщин информация не указывается и знак «×» не ставится);
- 7 – тип изделия по ГОСТ 6402-70 (Л – легкое, Н – нормальное (не указывается), Т – тяжелое и ОТ – особо тяжелое);
- 8 – условное обозначение группы материала;
- 9 – марка материала (указывается для групп 01, 02, 11, когда нет однозначного выбора материала или иные материалы, не вошедшие в группы);
- 10 – условное обозначение вида защитного покрытия (табл. И.4), (отсутствие покрытия не указывается);
- 11 – толщина покрытия (для многослойного покрытия указывается суммарная толщина всех компонентов);
- 12 – обозначение стандарта на конкретный вид изделия.

Шайбы изготавливают в соответствии с техническими требованиями по ГОСТ 18123-82 из следующих материалов:

а) из углеродистых сталей марок:

Группа 01: 08, 08кп, 10, 10кп по ГОСТ 1050-88;

Группа 02: Ст3 и Ст3кп по ГОСТ 380-2005;

Группа 03: 15;

Группа 04: 20;

Группа 05: 35;

Группа 06: 45;

} по ГОСТ 1050-88

б) из легированных сталей по ГОСТ 4543-71:

Группа 11: 40Х, 30ХГСА;

в) из коррозионностойких сталей по ГОСТ 5632-2014:

Группа 21: 12Х18Н10Т;

Группа 22: 20Х13.

## ПРИЛОЖЕНИЕ К

(обязательное)

Образец оформления титульного листа  
пояснительной записки курсового проекта

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Санкт-Петербургский государственный технологический институт  
(технический университет)»

УГНС \_\_\_\_\_  
(код) \_\_\_\_\_ (наименование)  
Направление подготовки бакалавра \_\_\_\_\_  
(код)  
\_\_\_\_\_  
(наименование)

Факультет \_\_\_\_\_ *Механический*  
Кафедра \_\_\_\_\_ *Механики*  
Учебная дисциплина \_\_\_\_\_ *Прикладная механика*  
Курс \_\_\_\_\_ Группа \_\_\_\_\_

### КУРСОВОЙ ПРОЕКТ

Тема *Проектирование аппарата объемом \_\_\_\_\_ м<sup>3</sup>,  
оснащенного мешалкой типа \_\_\_\_\_  
с частотой вращения \_\_\_\_\_ об/мин  
для перемешивания рабочей среды, содержащей  
\_\_\_\_\_ при температуре \_\_\_\_\_ °С,  
мощность привода \_\_\_\_\_ кВт*

Выполнил студент \_\_\_\_\_  
(инициалы, фамилия)

Руководитель \_\_\_\_\_  
(должность) \_\_\_\_\_ (инициалы, фамилия)

Оценка за курсовой проект \_\_\_\_\_  
(подпись руководителя, дата)

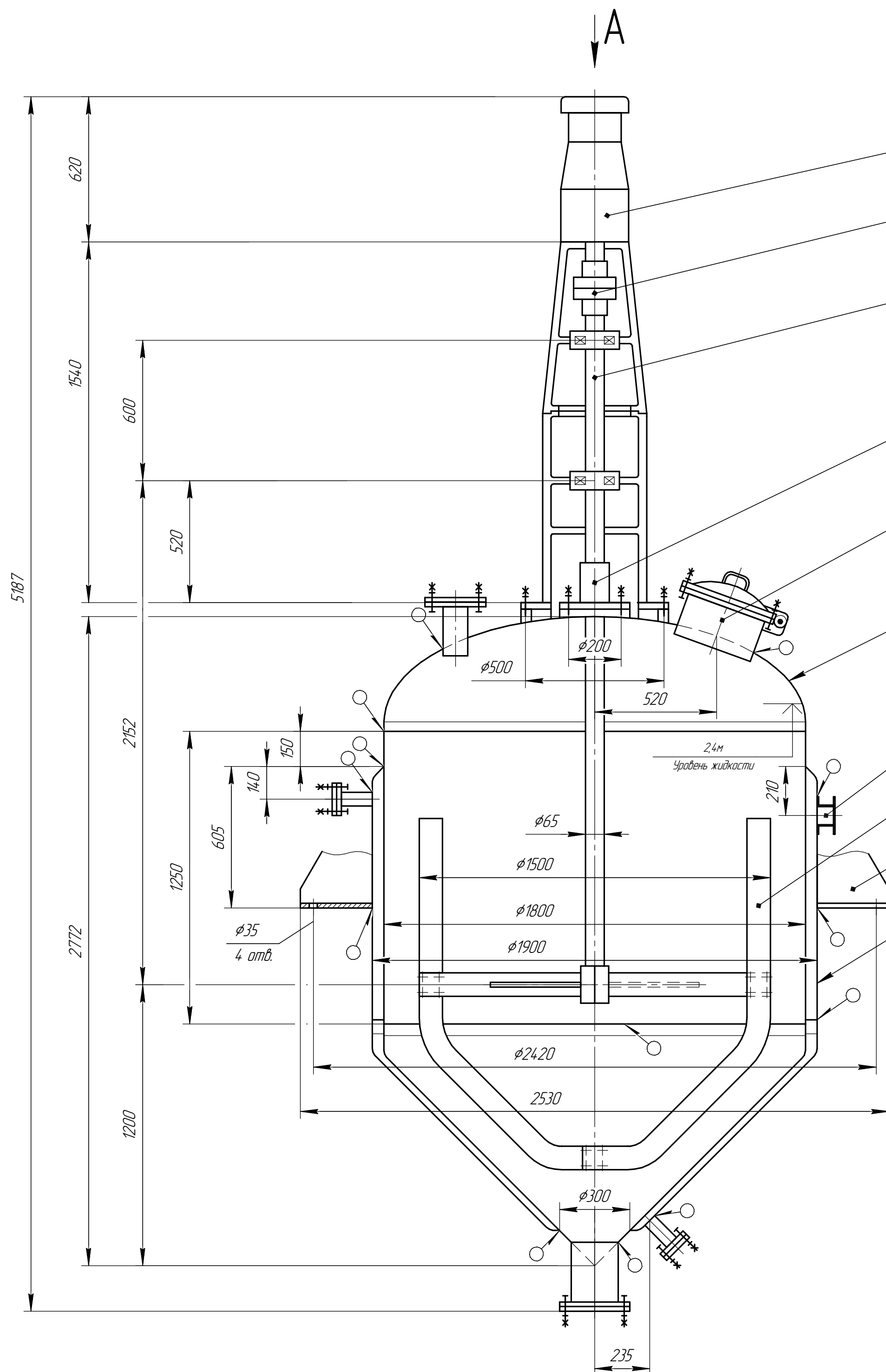
Санкт-Петербург  
2019

**ПРИЛОЖЕНИЕ Л**  
(рекомендуемое)

Образцы оформления чертежей аппарата

Инв. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №	Инв. № дубл.	Подп. и дата

Не для коммерческого использования



Привод 13-65-7,5-63, мотор-редуктор МПО2М-15  
Станка, чцзцн СЧ15 ГОСТ 1412-85

Муфта МЧВП 2000-50-1 ГОСТ 21424-93, сталь 40 ГОСТ 1050-88

Вал мешалки 65x2752, сталь 40 ГОСТ 1050-88

Уплотнение ТЗ-65-0,6 АТК 24.201.13-90

Люк 2-400-0,6 ф ОСТ 26-2003-83, сталь Ст3сп ГОСТ 380-2005

Устройство 400-0,6 ОСТ 26-2012-83 Сталь 16ГС ГОСТ 5520-79

Прокладка 1-400-0,6 ГОСТ 28759.6-90, Фторопласт - 4 ГОСТ 10007-80

Корпус ВКЗ-1-50-1800 ГОСТ 9931-85, сталь Ст3сп ГОСТ 380-2005

Цанфа 4-1-2-1000 ГОСТ 13716-73, сталь СтЗсп ГОСТ 380-2005

Мешалка 10-2-1500 АТК 24.201.17-90, сталь СтЗсп ГОСТ380-2005

Опоры-лапы 3-40000 ГОСТ 26296-84, сталь Ст3сп ГОСТ380-2005

Рудашка 1900-1250-0,6 ОСТ 26-01-985-82, сталь СтЗсп ГОСТ 380-2005

*Люк и штучеры рубашки изображены в сечении условно, остальные штучеры на крышке не показаны.*

Температура рабочей среды – 100 °С, среда – нефтепродукты

*Annapam 31-5,0-0,554-T ГОСТ 20680-2002*

						Курсовой проект по ПМ (вариант 61)			
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	Аппарат с мешалкой Эскиз общего вида	Лит.	Масса	Масштаб	
Разраб.		Петров А.А.				3		-	1:15
Проб.		Сидоров Б.Б.							
Т.контр.						Лист 1	Листов 2		
Н.контр.					Кафедра механики	СПбГТИ(ТУ) группа 560			
Умб.									

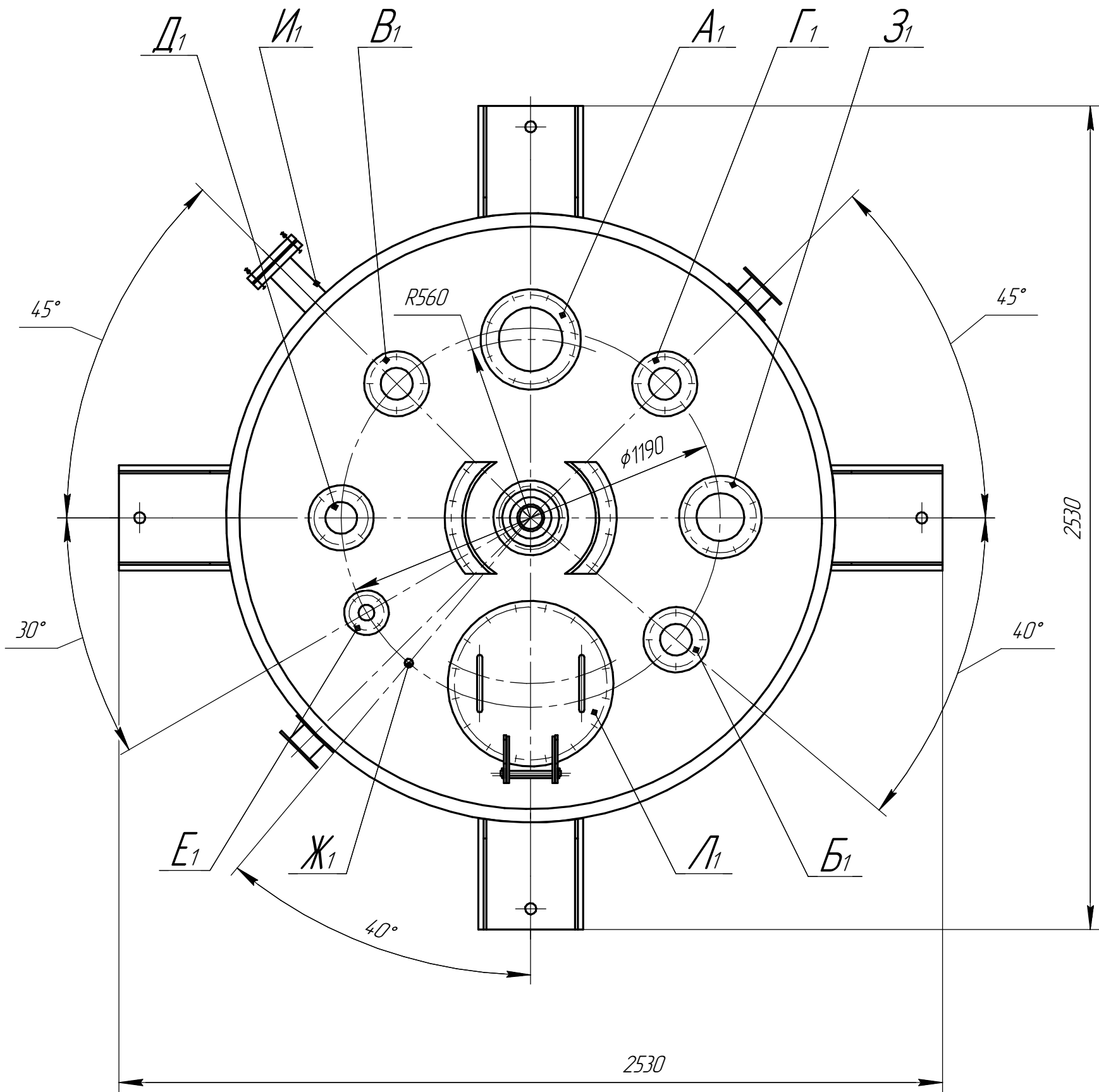
КОМПАС-3D v17.1 Учебная версия © 2017 ООО "АКОН-Системы проектирования", Россия. Все права защищены

Инв. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №	Инв. № докл.	Подп. и дата

Не для коммерческого использования

А (привод не показан)

Курсовой проект по ПМ  
(вариант 61)



Обозначение штуцера	Назначение штуцера	Ду, мм	Рц, МПа
A <sub>1</sub>	Для загрузки	200	0,6
Б <sub>1</sub>	Резервный	100	0,6
В <sub>1</sub>	Резервный	100	0,6
Г <sub>1</sub>	Технологический	100	0,6
Д <sub>1</sub>	Для трубы перекачки	100	0,6
Е <sub>1</sub>	Для манометра	50	0,6
Ж <sub>1</sub>	Для термпары	M27x2	0,6
З <sub>1</sub>	Технологический	150	0,6
И <sub>1</sub>	Вход и выход теплоносителя	80	0,6
К <sub>1</sub>	Для слива	100	0,6
Л <sub>1</sub>	Люк	400	0,6

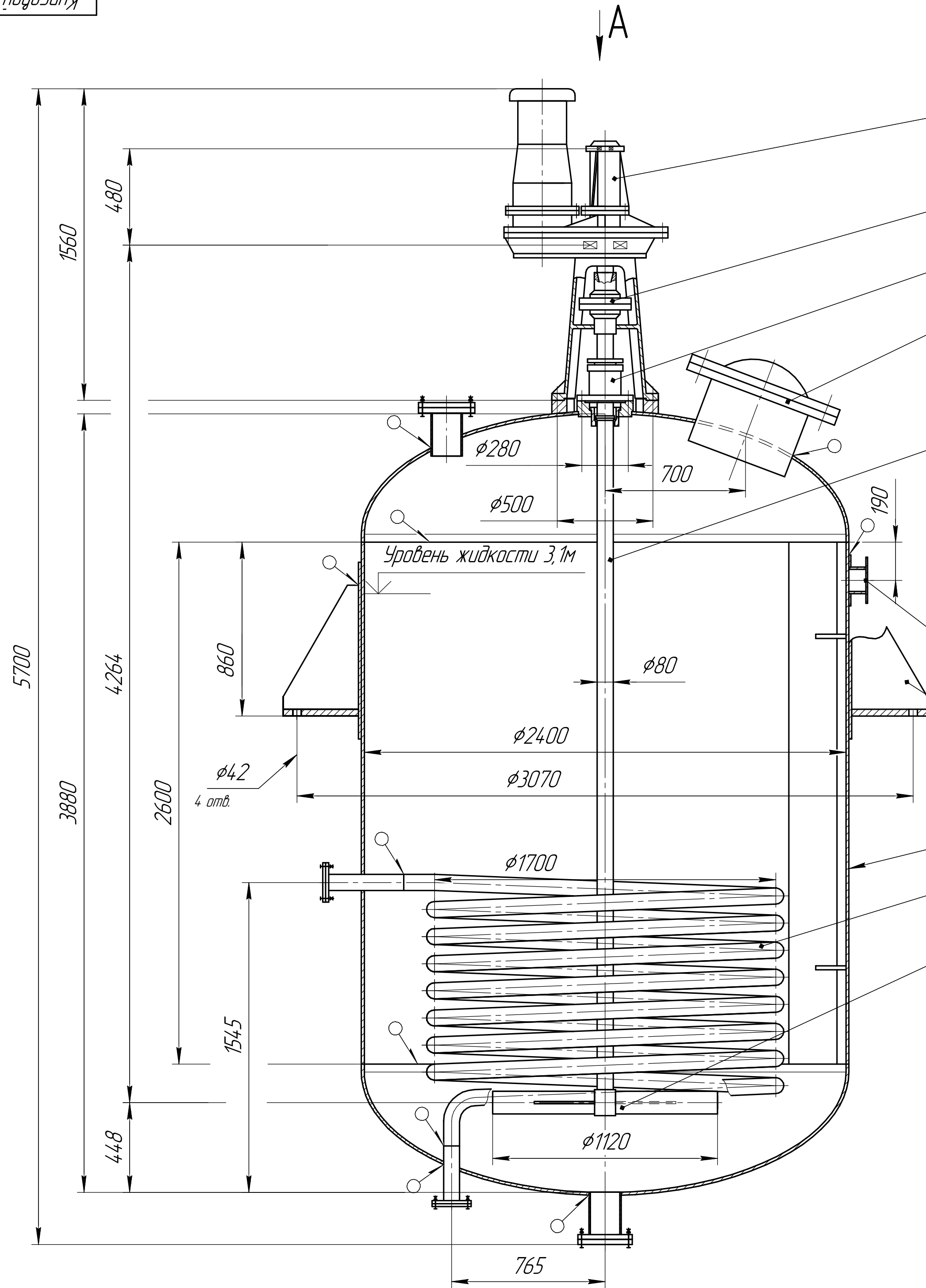
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата

Курсовой проект по ПМ  
(вариант 61)

Лист  
2

Копировал

Формат А3



Привод 21-80-5,5-100, Мотор-редуктор МП01М-10,  $n_{ном}=125$  об/мин  
Стойка, чугун СЧ 15 ГОСТ 1412-85

Муфта МФ 2200-80-3-2, сталь 40 ГОСТ 1050-88

Уплотнение ТЗ 80-2,5 АТК 24.201.13-90

Люк 2-500-1,6 ОСТ 26-2003-83, сталь СтЗсп ГОСТ 380-2005

Устройство 500-1,6 ОСТ 26-2013-83, сталь 16ГС ГОСТ 5520-79

Прокладка 1-500-1,6 ГОСТ 28759.6-90, Фторопласт - 4 ГОСТ 10007-80

Вал мешалки 80x4744, сталь 40 ГОСТ 1050-88

Цапфа 4-1-8-1300 ГОСТ 13716-73, сталь СтЗсп ГОСТ 380-2005

Опорная лапа, 3-100000 ГОСТ 26296-84, сталь СтЗсп ГОСТ 380-2005

Корпус ВЗЗ-1-16,0-2400 ГОСТ 9931-85, сталь СтЗсп ГОСТ 380-2005

Змеевик (труба 89x5 ГОСТ 10706-76), сталь СтЗсп ГОСТ 380-2005

Мешалка 07-2-1120 АТК 24.201.17-90, сталь СтЗсп ГОСТ 380-2005

Люк, отражательные перегородки и штуцеры змеевика изображены в сечении условно, остальные штуцеры на крышке не показаны.  
Температура рабочей среды - 200°C, среда - тяжелые нефтепродукты

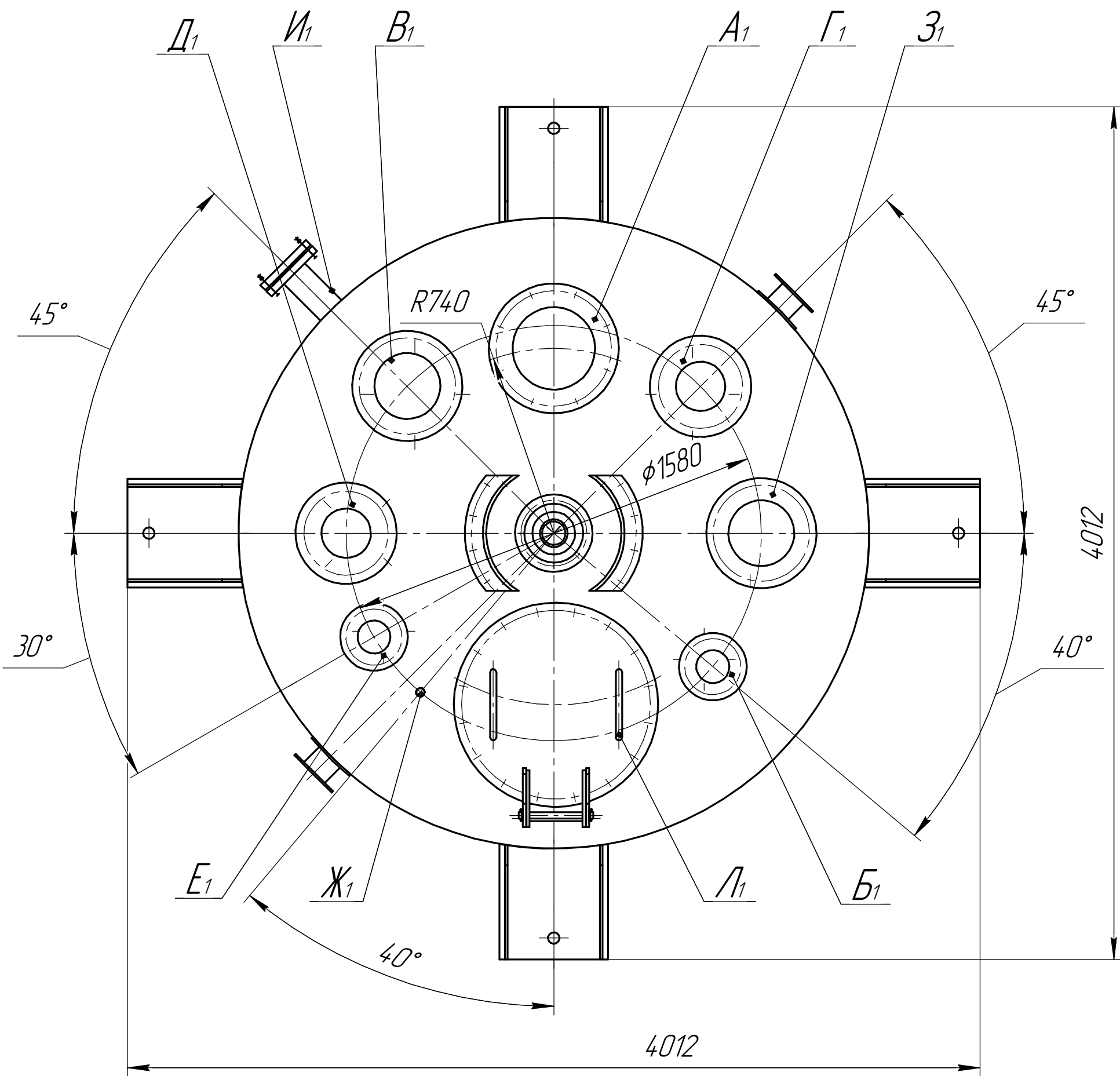
Аппарат 10-16,0-1,1 У Т ГОСТ 20680-2002

Курсовой проект по ПМ (вариант 104)					Аппарат с мешалкой. Эскиз общего вида		
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	Лит.	Масса	Масштаб
Разраб.	Иванов И.И.	Алексеев П.П.				-	1:25
Проб.					Лист 1	Листов 2	
Т.контр.					Кафедра Механики		
Н.контр.					СПбГТИ(ТУ) Группа 269		
Утв.					Копировал Формат А2		



А (привод не показан)

Курсовой проект по ПМ  
(вариант 104)



Обозначение штуцера	Назначение штуцера	Ду, мм	Р <sub>ц</sub> , МПа
А <sub>1</sub>	Для загрузки	250	1,6
Б <sub>1</sub>	Резервный	100	1,6
В <sub>1</sub>	Резервный	200	1,6
Г <sub>1</sub>	Технологический	150	1,6
Д <sub>1</sub>	Для трубы перекачивания	150	1,6
Е <sub>1</sub>	Для манометра	100	1,6
Ж <sub>1</sub>	Для термопары	М27х2	1,6
З <sub>1</sub>	Технологический	200	1,6
И <sub>1</sub>	Вход и выход теплоносителя	80	1,6
К <sub>1</sub>	Для слива	150	1,6
Л <sub>1</sub>	Люк	500	1,6

КОМПАС-3D v17.1 Учебная версия © 2017 ООО "АСКОН-Системы проектирования", Россия. Все права защищены.

Инв. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №	Инв. № дубл.	Подп. и дата

Не для коммерческого использования

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата

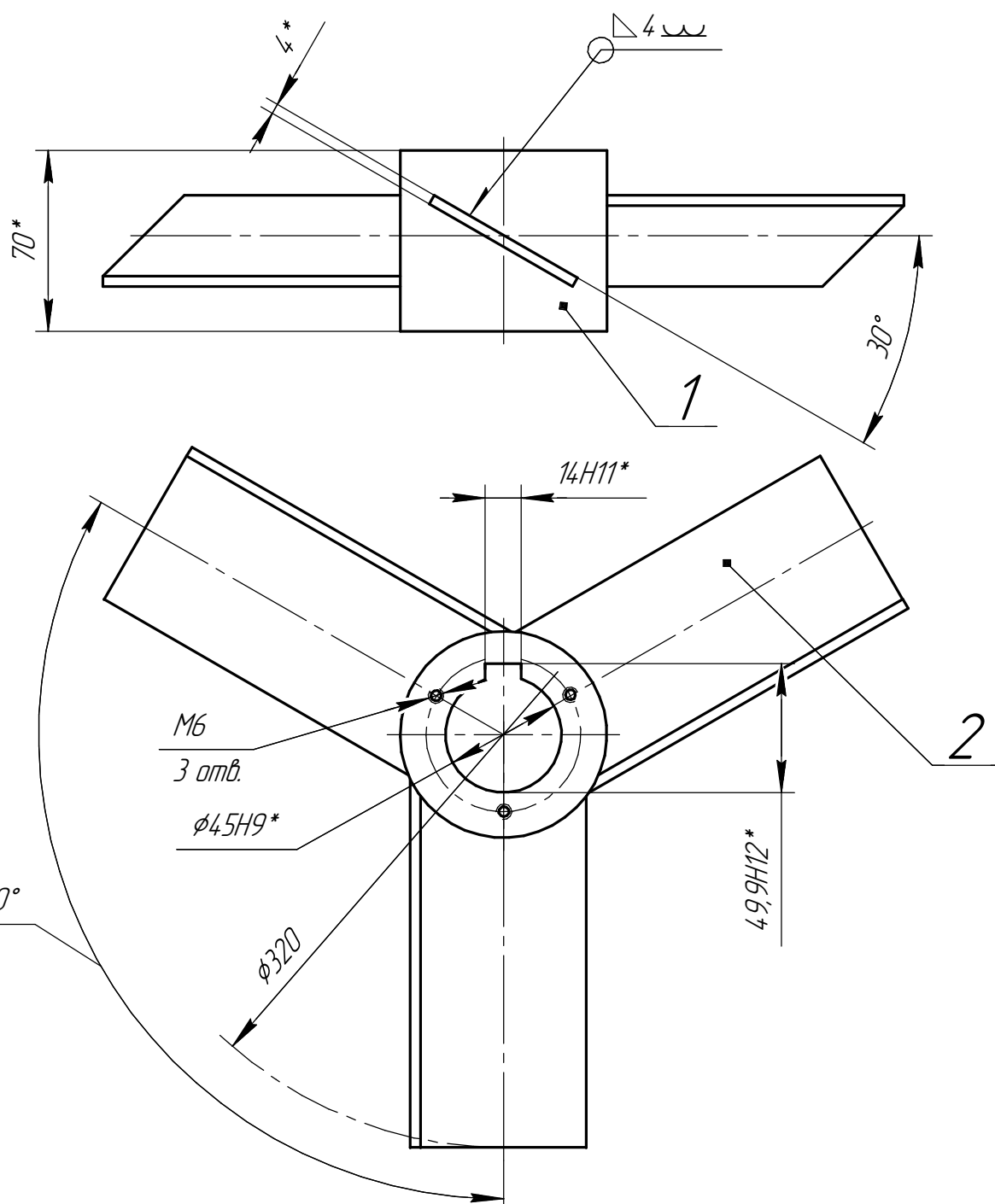
Курсовой проект по ПМ  
(вариант 104)

Лист  
2

Копировал

Формат А3

206.017.03.00.000.СБ



1. \*Размеры для справок  
2. Сварные швы по ГОСТ 5264-80-ТЗ

КОМПАС-3D v17.1 Учебная версия © 2017 ООО "АСКОН-Системы проектирования", Россия. Все права защищены.

Справ. №	Перв. примен.
Взам. инв. №	Инв. № дубл.
Подп. и дата	Подп. и дата
Инв. № подл.	Инв. № подл.

206.017.03.00.000.СБ					Мешалка трехлопастная			Лит.	Масса	Масштаб
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	Сборочный чертеж				2,57кг	1:2,5
Разраб.	Кузнецова				Кафедра механики			Лист	Листов	1
Пров.	Андреев									
Т.контр.					СПбГТИ(ТУ) группа 251			Формат А4		
Н.контр.										
Утв.										



Перв. примен.

Справ. №

Подп. и дата

Инд. № дубл.

Взам. инд. №

Подп. и дата

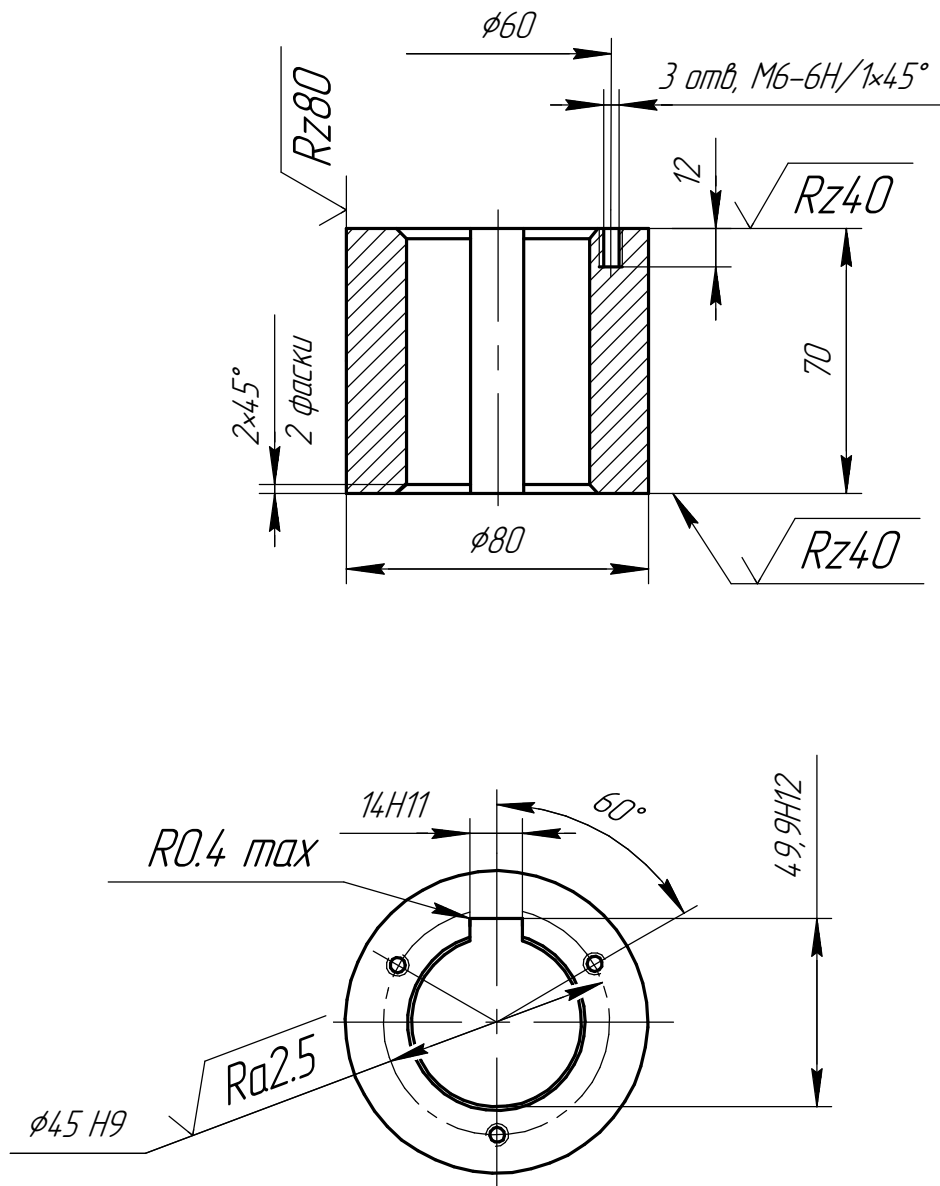
Инд. № подл.

Н.контр.

Утв.

206.017.03.00.001

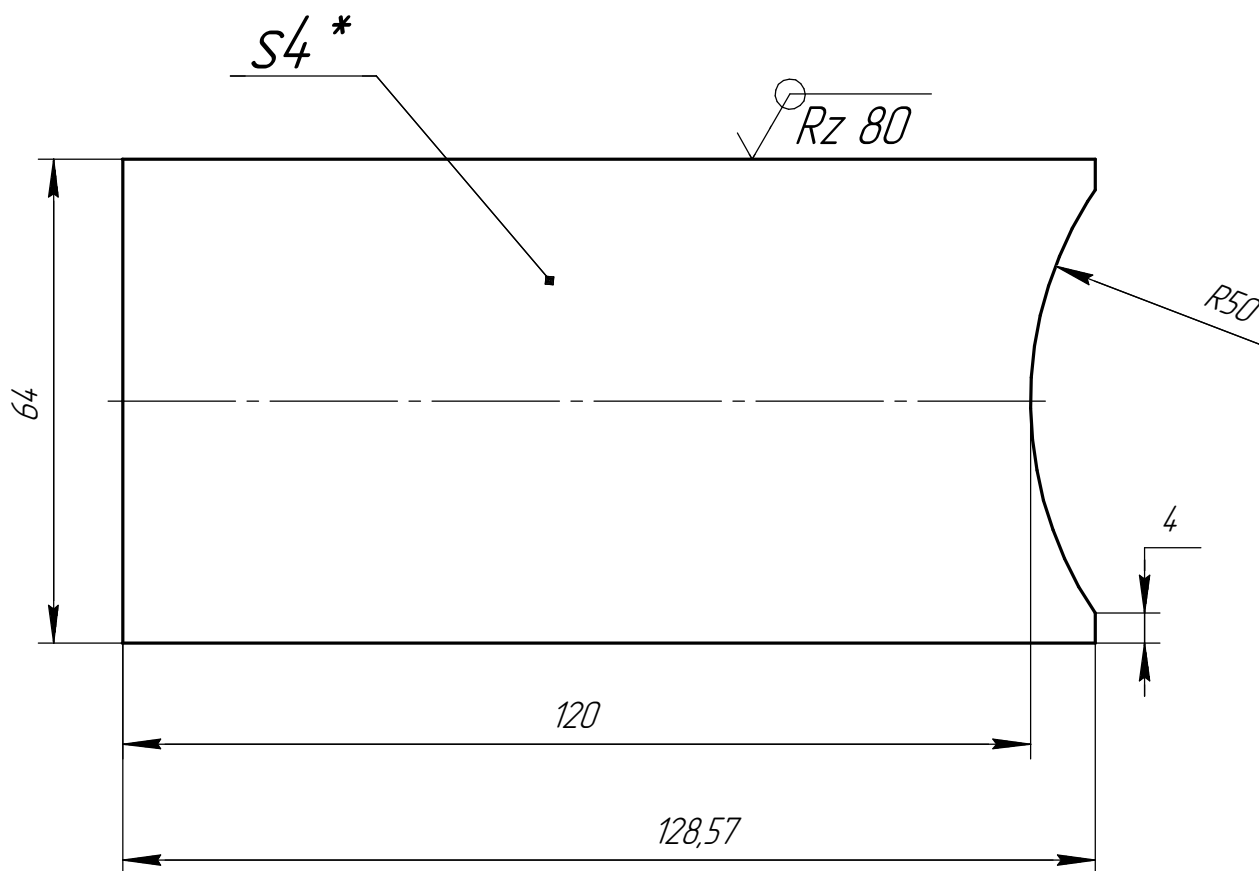
$\sqrt{Rz\ 20\ (\checkmark)}$



Неуказанные предельные отклонения размеров:  $h14$ ,  $\pm IT14/2$

206.017.03.00.001

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	Ступица	Лист	Масса	Масштаб
Разраб.	Кузнецова						-	1:2
Пров.	Андреев							
Т.контр.						Лист	Листов	1
Н.контр.								
Утв.					12X18H10T ГОСТ 5632-72	СПДГТИ(ТУ) группа 251		



1. \*Размеры для справок
2. Неуказанные предельные отклонения размеров:  $h14, \pm \frac{IT14}{2}$ .

					206.017.03.00.002				
					Лопасть	Лист.	Масса	Масштаб	
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата				—	1:1
Разраб.	Кузнецова								
Пров.	Андреев								
Т.контр.						Лист	Листов	1	
					Лист	СПбГТИ(ТУ)			
Н.контр.					Лист	группа 251			
Утв.									





КОМПАС-3D v17.1 Учебная версия © 2017 ООО "АСКОН-Системы проектирования", Россия. Все права защищены.

Справ. №		Перв. примен.	
Инв. № подл.		Взам. инв. №	
Подп. и дата		Инв. № дубл.	
Изм.		Лист	
Разраб.		№ докум.	
Пров.		Подп.	
Т.контр.		Дата	
Н.контр.			
Утв.			

206.033.03.00.002

✓ Rz40 (✓)

M6-6H/1x45°  
3 отв.

Rz20

2x45°  
2 фаски

12

90

Rz2,5

Ø75h12

14H11

60°

49,9H12

Ø60

Ø45H9

Неуказанные предельные отклонения размеров: h14, ± IT 14/2

206.033.03.00.002

Ступица

12X18H10T  
ГОСТ 5632-72

Лит.

Масса

Масштаб

1:2

Лист

Листов 1

СПДГТИ (ТУ)  
251 гр.

Не для коммерческого использования

Копировал

Формат A4



КОМПАС-3D v17.1 Учебная версия © 2017 ООО "АСКОН-Системы проектирования", Россия. Все права защищены.

Справ. №		Перв. примен.		206.033.03.00.001		✓		✓	
Подп. и дата		Взам. инв. №		Инв. № дубл.		Подп. и дата		Инв. № подл.	
Изм.		Лист		№ докум.		Подп.		Дата	
Разраб.		Степанов А.А.							
Пров.		Иванов И.И.							
Т.контр.									
Н.контр.									
Утв.									
206.033.03.00.001						Лопасть			
Лист ПН10 ГОСТ 19903-74						Лит.		Масса	
12Х18Н10Т ГОСТ 5632-72						Листов		Масштаб	
								1:2,5	
								1	
								СПДГТИ (ТУ)	
								251 группа	
								Формат А4	

317,5

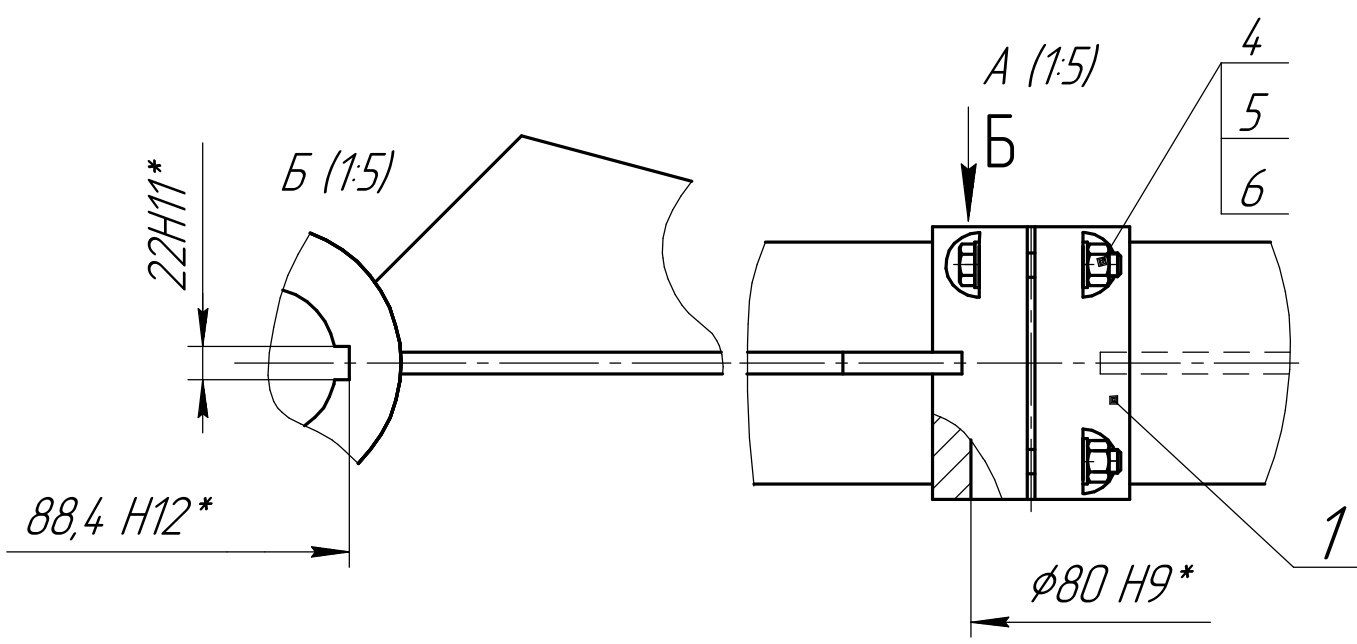
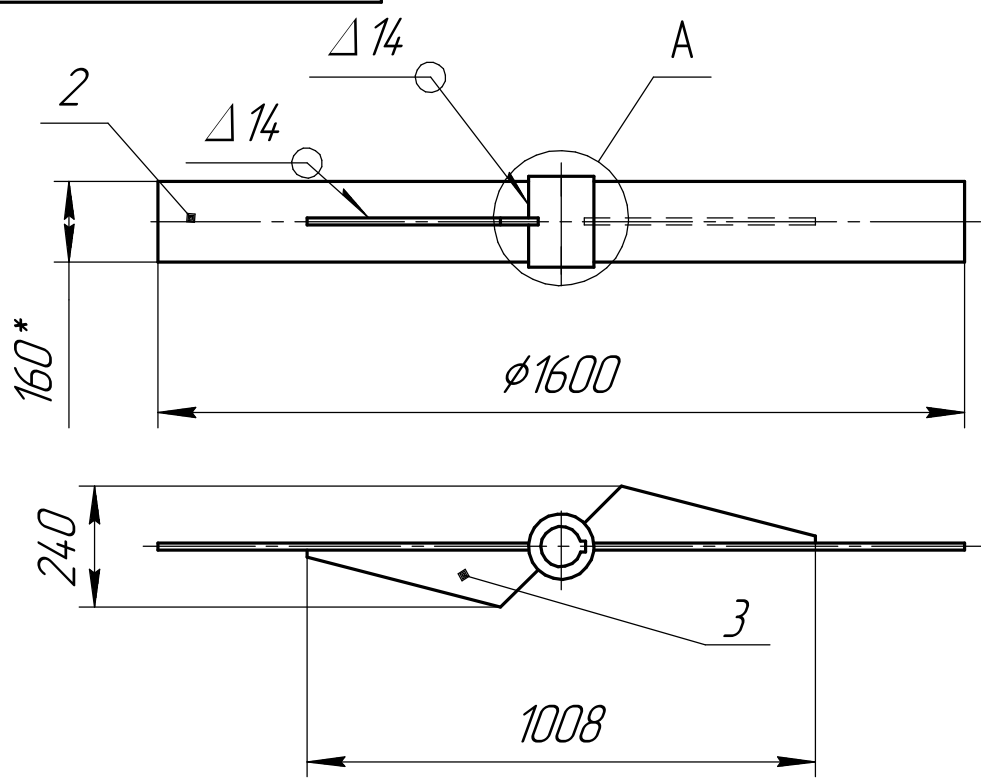
72

10\*

RA2,5

Предельные отклонения размеров: H14, h14, ± IT 14/2.

205.129.03.00.000. СБ



- 1\* Размеры для справок  
2. Сварные швы по ГОСТ 5264-80-ТЗ  
3. Болты поз. 4 перевернуть и застопорить шайбой поз. 6 при установке мешалки на вал

205.129.03.00.000. СБ

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата
Разраб.	Демидов			
Пров.	Петров			
Т.контр.				
И.контр.				
Утв.				

Мешалка лопастная  
Сборочный чертеж

Кафедра механики

Лит.	Масса	Масштаб
	37,4кг	1:15
Лист	Листов	1

СПбГТИ(ТУ)  
группа 251

Перв. примен.

Справ. №

Подп. и дата

Взам. инв. №

Инв. № подл.

И.контр.

КОМПАС-3D v17.1 Учебная версия © 2017 ООО "АСКОН-Системы проектирования", Россия. Все права защищены.

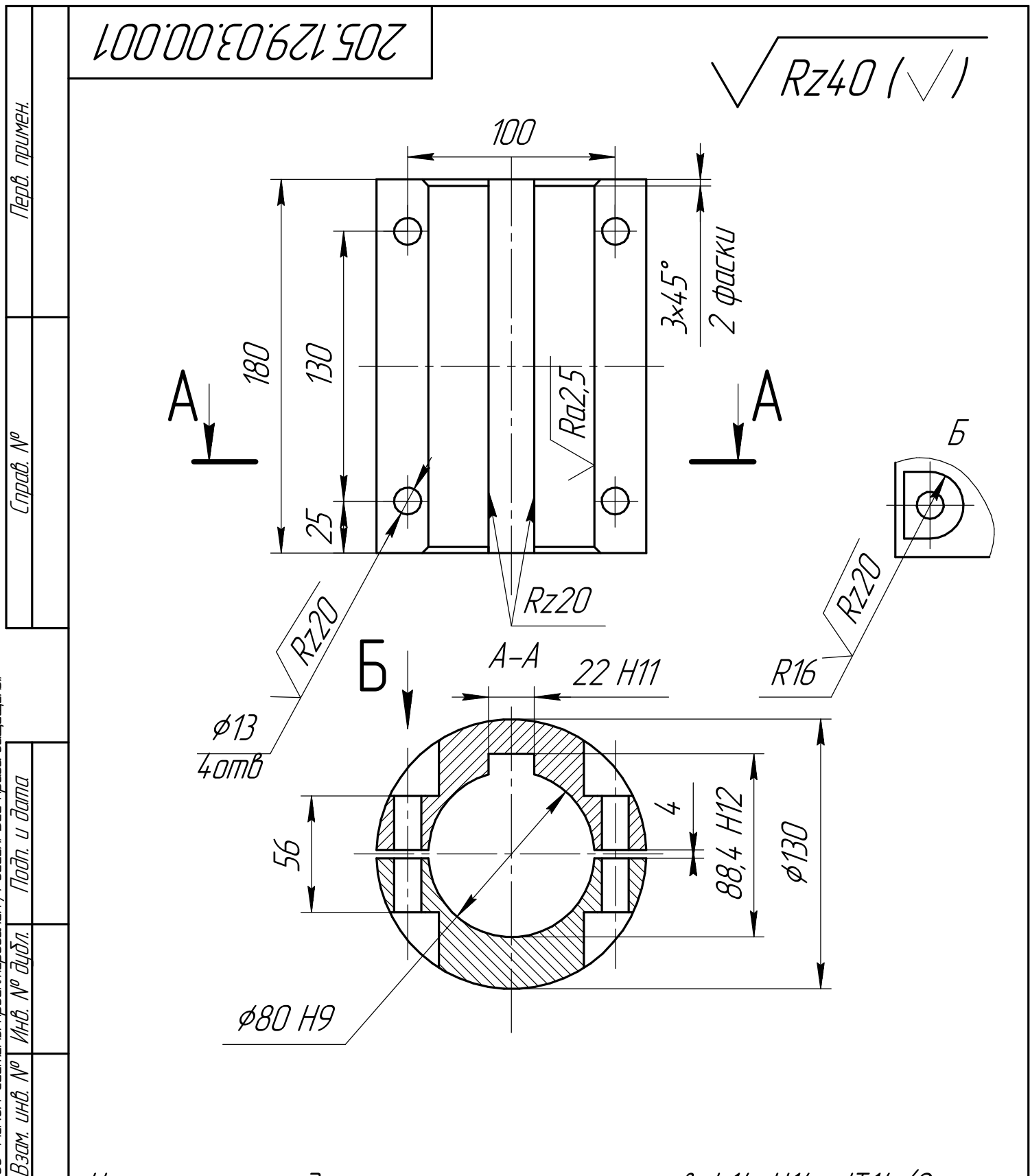
Не для коммерческого использования

Копировал

Формат А4



КОМПАС-3D v17.1 Учебная версия © 2017 ООО "АСКОН-Системы проектирования", Россия. Все права защищены.



Неуказанные предельные отклонения размеров:  $h14$ ,  $H14$ ,  $\pm IT14/2$

					205.129.03.00.001									
					Ступица					Лист	Масса	Масштаб		
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата										1:2,5
Разраб.	Демидов													
Пров.	Петров													
Т.контр.										Лист	Листов	1		
					СтЗсп ГОСТ 380-2005					СПДГТИ(ТУ)				
И.контр.										группа 251				
Утв.														

КОМПАС-3D v17.1 Учебная версия © 2017 ООО "АСКОН-Системы проектирования", Россия. Все права защищены.

Перв. примен.		Справ. №		205.129.03.00.002		✓✓✓	
160		735		Rz40		s 14 *	
1 *Размеры для справок		2 Неуказанные предельные отклонения размеров h14,H14, ±IT14/2		205.129.03.00.002			
Изм. Лист		№ докум.		Подп.		Дата	
Разраб. Демидов							
Пров. Петров							
Т.контр.							
Н.контр.							
Утв.							
Лист ПН 14 ГОСТ 19903-74		СтЗсп ГОСТ 380 - 2005		Лист		Листов 1	
СПДГТИ(ТУ)		группа 251		Формат		A4	

205.113.03.00.000. СБ

Перв. примен.

Справ. №

КОМПАС-3D v17.1 Учебная версия © 2017 ООО "АСКОН-Системы проектирования", Россия. Все права защищены.

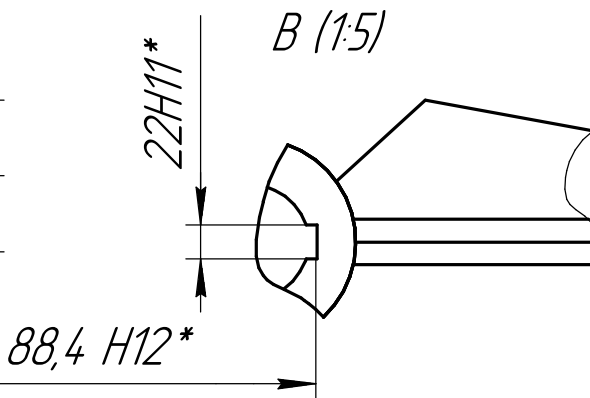
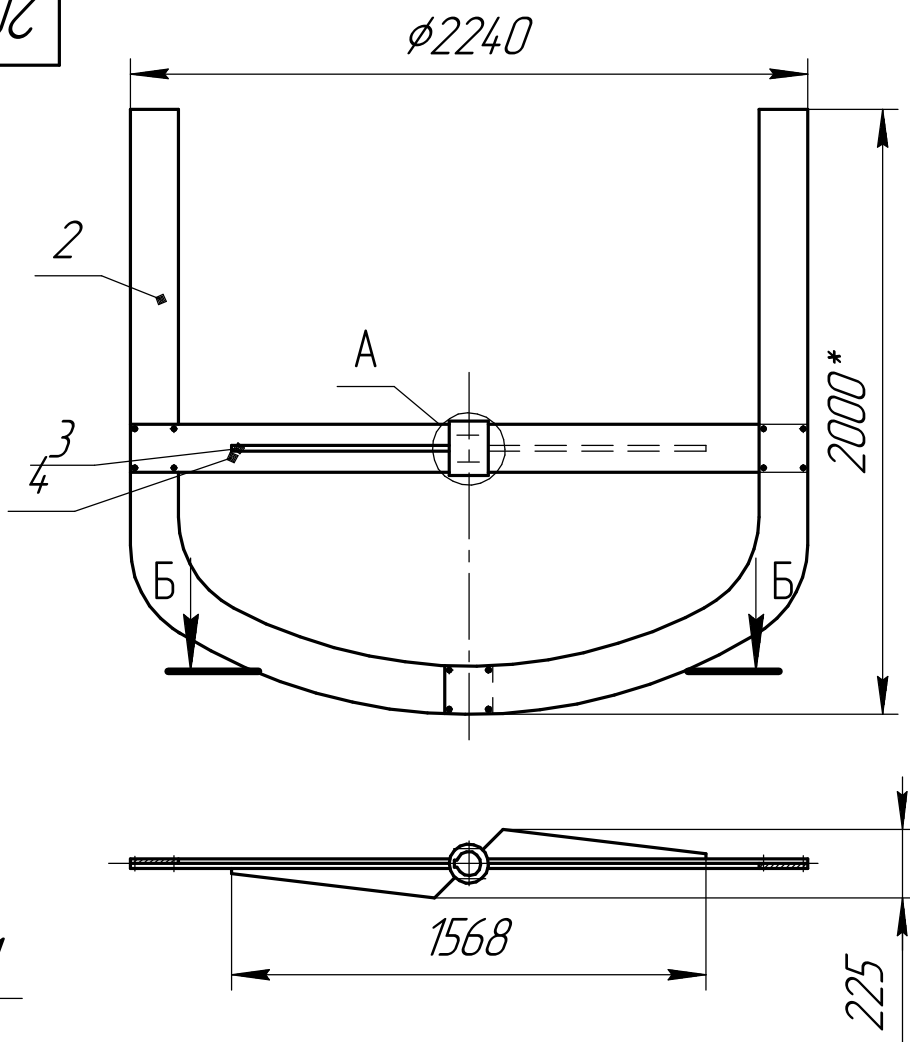
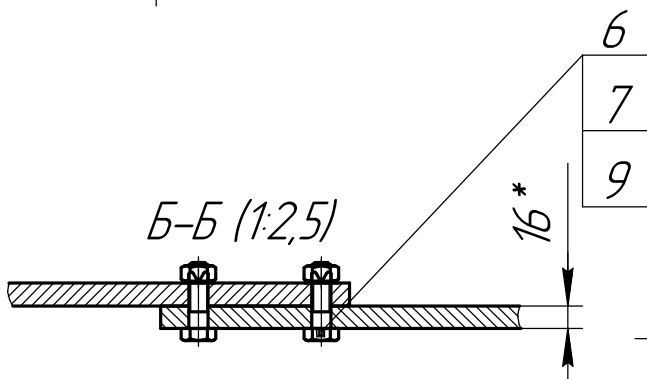
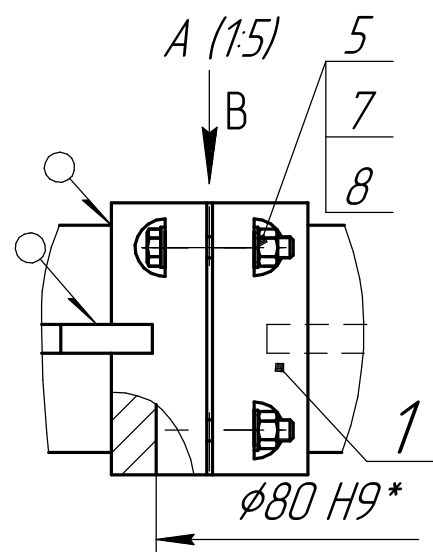
Подп. и дата

Взам. инв. №

Подп. и дата

Инв. № подл.

Не для коммерческого использования



1\* Размеры для справок

2. Сварные швы по ГОСТ 5264-80-ТЗ-Δ16

3. Болты поз. 5 и 6 привернуть и застопорить шайбой поз. 8 и 9 при установке мешалки на вал

205.113.03.00.000. СБ

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата
Разраб.	Сидоров			
Пров.	Петров			
Т.контр.				
Н.контр.				
Утв.				

Мешалка рамная  
Сборочный чертеж

Кафедра  
Механики

Лит.	Масса	Масштаб
	230кг	1:25
Лист	Листов	1

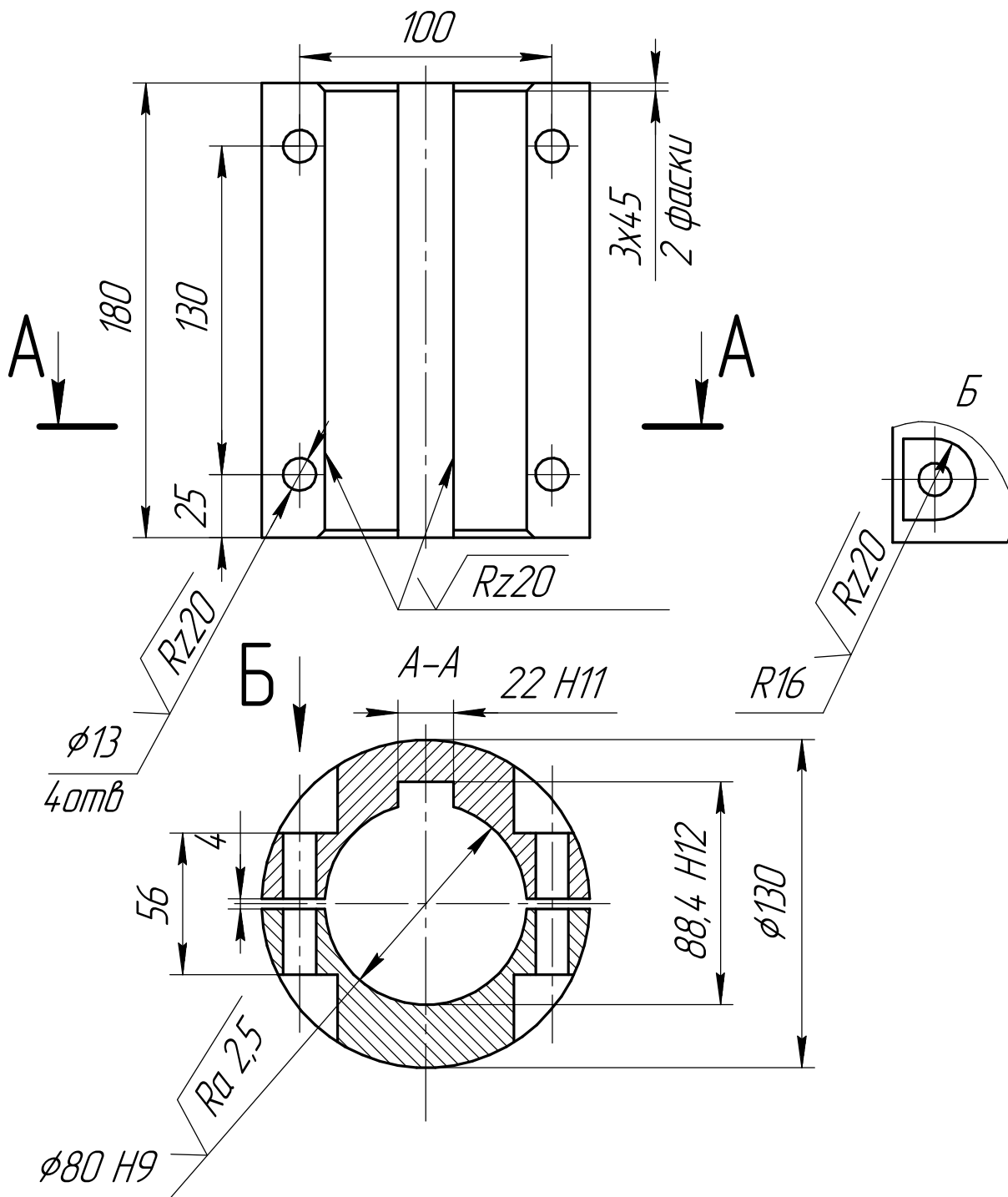
СПбГТИ(ТУ)  
гр. 251

Формат А4

Копировал



$\sqrt{Rz40 (\sqrt{\phantom{x}})}$



Неуказанные предельные отклонения размеров:  $h14$ ,  $H14$ ,  $\pm IT14/2$

					205.113.03.00.001			
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	Ступица	Лист.	Масса	Масштаб
Разраб.	Сидоров							1:2,5
Пров.	Петров							
Т.контр.						Лист	Листов	1
Н.контр.					12Х18Н10Т	СПДГТИ(ТУ)		
Утв.					ГОСТ 5632-72	зр. 251		



КОМПАС-3D v17.1 Учебная версия © 2017 ООО "АСКОН-Системы проектирования", Россия. Все права защищены.

Справ. №		Перв. примен.	
Инв. № подл.		Подп. и дата	
Взам. инв. №		Инв. № дубл.	
Подп. и дата		Подп. и дата	
Инв. № подл.		Инв. № дубл.	

205.113.03.00.002

✓✓✓

Technical drawing of a blade (Лопасть) with dimensions: 1200, 160, 130, 15, 815, 2000, s16, 8 отв. Ø13, Rz80.

Неуказанные предельные отклонения размеров h14, H14, ±IT 14/2

205.113.03.00.002				
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата
Разраб.	Сидоров			
Пров.	Петров			
Т.контр.				
Н.контр.				
Утв.				

Лопасть			Лист	Масса	Масштаб
Лист ПН 16 ГОСТ19903-74 12X18H10T ГОСТ 5632 -72					1:15
			Лист	Листов	1
			СПбГТИ(ТУ) зр. 251		

Не для коммерческого использования

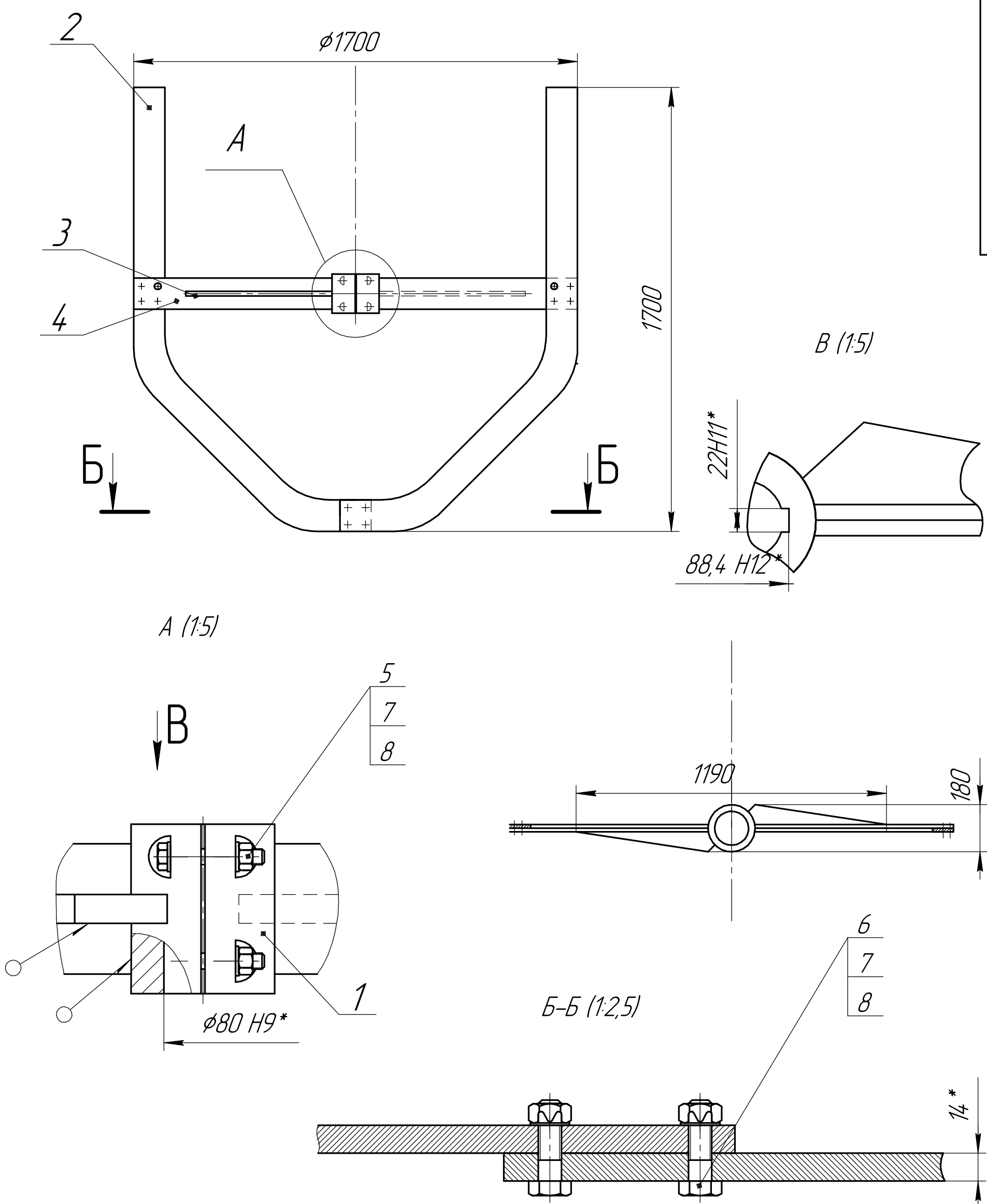
Копировал

Формат A4

КОМПАС-3D v17.1 Учебная версия © 2017 ООО "АСКОН-Системы проектирования", Россия. Все права защищены.

Изм. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №	Инв. № дубл.	Подп. и дата	Справ. №	Перв. примен.

206.80.03.00.00 СБ

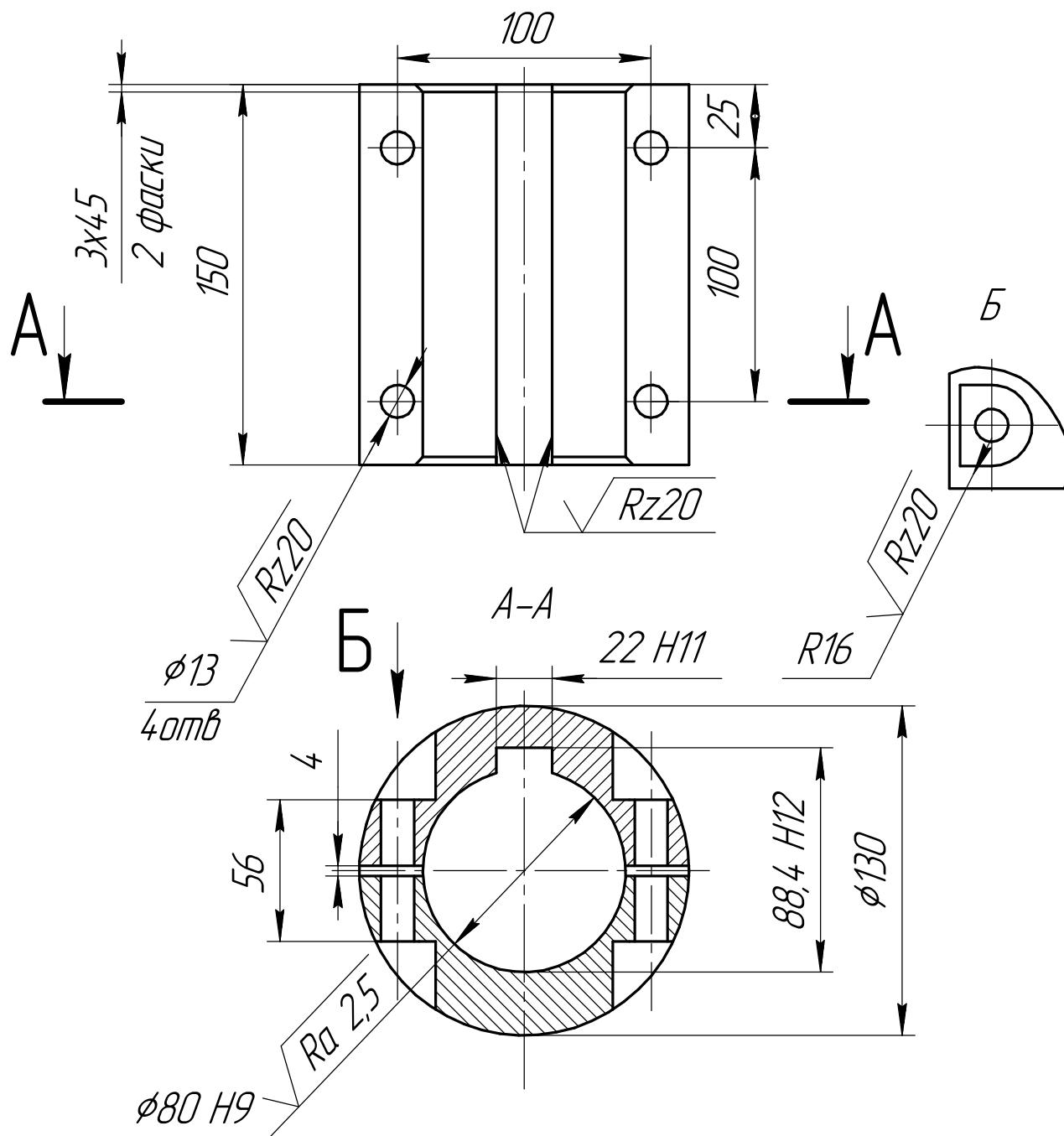


1. \* Размеры для справок.  
2. Сварные швы по ГОСТ 5264-80-ТЗ-Δ 12.  
3. Болты поз. 5 и 6 привернуть и застопорить шайбой поз. 8 при установке мешалки на вал.

206.80.03.00.00 СБ					Мешалка рамная сборочный чертеж			Лит.	Масса	Масштаб
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	Кафедра Механики					1:15
Разраб.	Кадникова О.Ю.									
Пров.	Сидоров Б.Б.									
Т.контр.					СпбГТИ(ТУ) группа 251			Лист	Листов	1
Н.контр.										
Утв.										



$\sqrt{Rz40 (\sqrt{ })}$



Неуказанные предельные отклонения размеров:  $h14, H14, \pm IT14/2$

					206.80.03.00.002				
					Ступица	Лист.		Масса	Масштаб
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата					1:2,5
Разраб.	Кадникова О.Ю.								
Пров.	Сидоров Б.Б.								
Т.контр.						Лист		Листов	1
					12Х18Н10Т		СПДГТИ(ТУ)		
Н.контр.					ГОСТ 5632-72		группа 251		
Утв.									

КОМПАС-3D v17.1 Учебная версия © 2017 ООО "АСКОН-Системы проектирования", Россия. Все права защищены.

Справ. №

Перв. примен.

206.80.03.00.02

$\sqrt{Rz80 (\sqrt{)}$

1. \* Размеры для справок.  
2. Неуказанные предельные отклонения размеров h14, H14

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата
Разраб.	Кадникова О.Ю.			
Пров.	Сидоров Б.Б.			
Т.контр.				
Н.контр.				
Утв.				

206.80.03.00.02

Лопасть

Лист ПН 14 ГОСТ 19903-74  
12X18H10T 5632-72

Лит.	Масса	Масштаб
		1:10
Лист	Листов	1

СПбГТИ(ТУ)  
группа 251

Формат A4

Не для коммерческого использования

Копировал

Кафедра механики

Учебное пособие

**Проектирование аппарата  
с мешалкой**

Андрей Николаевич Луцко  
Михаил Дмитриевич Телепнев  
Николай Александрович Марцулевич  
Эмилия Александровна Павловна

---

Санкт-Петербургский государственный технологический институт  
(Технический университет)

---

190013, Санкт-Петербург, Московский пр., 26