

1 Жизненный цикл изделия

Жизненный цикл изделия — это совокупность процессов, выполняемых от момента выявления потребностей общества в определенном изделии до момента удовлетворения этих потребностей и утилизации изделия. *Изделием* в машиностроении называется предмет производства, подлежащий изготовлению на предприятии. Изделием может быть машина, элемент машины и даже отдельная деталь, в зависимости от того, что является продуктом конечной стадии данного производства /1/. Например, для автомобильного завода изделием является как автомобиль, так и запчасти к нему, для станкостроительного завода – станок, а нередко и станочная оснастка, для инструментального завода – режущий или мерительный инструмент, а также приспособления для его установки и настройки и др. В соответствии с ГОСТ 2.101-68 /1/ устанавливаются следующие виды изделий: детали; сборочные единицы (узлы); комплексы; комплекты; агрегаты.

Деталь является изделием или составной частью изделия, изготовленной из однородного по наименованию и марке материала без применения сборочных операций. Деталь – это первичный сборочный элемент каждой машины. Например, валик, винт, корпус, зубчатое колесо, фланец (рис. 1).

Сборочной единицей – называется изделие, составные части которого подлежат соединению на предприятии изготовителе или в его структурном подразделении (цехе) сборочными операциями, такими как простое соединение деталей, соединение деталей их запрессовкой, свинчиванием, сваркой, пайкой, клеей, склеиванием и т.д. Например, станок, редуктор, сварной корпус, коробка скоростей, шпиндельный узел, дифузел (рис. 2). Характерным признаком сборочной единицы с технологической точки зрения является возможность её сборки обособленно от других элементов изделия в целом.

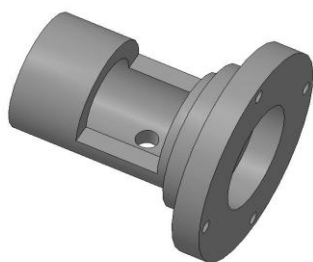


Рисунок 1 - 3D-модель фланца



Рисунок 2 – Сборочная единица¹

Комплексом называется два и более специфицированных изделия, не соединенных на предприятии изготовителе сборочными операциями, но предназначенных для выполнения взаимосвязанных эксплуатационных

¹ Выполнено студенткой ДГТУ, обучающейся по специальности «Технология машиностроения» Яловой Е.

функций, например, автоматическая линия. В комплекс кроме изделий, выполняющих основные функции, могут входить детали, сборочные единицы и комплекты, предназначенные для выполнения вспомогательных функций, например детали и сборочные единицы, предназначенные для монтажа комплекса на месте его эксплуатации.

Комплект представляет собой два и более изделий, не соединенных на предприятии изготовителе сборочными операциями, и представляющие собой набор изделий, имеющих общее эксплуатационное назначение вспомогательного характера, например, комплекты запасных частей, инструментов, измерительной аппаратуры, упаковочной тары. Например, комплект разверток для обработки точного отверстия.

Агрегат – это сборочная единица, обладающая полной взаимозаменяемостью возможностью сборки отдельно от других составных частей изделия (или изделия в целом) и способностью выполнять определенную функцию в изделии или самостоятельно (например, двигатель).

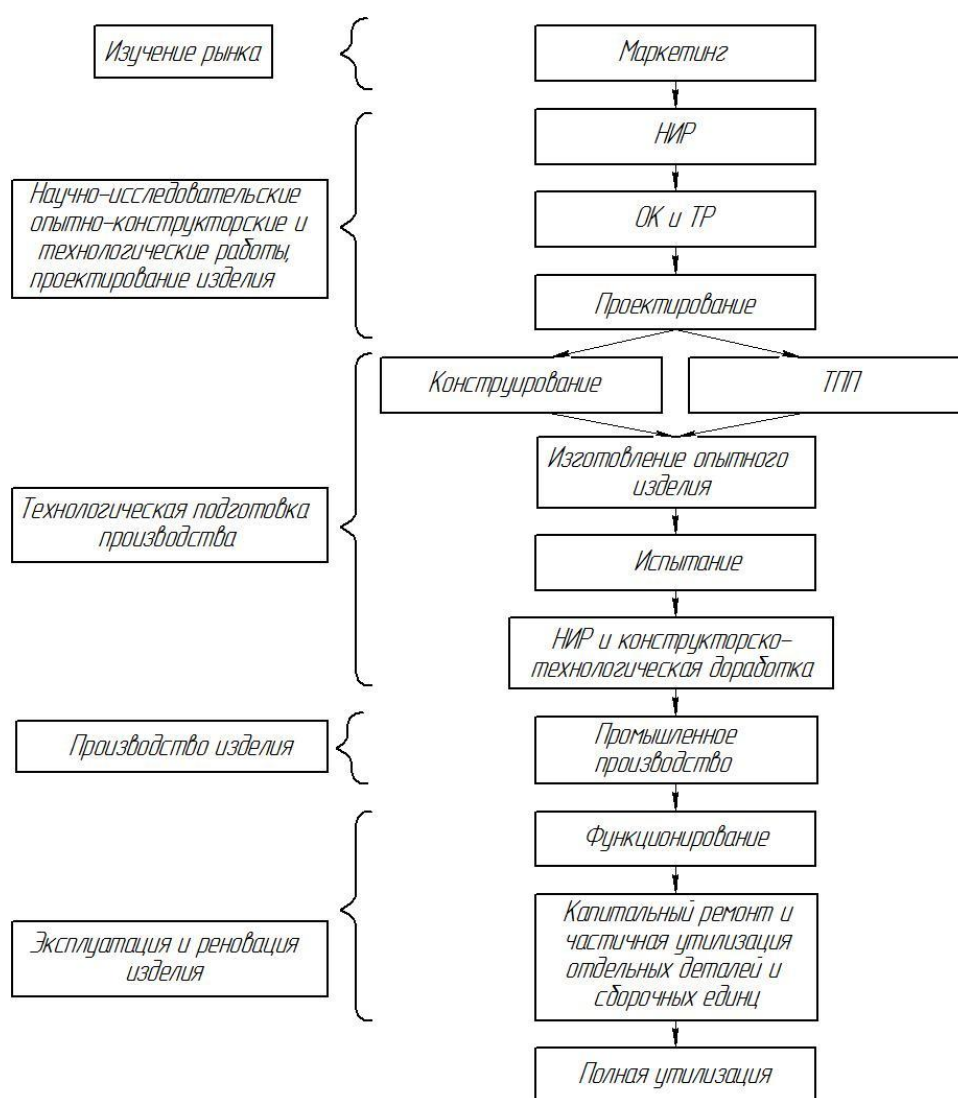


Рис.3. Жизненный цикл машиностроительного изделия

Жизненный цикл машиностроительных изделий (ЖЦИ) включает ряд этапов, начиная от зарождения идеи нового изделия до его утилизации по

окончании срока эксплуатации. Основные этапы жизненного цикла машиностроительного изделия представлены на рис. 3 /2/. К ним относятся этапы *изучения рынка, проектирования изделия, технологической подготовки производства (ТПП), собственно производства, реализации изделия, эксплуатации, реновации* и, наконец, *утилизации* (в число этапов жизненного цикла могут также входить маркетинг, закупки материалов и комплектующих, предоставление услуг, упаковка и хранение изделия (изделий), его (их) монтаж и ввод в эксплуатацию).

Рассмотрим содержание основных этапов ЖЦИ для изделий машиностроения.

- *Изучение рынка.* Основным содержанием этапа являются маркетинговые исследования. Этот этап (он не является обязательным) является предварительным, но в то же время, очень важным. На нем основной задачей маркетологов будет выявление потребности потребителей в продукте. Для этого придется проанализировать рынок на предмет наличия похожего продукта, определения сильных и слабых сторон конкурентов. Узнать емкость и глубину рынка, а также определиться с объемом спроса и перспективностью дальнейшей разработки. Если маркетинговые исследования дали положительный результат, то можно переходить к следующему этапу.
- *Конструкторская подготовка производства.* Данный этап крайне важен и является обязательным. На основе информации, полученной в рамках маркетингового исследования, формируется суть продукта. Здесь создается сама идея будущего изделия: определяется его функционал, целевая аудитория, конкурентные преимущества и множество других параметров, от которых будет зависеть дальнейшая судьба изделия. На этапе проектирования выполняются проектные процедуры — формирование принципиального решения, разработка геометрических моделей и чертежей, расчеты, моделирование процессов, оптимизация и т.п.
- *Технологическая подготовка производства.* После того, как проектирование изделия завершено, необходимо четко спланировать сам процесс его производства. На этапе подготовки производства разрабатываются маршрутная и операционная технологии изготовления деталей, в том числе реализуемые в программах для станков ЧПУ; технология сборки и монтажа изделий; технология контроля и испытаний, определяется, какое оборудование и программное обеспечение придется закупить, какие технологические процессы отладить, какое сырье или готовые комплекты использовать при производстве, какие кадры и в каком количестве понадобятся и т.д. После того, как все спланировано, предприятие переходит к покупке оборудования для дальнейшего выпуска изделий. На этапе закупки производится приобретение составляющих, необходимых для изготовления изделия: материалов для изготовления деталей, комплектующих (в том числе стандартных) для сборки изделия,

основного и вспомогательного инструмента, оборудования и оснастки и т.д.

- *Производство.* На данном этапе производится изготовление деталей (изготовление заготовок деталей, их механообработка, термообработка, нанесение покрытий и другие требуемые виды обработки), контроль результатов обработки, сборка и контроль сборочных единиц и всего изделия в целом, испытания и итоговый контроль и др. работы в соответствии со спецификой выпускаемого изделия. Конечным этапом производства является *упаковка и хранение изделия*. После изготовления и контроля изделия для него необходимо произвести консервацию (при необходимости), изделие нужно упаковать. Известно, что упаковка часто является одним из серьезных факторов в пользу выбора того или иного продукта. Но в основном упаковка служит для предохранения изделия от различных повреждений, например, от коррозии. Далее, если изделие не отправляется сразу к потребителю (например, при изготовлении "под заказ") или на реализацию, то для него должно быть организовано хранение в помещениях надлежащего качества и при установленных условиях хранения, которые не нанесли бы урона изделию.
- *Эксплуатация и реновация изделия.* В первую очередь производится *реализация, монтаж и наладка*. На этих подэтапах налаживаются каналы поставок собственных изделий, занимаются поиском дилеров или покупателей, или реализуют через торговую сеть. Монтаж и наладка необходимы для тех производителей, чьи изделия необходимо устанавливать силами своих специалистов. Актуально это тогда, например, когда речь идет о производстве промышленного оборудования, зачастую бытовой техники (стиральные машины, сплиты и др.) и установить его самостоятельно потребитель не сможет. На подэтапах «*Эксплуатация (Функционирование)*» и «*Техническая поддержка и обслуживание*» необходимо решить все вопросы, связанные с технической поддержкой и обслуживанием изделия уже после того, как оно было реализовано потребителю. Речь, например, идет о разного рода гарантиях и техническом обслуживании изделия в процессе эксплуатации. Далее возникает подэтап «*Реновация*». Это - технико-экономический процесс замещения выбывающих из производства или эксплуатации вследствие физического и морального износа машин, оборудования, инструмента или других изделий и составных частей, новыми за счет средств амортизационного фонда.
- *Полная утилизация и/или переработка.* Любое изделие имеет свой срок жизни и имеет свойство выходить из строя. Для этого предусматривается возможность утилизации или переработки продукции предприятия, что может стать не только конкурентным преимуществом, но и, при грамотном подходе, дополнительным источником доходов.

На всех этапах жизненного цикла имеются свои целевые установки. При этом участники жизненного цикла стремятся достичь поставленных целей с максимальной эффективностью. На этапах проектирования, ТПП и

производства нужно обеспечить выполнение требований, предъявляемых к производимому изделию, при заданной степени надежности изделия и минимизации материальных и временных затрат, что необходимо для достижения успеха в конкурентной борьбе в условиях рыночной экономики. Понятие эффективности охватывает не только снижение себестоимости изделия и сокращение сроков проектирования и производства, но и обеспечение удобства освоения и снижения затрат на будущую эксплуатацию этих изделий. Особую важность требования удобства эксплуатации имеют для сложной техники, например, в таких отраслях, как авиа- или автомобилестроение.

Управление жизненным циклом изделия позволяет предусмотреть решение множества проблем еще до их появления, а также наладить эффективное производство любого изделия и при этом снизить собственные издержки производителя.

2. Системы автоматизированного проектирования в машиностроении (САПР)

Проект любой машины, механизма, детали и т.п. всегда включает в себя главную часть - комплект чертежей, которые, по существу, представляют собой двумерные проекции различных видов проектируемого устройства. Необходимым условием успешной реализации проекта является умение инженера, техника, рабочего прочесть эти чертежи, т.е. восстановить по множеству проекций трехмерный образ изделия. Мыслительный процесс, совершаемый при этом, чрезвычайно сложен для формализации, в свою очередь необходимой для автоматизированной разработки технологии. В 80-е – 90-е годы 20 века практически все этапы процесса создания машины (концепция, КД, ТД, изготовление) были автоматизированы с помощью пакетов САПР, АСТПП, САП. Однако на стыках этих этапов участие человека было неизбежно из-за совершенно несовместимых форм представления информации об изделии. Многие попытки инженеров создать удобные способы кодирования конструкторско-технологической информации (языки описания деталей, их конструктивных элементов, технологические коды и многое другое) были безуспешными.

Первые системы сквозного проектирования удалось создать только тогда, когда первичными стали не чертежи машины и всех её деталей, а их трехмерные образы. Действительно, трехмерный образ изделия всегда позволяет, выполнив простейшие процедуры проектирования и оформления, получить комплект чертежей. Более того, для трехмерных конструктивных элементов связь-соответствие с инструментом и станком является простой и логичной.

Таким образом практически все без исключения современные системы сквозного проектирования исходят из трехмерного представления изделия. Такое представление является по своей сути модельным. Внутреннее, машинное представление трехмерной модели изделия является чрезвычайно сложным. Оно ни в какой степени не является предметом изучения инженером-

технологом и конструктором. Но поскольку новые изделия создают именно эти специалисты, они должны владеть приемами построения внешнего (пользовательского) представления моделей трехмерных объектов. Эти приемы базируются на достаточно простых и наглядных идеях геометрии. Они хорошо унифицированы, т.е. способы и формы их применения в современных программных средствах единообразны.

Автоматизация проектирования осуществляется САПР. Принято выделять в САПР машиностроительных отраслей промышленности системы функционального, конструкторского и технологического проектирования /Р/. Первые из них называют системами расчётов и инженерного анализа или системами CAE (Computer Aided Engineering). Системы конструкторского проектирования называют системами CAD (Computer Aided Design). Проектирование технологических процессов составляет часть технологической подготовки производства и выполняется в системах CAM (Computer Aided Manufacturing). Функции координации работы систем CAE/CAD/CAM, управления проектными данными и проектированием возложены на систему управления проектными данными PDM (Product Data Management).

САПР состоит из подсистем, которые делят на проектирующие и обслуживающие. *Проектирующие подсистемы* непосредственно выполняют проектные процедуры (подсистемы геометрического трёхмерного моделирования механических объектов, изготовления конструкторской документации и т.д.). *Обслуживающие подсистемы* обеспечивают функционирование проектирующих подсистем, их совокупность часто называют *системной средой* (или *оболочкой*) САПР. Типичными обслуживающими подсистемами являются подсистемы управления проектными данными, подсистемы разработки и сопровождения программного обеспечения CASE (Computer Aided Software Engineering), обучающие подсистемы для освоения пользователями технологий, реализованных в САПР.

Классификацию САПР осуществляют по ряду признаков, например по целевому назначению, масштабам (комплексности решаемых задач), характеру базовой подсистемы - ядра САПР и др. По *масштабам* различают отдельные программно-методические комплексы (ПМК) САПР, например: комплекс анализа прочности механических изделий в соответствии с методом конечных элементов (МКЭ) или комплекс анализа электронных схем; системы ПМК; системы с уникальными архитектурами не только программного (software), но и технического (hardware) обеспечений. По *целевому назначению* различают САПР или подсистемы САПР, обеспечивающие разные аспекты проектирования. Так, в составе MCAD (Mechanical CAD) появляются CAE/CAD/CAM-системы.

По *характеру базовой подсистемы* различают следующие разновидности САПР.

1. САПР на базе подсистемы машинной графики и геометрического моделирования. Эти САПР ориентированы на приложения, где основной процедурой проектирования является конструирование, т.е. определение пространственных форм и взаимного расположения объектов. К этой группе

систем относится большинство САПР в области машиностроения, построенных на базе графических ядер. В настоящее время используют унифицированные графические ядра, применяемые более чем в одной САПР (ядра Parasolid фирмы EDS Unigraphics и ACIS фирмы Intergraph).

2. САПР на базе СУБД. Они ориентированы на приложения, в которых при сравнительно несложных математических расчётах перерабатывается большой объём данных (технико-экономические приложения, например, при проектировании бизнес-планов).

3. САПР на базе конкретного прикладного пакета, например, имитационного моделирования производственных процессов, расчёта прочности по МКЭ, синтеза и анализа систем автоматического управления и т.п. Часто такие САПР относятся к системам CAE. Примером могут служить математические пакеты типа MathCAD.

4. Комплексные (интегрированные) САПР, состоящие из совокупности подсистем предыдущих видов, например, CAE/CAD/CAM- системы в машиностроении.

Несмотря на многообразие ныне используемых специализированных программных средств трехмерного (или, как сейчас принято говорить, - 3D) моделирования перечень общепринятых в инженерном сообществе универсальных программ сравнительно невелик. Различают САПР-системы нижнего (легкие САПР), среднего (средние САПР) и верхнего (тяжелые САПР) уровней.

Тяжёлые САПР - это системы, которые, с одной стороны, обеспечивают весь цикл создания изделия от концептуальной идеи до реализации, а с другой, создают проектно-технологическую среду для одновременной работы всех участников создания изделия с единой виртуальной электронной моделью этого изделия. Эти системы применяются для решения наиболее трудоемких задач - моделирования поведения сложных механических систем в реальном масштабе времени, оптимизирующих расчетов с визуализацией результатов, расчетов температурных полей и теплообмена и т.д. Основными представителями тяжелых САПР на данном этапе являются:

- Pro/ENGINEER (PTC Creo Parametric — новая версия Pro/ENGINEER) /17/ - система трехмерного проектирования, как твердотельного, так и поверхностного, оперирующая геометрией на уровне объектов - инженерных элементов. В системе реализуется проектирование сверху вниз - нисходящее проектирование.

- Unigraphics NX — это CAD/CAM/CAE-система - система твердотельного трехмерного моделирования, включающая в себя весь комплекс конструкторско-технологических модулей. NX Unigraphics /13/ - универсальная система геометрического моделирования и конструкторско-технологического проектирования, в том числе разработки больших сборок, прочностных расчётов и подготовки конструкторской документации. Система многомодульная.

- CATIA (Computer Aided Three-dimensional Interactive Application) /16/ — система автоматизированного проектирования французской фирмы Dassault

Systemes на базе платформы 3DEXPERIENCE - это комплексная система автоматизированного проектирования (CAD), технологической подготовки производства (CAM) и инженерного анализа (CAE), включающая в себя передовой инструментарий трёхмерного моделирования, подсистемы программной имитации сложных технологических процессов, развитые средства анализа и единую базу данных текстовой и графической информации.

Средние САПР заняли промежуточное положение между тяжелым и легким классами, унаследовав от первых трехмерные параметрические возможности, а от вторых - невысокую цену и ориентацию на платформу Windows. Все эти системы имеют подсистемы: конструкторско-чертежную 2D, твердотельного 3D-моделирования, технологического проектирования, управления проектными данными, ряд подсистем инженерного анализа и расчёта отдельных видов машиностроительных изделий, а также библиотеки типовых конструктивных решений. Основными представителями средних САПР на данном этапе являются:

- Линия программных систем конструкторского проектирования фирмы *Autodesk* /18/ включает ряд систем, среди которых наиболее развитыми являются системы *AutoCAD Mechanical Desktop* и *Inventor*. Система *Inventor* предназначена для твердотельного параметрического проектирования, ориентирована на разработку больших сборок с сотнями и тысячами деталей, В число продуктов Autodesk входит ряд других программ автоматизированного проектирования, в том числе *Autodesk Data Exchange* - набор конверторов для взаимного преобразования данных из форматов DXF и SAT (формат ядра ACIS) в такие форматы, как STEP, IGES, VDA-FS.

- Система твердотельного параметрического моделирования механических конструкций *Solid Works* (разработчиком является *SolidWorks Corp.* (США), независимое подразделение компании *Dassault Systemes* (Франция)) /20/. В системе используется технология граничного моделирования (B-representation) с аналитическим или сплайновым описанием поверхностей.

- Системы отечественных разработчиков - это, прежде всего, системы Компас (компания Аскон) и T-Flex CAD (Топ Системы). В системе КОМПАС-3D для трёхмерного твердотельного моделирования синтез конструкций выполняется с помощью булевых операций над объёмными примитивами, модели деталей формируются путём выдавливания (в том числе по криволинейным траекториям – кинематическая операция) или вращения контуров, построением тела по заданным сечениям. Проектирование технологических процессов выполняется с помощью подсистемы Компас-Автопроект; программирование объёмной обработки на станках с ЧПУ - с помощью подсистемы ГЕММА-3. Ряд необходимых функций управления проектными данными возложено на подсистему Компас-Менеджер. САПР ТП ВЕРТИКАЛЬ компании Аскон - это система автоматизации технологической подготовки производства (язык интерфейса: только русский). T-Flex - комплекс программных продуктов для автоматизации проектирования, подготовки и организации производства в области машиностроения, приборостроения, мебельного производства и оборонно-промышленного комплекса, которая

включает T-FLEX PLM+, системы конструкторской и технологической подготовки, расчетные системы и пр /19/.

Легкие САПР служат для двумерного черчения и обычно их называют электронной чертежной доской. В настоящее время они пополнились некоторыми трехмерными возможностями, но не имеют средств параметрического моделирования, которыми обладают тяжелые и средние САПР. Эти САПР служат для выполнения почти всех работ с двумерными чертежами и имеют ограниченный набор функций по трехмерному моделированию. С помощью этих систем на данный момент выполняются порядка 90% всех работ по проектированию. Область их работы — создание чертежей отдельных деталей и сборок. Компания Autodesk в 1984 г. выпустила САПР для ПК под названием AutoCAD. Сейчас существует множество других «легких» САПР, включая DataCAD одноименной компании, TurboCAD фирмы IMSI, SurfCAM от Surfware и другие.

3. Основные принципы и приемы 3D-моделирования деталей и сборок

Рассмотрим некоторые приемы построения трехмерных моделей, которые создают базу, достаточную для освоения любой системы 3D-моделирования. Не вдаваясь в тонкости математического представления модели объемного тела, заметим, что каждое моделируемое тело сложной формы ограничено дискретной кусочно-плоской поверхностью, представляющей собой совокупность треугольных, трапециевидных и прямоугольных ячеек-сплайнов. Естественно, чем большим числом сплайнов представлена поверхность тела, тем более точно она задается и изображается на экране. Тем, очевидно, точнее может быть построена ее линия пересечения с другими лекальными поверхностями телами. Однако повышение точности поверхностей тела достигается ценой значительного увеличения вычислительной трудоемкости задачи моделирования, что приводит к большим затратам ресурсов машины. При моделировании изделий с точной геометрией на эти затраты приходится идти, однако компромиссное решение, позволяющее решать реальные задачи проектирования на рабочих станциях с ограниченной производительностью, состоит в некотором снижении комфортности работы проектировщика.

Суть этого решения состоит в том, что модель проектируемого тела включает в себя только (это не совсем точное утверждение) сетку сплайнов. Процедуры сглаживания ребер этой сетки, обтягивания сетки “кожей” (рендеринг), формирования световых бликов, придающих реалистичность изображению, выполняются графической подсистемой компьютера, и также требуют больших затрат вычислительных ресурсов. Упростив визуальное представление тела (ценой ухудшения реалистичности), можно высвободить значительную часть этих ресурсов. В общем виде предусматривается 7 уровней визуализации:

- уровень габаритных контейнеров, при котором каждый именованный трехмерный объект изображается на экране в виде прямоугольного параллелепипеда, охватывающего полностью данный объект;

- уровень каркасов, который предусматривает изображение видимых ребер сплайновой сетки, ограничивающей тело (рис. 4);
- уровень освещенных каркасов, при котором каркасы подсвечены так, что видна их трехмерность. На этом уровне изображаются также стороны каркасов, скрытые от наблюдателя (рис. 5);
- уровень граней изображается поверхность тела, обтянутая оболочкой, острые ребра сплайнов хорошо видны (рис. 6);
- уровень освещенных граней – видны блики на ограненной поверхности тел;
- уровень сглаживания граней поверхности лишены следов сплайновых ребер (рис. 7);
- уровень сглаживания граней и световых бликов дает наиболее реалистичное изображение (рис. 8).

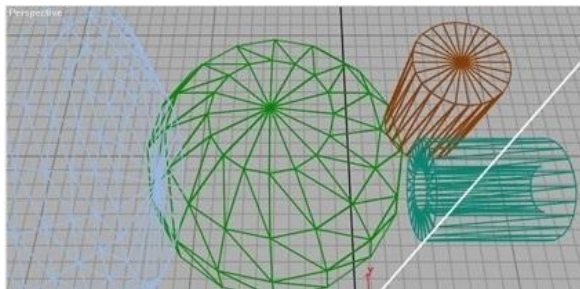


Рис. 4. Визуализация поверхности объемного тела на уровне освещенных каркасов.

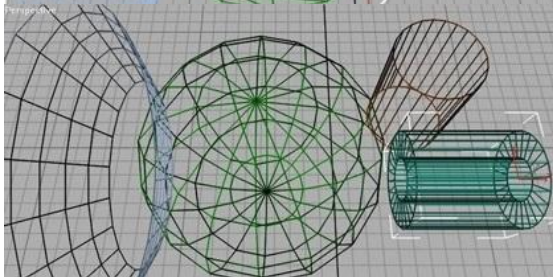


Рис. 5. Визуализация поверхности объемного тела на уровне освещенных каркасов.

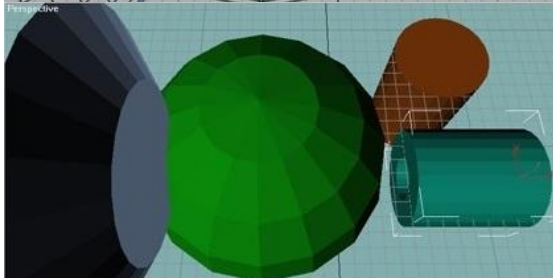


Рис. 6. Визуализация поверхности объемного тела на уровне граней

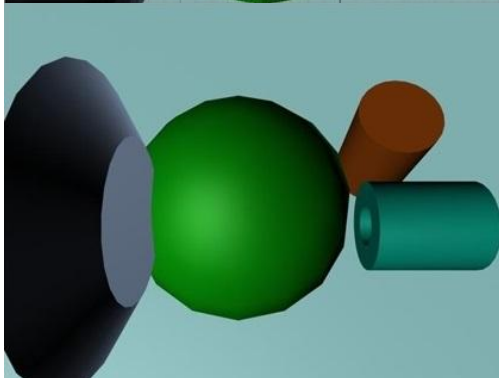


Рис. 7. Визуализация поверхности объемного тела на уровне сглаженных граней.

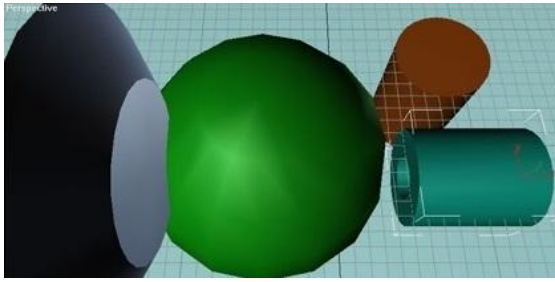


Рис. 8. Визуализация поверхности объемного тела на уровне сглаженных граней и световых бликов.

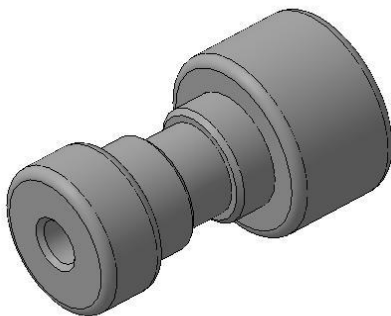
Управление точностью геометрии тела (числом сплайнов) производится при его создании, задается уровень визуализации проекции изображения.

В системах 3D- моделирования имеется обширный набор средств создания трехмерных объектов, например:

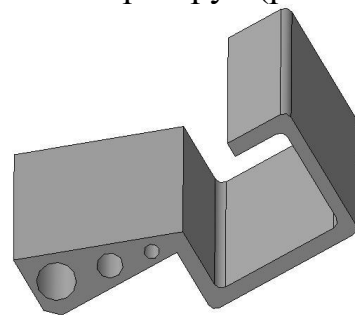
- Создание объектов на основе трехмерных примитивов;
- Создание объектов на основе сечений;
- Клоны и ортогональные преобразования;
- Создание объектов с помощью модификаторов.
- Средства создания и идентификации геометрических объектов.

Стандартные примитивы – это типовые геометрические тела, такие, как параллелепипеды, цилиндры, конусы, комбинируя которые можно построить более сложные объекты. Действительно, большая часть механических деталей, содержит поверхности вращения и плоскости, которые и ограничивают объемные примитивы. Эти примитивы получают в основном вращением, например цилиндр, сфера (рис. 9,а), выдавливанием например, призма, цилиндр (рис. 9,б), кинематическими операциями, например, пружина (рис. 9,в), построением поверхностей на основе сечений (рис. 9,г). Используя это, за одну операцию можно получить, например:

- вращением – ступенчатый валик (рис. 9,а);
- выдавливанием - кронштейн (рис. 9,б),
- кинематической операцией – надпись «3D» (рис. 9,в),
- построением поверхностей на основе сечений – раструб (рис. 9,г).



а



б

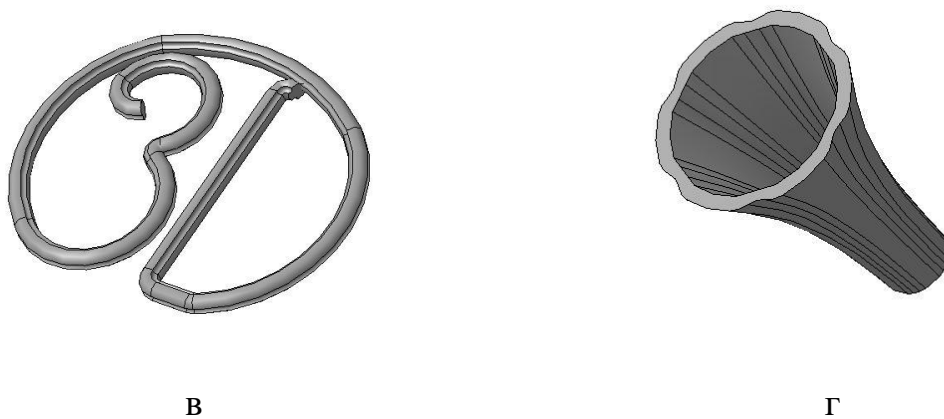


Рис. 9. Элементы, полученные за одну операцию: а - ступенчатый валик; б – кронштейн; в - надпись «3D»; г – раструб.

Одним из способов построения модели лекальной поверхности является создание исходного материала для этой цели - куска плоской (или иной) поверхности, который затем можно подвергнуть тому или иному виду деформации. Сетки кусков поверхностей являются поверхностями Безье – т.е. поверхностями, деформируемыми без излома. Поэтому они являются удобным средством моделирования деталей кузовного типа, незаменимым при проектировании судов, летательных аппаратов, автомобилей и их частей. Имеется возможность создать два типа сеток – с прямоугольными и треугольными кусками. После создания сетка может быть повернута и деформирована (рис. 10).

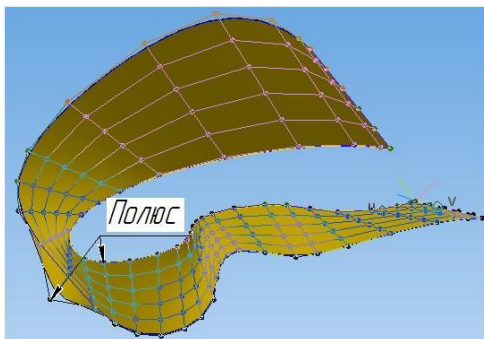


Рис. 10. Преобразование грани в сплайн и изменение формы путем перемещения полюсов

Многотельное моделирование — процесс создания модели, включающий создание не-скольких твердых тел. Многотельное моделирование расширяет возможности построения модели и снимает ограничения на создание моделей, которые можно получить только объединением, вычитанием или пересечением тел. Результатом многотельного моделирования может являться как одно тело, так и несколько тел (т.е. многотельная модель). Каждое тело в процессе многотельного моделирования создается обычным образом. Над телами могут производиться булевы операции. Проиллюстрируем применение булевских операций на примере двух цилиндров А и В. Объединение - тела двух операндов объединяются, образуя новое тело с общей поверхностью и общим объемом (рис. 11,а). Пересечение - полученный объект представляет собой область пространства, принадлежащую как операнду А, так и операнду В (рис. 11,б). Исключение - из первого операнда исключается область, принадлежащая второму операнду (рис. 11,в). При необходимости построенные в модели тела

можно сохранить как самостоятельные детали. Для каждого тела можно задать параметры МЦХ (рис. 12), цвет и свойства поверхности.

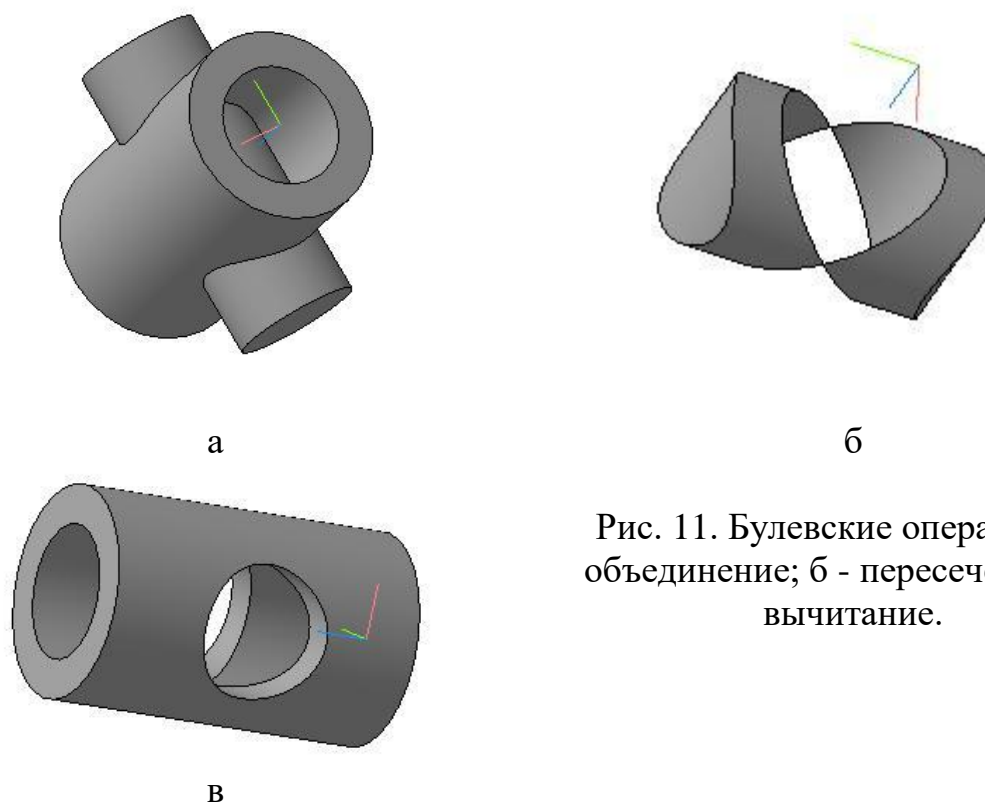


Рис. 11. Булевские операции: а - объединение; б - пересечение; в – вычитание.

Сосуд

Заданные параметры

Материал CrM 90 ГОСТ 6836-2002

Плотность материала $\rho = 0.010320$ г/мм³

Расчетные параметры

Масса $M = 37.882140$ г

Площадь $S = 7767.061080$ мм²

Объем $V = 3670.750026$ мм³

Центр масс $X_c = 0.001199$ мм

$Y_c = 32.312357$ мм

$Z_c = -0.000050$ мм

Моменты инерции

В глобальной системе координат:

Осевые моменты инерции

$$J_x = 54272.419305 \text{ г*мм}^2$$

$$J_y = 3842.520603 \text{ г*мм}^2$$

$$J_z = 54217.468038 \text{ г*мм}^2$$

Центробежные моменты инерции

$$J_{xy} = 0.979668 \text{ г*мм}^2$$

$$J_{xz} = -0.007504 \text{ г*мм}^2$$

$$J_{yz} = -0.079719 \text{ г*мм}^2$$

В центральной системе координат:

Осевые моменты инерции

$$J_x = 14720.114434 \text{ г*мм}^2$$

$$J_y = 3842.520548 \text{ г*мм}^2$$

$$J_z = 14665.163112 \text{ г*мм}^2$$

Центробежные моменты инерции

$$J_{xy} = -0.487711 \text{ г*мм}^2$$

$$J_{xz} = -0.007501 \text{ г*мм}^2$$

$$J_{yz} = -0.018998 \text{ г*мм}^2$$

В главной центральной системе координат:

Осевые моменты инерции

$$J_x = 14720.114457 \text{ г*мм}^2$$

$$J_y = 14665.163111 \text{ г*мм}^2$$

$$J_z = 3842.520526 \text{ г*мм}^2$$

Направление главных осей инерции:

Ось X $X = 1.000000$

$$Y = 0.000000$$

$$Z = 0.000000$$

Ось Y $X = 0.000000$

$$Y = 0.000000$$

$$Z = 1.000000$$

Ось Z $X = 0.000000$

$$Y = -1.000000$$

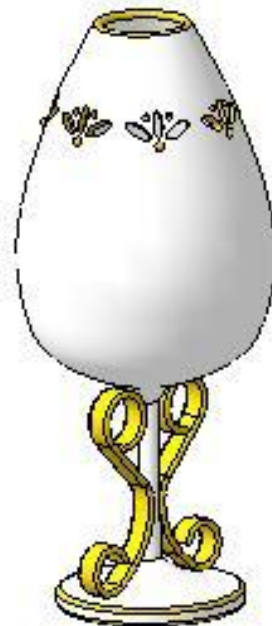


Рис. 12. Изделие и его МЦХ

Сборка - трехмерная модель объекта (стул, автомобиль), состоящая из нескольких деталей. Одни сборки состоят из нескольких деталей, например, сборочная модель стула, а некоторые состоят из тысяч компонентов, например, 3D сборка автомобиля. Компонент трехмерной сборки может быть вставлен в сборку из файла, создан прямо в ней, вставлен как трехмерный библиотечный элемент, импортирован из другой САПР. Если в сборку вставляется другая сборка, то она является подсборкой.

Сборка - трехмерная модель, объединяющая модели деталей, подсборок и стандартных изделий, и содержащая информацию о взаимном положении этих компонентов и зависимостях между параметрами их элементов. Пользователь задает состав сборки, внося в нее новые компоненты или удаляя существующие. Модели компонентов записаны в отдельных файлах. В файле сборки хранятся ссылки на эти компоненты.

Пользователь может указать взаимное положение компонентов сборки, задав параметрические связи между их гранями, ребрами и вершинами (например, совпадение граней двух деталей или соосность втулки и отверстия, параллельность, перпендикулярность, симметричность и др.). Эти параметрические связи называются сопряжениями.

В сборке можно выполнить операции, имитирующие обработку изделия в сборе (например, создать отверстие, проходящее через все компоненты сборки, или отсечь часть сборки плоскостью). Как и в детали, в сборке возможно построение тел, выполнение над ними булевых операций, задание для них плотностей. Для расчета МЦХ сборки можно использовать значения плотностей или масс, записанные в файлах компонентов, а можно задать специальные значения, которые будут храниться в файле сборки.

Если в файлах на диске уже существуют все компоненты, из которых должна состоять сборка, их можно вставить в сборку, а затем установить требуемые сопряжения между ними. Этот способ проектирования напоминает действия слесаря-сборщика, последовательно добавляющего в сборку детали и узлы и устанавливающего их взаимное положение.

Несмотря на кажущуюся простоту, такой порядок проектирования применяется крайне редко и только при создании сборок, состоящих из небольшого количества деталей. Это вызвано тем, что форма и размеры деталей в сборках всегда взаимосвязаны. Для моделирования отдельных деталей с целью последующей их «сборки» требуется точно представлять их взаимное положение и топологию изделия в целом, вычислять, помнить (или специально записывать) размеры одних деталей для того, чтобы в зависимости от них устанавливать размеры других деталей.

Для иллюстрации порядка проектирования «снизу вверх» можно провести такую аналогию с процессом создания конструкторской документации: проектирование «снизу вверх» подобно компоновке сборочного чертежа из готовых чертежей деталей. В случае «нестыковки» каких-либо деталей требуется внести изменения в их чертежи и только затем исправить компоновку.

Если компоненты еще не существуют, их можно моделировать прямо в сборке. При этом первый компонент (например, деталь) моделируется в обычном порядке, а при моделировании следующих компонентов используются существующие. Например, эскиз основания новой детали создается на грани существующей детали и повторяет ее контур, а траекторией этого эскиза при выполнении кинематической операции становится ребро другой детали. В этом случае ассоциативные связи между компонентами возникают прямо в процессе построения, а впоследствии при редактировании одних компонентов другие перестраиваются автоматически. Затем можно из сборки создать деталь, указать ее наименование, номер, назначить ей материал и др. параметры. Если структура сборки еще не определена, то можно создавать в ней не детали и под сборки, а тела. Затем тела можно сохранить как детали, а детали при необходимости объединить в под сборки.

Такой порядок проектирования предпочтителен по сравнению с проектированием «снизу вверх», т.к. он позволяет автоматически определять параметры и форму взаимосвязанных компонентов и создавать параметрические модели типовых изделий.

На практике чаще всего используется смешанный способ проектирования, сочетающий в себе приемы проектирования «сверху вниз» и «снизу вверх». В сборку вставляются готовые модели компонентов, определяющих ее основные характеристики, а также модели стандартных изделий. Остальные компоненты (например, корпус, крышки и прочие детали, окружающие кинематические элементы и зависящие от их размера и положения) создаются «на месте» (в сборке) с учетом положения и размеров окружающих компонентов.

Для создания 3D сборки используются панели инструментов «Редактирование сборки» и «Сопряжения». Панель инструментов «Сопряжения» содержит следующие команды:

1) Параллельность - размещение детали происходит таким образом, что выбранная грань или ребро этой детали будет параллельна грани или ребру другой детали.

2) Перпендикулярность - грань или ребро одной детали будет перпендикулярно грани или ребру другой детали.

3) На расстоянии - детали располагаются на заданном расстоянии и параллельно друг другу по граням или ребрам.

4) Под углом - грани/ребра под заданным углом.

5) Касание - указанные элементы касаются друг друга.

6) Соосность - осей, цилиндрических или конических граней.

7) Совпадение объектов - детали соприкасаются по определенным граням/ребрам.

На панели инструментов «Редактирование сборки» расположены следующие команды:

1) Создать деталь - команда для построения новой или изменения уже размещенной детали в текущей сборке.

2) Добавить из файла - добавление детали из файла и размещение ее в текущей сборке.

3) Переместить компонент - перемещение компонента в сборке

4) Повернуть компонент - группа команд для вращения компонентов сборки вокруг осей, точек, ребер, вершин.

5) Массив по образцу - для построения массива компонентов сборки, который повторяет указанный массив-образец в детали.

6) Новый чертеж из модели - используется для создания чертежа сборки в Компасе, ассоциативного с 3D сборкой.

При наличии однотипных узлов с различными размерами целесообразно использовать параметризацию / <https://cadregion.ru/kompas-3d/parametricheskie-vozmozhnosti-sapr-kompas-3d.html/>. Создавать параметрические модели возможно либо путем программирования, либо путем интерактивного формирования модели непосредственно при рисовании. В ряде CAD-систем

можно чертить изображение с одновременным заданием закона построения, который, однако, потом нельзя изменить в случае ошибки (придется удалить все построение и начать его заново), либо такое изменение сильно затруднено.

Существует и другой подход, когда можно накладывать ограничения (связи) на объекты уже начерченного ранее изображения узла или детали, причем в любом порядке, не придерживаясь какой-либо жесткой последовательности. В этом случае возможно произвольное изменение модели, не приводящее к необходимости повторных построений с самого начала.

Именно такая удобная и эффективная технология параметризации (можно назвать ее вариационной), значительно ускоряющая проектирование и последующее внесение изменений в документы, реализована в КОМПАС-ГРАФИК. Работая в параметрическом режиме, можно накладывать различные размерные (линейные, угловые, радиальные и диаметральные) и геометрические (параллельность, перпендикулярность, касание, принадлежность точки к кривой, фиксация точки и т.д.) ограничения на объекты модели, а также задавать уравнения и неравенства, определяющие зависимость между параметрами модели. Ряд ограничений может быть определён без явного ввода числовых значений (например, условие касания двух кривых или условие равенства радиусов), напротив, такие ограничения, как фиксированный радиус окружности или величина размера выражаются именно числовыми значениями.

Отличие параметрической модели от обычной состоит в том, что в ней предусмотрены взаимосвязи между объектами. Часть взаимосвязей формируется автоматически при вводе (совпадения точек, положение точки на какой-то геометрической кривой, параллельность, перпендикулярность, симметрия, касания), если, конечно, пользователь не отключил такую возможность. Совпадения точек и положение точки на кривой параметризуются через выполненную при указании этой точки привязку (глобальную или локальную), а условия параллельности, перпендикулярности и касания — в соответствующих процессах ввода объектов. Дополнительные взаимосвязи и ограничения можно назначить объектам чертежа в любой момент работы над документом. Команды для назначения подобных связей и ограничений находятся на отдельной инструментальной панели. Соответственно, в любой момент можно и отменить ограничения для одного или нескольких выбранных объектов.

Ряд объектов невозможно параметризовать. Не создаются параметрические модели для следующих объектов: прямоугольника; многоугольника; ломаной; кривой Безье; контура; текста; таблицы; всех типов линий-выносок; стрелки направления взгляда; линии разреза и сечения.

Имеет смысл параметризовать чертежи деталей, при модификациях которых изменяются только размеры и не меняется топология изображения. Таким образом, однажды созданная параметрическая модель детали может быть быстро перестроена простым изменением значений размеров. Если новая разработка будет применяться в будущем как прототип, параметризация целесообразна. Если нет, тогда параметризация чертежа может не выполняться,

так как отпадает необходимость в последующей быстрой модификации. Чаще не будет оправданной полная параметризация сложных сборочных чертежей, так как в этом случае велик объем работы по вводу ограничений и управляющих размеров, а получившейся в результате моделью будет сложно управлять (для пересчета большого количества связей и ограничений требуется много времени).

При работе с параметрическими чертежами и фрагментами полезно знание следующих особенностей.

- Чем больше ограничений наложено на объекты модели, тем меньше вероятность сильных разбросов при пересчетах. В качестве вспомогательных ограничений можно применять фиксацию точек, назначение горизонтальности или вертикальности отрезков, простановку дополнительных размеров.

- Если при редактировании параметрической модели, наложенные на нее связи и ограничения допускают несколько вариантов перестроения, будет реализован тот из них, который обеспечивает минимальное изменение параметров. Поэтому для получения предсказуемых результатов при редактировании рекомендуется при создании параметрической модели наложить связи и ограничения, однозначно определяющие ее топологию.

- Сопоставить параметр объекта (например, длину отрезка) с переменной можно только через простановку ассоциативного размера, характеризующего этот параметр, и присвоение ему (размеру) имени переменной.

Для того, чтобы включить параметрический режим как действующий по умолчанию для всех вновь создаваемых графических документов, выполните следующее: выбрать в меню Настройка команду Настройка новых документов, далее - пункт Графический документ – Параметризация. Включить нужные опции в диалоге настройки параметризации.

Отличие параметрической модели от обычной состоит в том, что в ней предусмотрены различные взаимосвязи между объектами. Часть таких взаимосвязей формируется системой автоматически при вводе объектов (здесь и ниже предполагается, что параметрический режим включен, как описано в разделе Включение и настройка параметрического режима). К числу таких автоматически накладываемых ограничений относятся привязки, параллельность, перпендикулярность, касание, симметрия, определение базовых кривых для объектов оформления.

Никаких новых действий при вводе объектов выполнять не нужно. Однако следует обязательно учитывать, что совпадения точек объектов параметризуются через выполненные при указании этих точек привязки. При этом не имеет значения, какая привязка действовала — глобальная или локальная. Точка, указанная просто «неподалеку» от другой точки, без выполнения привязки, параметризоваться не будет. Под словом «точка» здесь понимается не точка — геометрический объект, а любая задаваемая характерная точка объекта при его построении (начальная и конечная точки отрезка, центр окружности или эллипса и т.д.). Совпадение точек параметризуется и при перетаскивании характерных точек объектов (тоже через выполненную привязку).

Различные дополнительные взаимосвязи и ограничения можно назначить объектам в любой момент, когда это потребуется. Нужные команды находятся на Инструментальной панели параметризации.

Точно так же можно в любой момент можно снять некоторые или все ограничения с объекта (нескольких объектов).

Другим важным способом задания взаимосвязей между объектами является простановка размеров. При простановке линейных размеров ближайшая геометрическая точка ищется автоматически, и включать объектную привязку не обязательно. Признаком параметрического размера является рамка вокруг размерной надписи, отображаемая цветом подсвечивания (по умолчанию — красный).

При удалении любого параметрического объекта будут автоматически удалены ассоциированные с ним объекты оформления.

Глоссарий

КД – конструкторская документация - графические и текстовые документы, которые, в совокупности или в отдельности, определяют состав и устройство изделия и содержат необходимые данные для его разработки, изготовления, контроля, эксплуатации, ремонта и утилизации.

ТД – технологическая документация - совокупность графических и текстовых технических документов, которые отдельно или в комплексе определяют процесс изготовления изделий промышленного производства.

САПР – система автоматизированного проектирования - автоматизированная система, реализующая информационную технологию выполнения функций проектирования, представляет собой организационно-техническую систему, предназначенную для автоматизации процесса проектирования, состоящую из персонала и комплекса технических, программных и других средств автоматизации его деятельности.

АСТПП – автоматизированная система технологической подготовки производства - совокупность технических средств и методов автоматизированного проектирования и реализации технологической системы, обеспечивающих возможность производства изделий с заданным уровнем качества и в заданных количествах с наименьшими затратами ресурсов в конкретных условиях производства.

БД – база данных - представленная в объективной форме совокупность самостоятельных материалов, систематизированных таким образом, чтобы эти материалы могли быть найдены и обработаны с помощью ЭВМ.

СУБД – система управления базами данных - совокупность программных и лингвистических средств общего или специального назначения, обеспечивающих управление созданием и использованием баз данных.

Восходящее проектирование – это проектирование, при котором выполнение процедур низких уровней предшествует выполнению проектных процедур, относящихся к более высоким иерархическим уровням (т.е. – снизу вверх). *Нисходящее проектирование* – это проектирование сверху вниз

(пошаговая детализация), и характеризуется противоположной последовательностью выполнения процедур.

Геометрическое ядро - служит для точного математического представления трехмерной формы изделия и управления моделью.

4. 3D- моделирование сборочных процессов их и анализ

Физической моделью процесса формирования показателя точности машины как размера между её исполнительными поверхностями является размерная цепь. Согласно РД 50-635-87 «Цепи размерные» под размерной цепью понимают замкнутый контур расположенных друг за другом независимых размеров, участвующих в решении задачи по обеспечению заданного показателя точности машины.

Из определения размерной цепи следует, что размерную цепь образует замкнутый контур не любых размеров, а только тех размеров, которые непосредственно участвуют в решении задачи. Например, если поставлена задача обеспечить зазор между зубчатым колесом и торцом проставочного кольца, то только размеры, нанесенные на чертеж (рис. 13), участвуют в обеспечении необходимого зазора и никакие другие размеры (например, ширина корпусной детали).

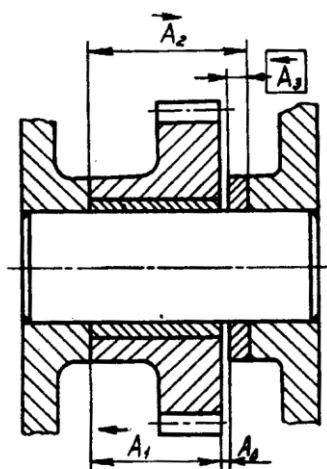


Рис. 13. Размерная цепь на определении зазора между зубчатым колесом и торцом проставочного кольца

Размерные цепи принято обозначать прописными буквами русского алфавита (А, Б, ...), если они образованы линейными размерами, и строчными буквами греческого алфавита, если их составляют угловые размеры (β , γ) (кроме букв $\alpha, \delta, \xi, \lambda, \omega$).

Размеры, образующие размерную цепь, называют звеньями размерной цепи.

На схемах размерных цепей звенья условно обозначаются: линейные размеры — двусторонними стрелками, угловые размеры — односторонними стрелками с направлением острия к базе. Для обозначения звеньев размерных

цепей используют те же буквы, что и для обозначения самих размерных цепей, с добавлением соответствующих индексов.

В любой размерной цепи одно из звеньев является замыкающим, все остальные — составляющие звенья.

Замыкающим называют звено размерной цепи, являющееся исходным при постановке задачи или получающееся последним в результате ее решения.

В замыкающем звене заключен смысл решаемой задачи независимо от того, является задача прямой или обратной. Задача - обеспечить зазор между зубчатым колесом и торцом кольца (см. рис. 14). Поэтому зазор в этой задаче будет являться замыкающим звеном, поскольку именно он нас интересует.

В процессе проектирования, при разработке технологического процесса изготовления механизма все действия по обеспечению зазора будут исходить от его заданного значения. Однако свойства зазора, как замыкающего звена, сохраняются и тогда, когда он будет получен последним в размерной цепи в результате сборки механизма.

В обозначении замыкающее звено отличается от составляющих индексом «0».

Составляющим звеном называют звено размерной цепи, функционально связанное с замыкающим звеном.

Обозначается составляющее звено той же буквой, что и сама размерная цепь, с индексом, соответствующим порядковому номеру составляющего звена.

С точки зрения влияния на значение замыкающего звена составляющие звенья подразделяются на увеличивающие и уменьшающие. Увеличивающим называют составляющее звено размерной цепи, с увеличением которого замыкающее звено увеличивается (звено A_2 рис.14). Уменьшающим называют составляющее звено размерной цепи, с увеличением которого замыкающее звено уменьшается (звенья A_1 и A_3 рис. 14).

Обозначают увеличивающее звено стрелкой над буквой направленной вправо, уменьшающее звено — стрелкой, направленной влево.

В зависимости от характера решаемых задач размерные цепи подразделяют на конструкторские, технологические, измерительные.

Конструкторской называют размерную цепь, определяющую расстояние или относительный поворот поверхностей или осей поверхностей в изделии (рис. 14). Технологической называют размерную цепь, обеспечивающую требуемое расстояние или относительный поворот поверхностей изделия в процессе его изготовления. Технологические размерные цепи возникают в процессе сборки машины и ее сборочных единиц и в процессе изготовления деталей. Технологические размерные цепи могут отображать связи между операциями (переходами) технологического процесса при получении того или иного размера, образование размера при выполнении операции (перехода) или роль отдельных этапов операции в обеспечении точности выдерживаемого размера. Измерительной называют размерную цепь которая используется при простановке размеров.

Звеньями размерных цепей могут быть либо линейные, либо угловые размеры. В зависимости от этого размерную цепь называют соответственно

либо линейной, либо угловой. Звенья размерной цепи могут быть расположены в одной или нескольких параллельных плоскостях и в непараллельных плоскостях. В первом случае размерную цепь называют плоской, во втором — пространственной.

Постановка задачи и выявление размерной цепи. Наиболее сложным в использовании теории размерных цепей на практике является выявление размерной цепи в соответствии с поставленной задачей. Выявление любой размерной цепи начинается с нахождения ее замыкающего звена.

Замыкающее звено размерной цепи находят исходя из задачи, возникающей при конструировании изделия, его изготовлении или измерении. Поэтому вначале должна быть поставлена и четко сформулирована задача, решение которой необходимо для обеспечения соответствия конструкции изделия его служебному назначению, обеспечения требуемой точности изделия при изготовлении или оценке его точности при измерении.

При конструировании изделия переход от формулировки задачи к нахождению замыкающего звена заключается в выявлении такого линейного или углового размера, от значения которого полностью зависит решение поставленной задачи. При изготовлении изделия замыкающим звеном размерной цепи является размер, точность которого должна быть обеспечена технологическим процессом. При измерении замыкающим звеном является измеренный размер. Каждая размерная цепь дает решение только одной задачи и может иметь одно замыкающее звено.

Допуск замыкающего звена устанавливают следующим образом:

- в конструкторских размерных цепях исходя из служебного назначения изделия или его части;
- в технологических размерных цепях в соответствии с допуском на расстояние или относительный поворот поверхностей детали (их осей) или деталей изделия, которые необходимо получить в результате осуществления технологического процесса изготовления детали или сборки изделия;
- в измерительных размерных цепях исходя из требуемой точности измерения.

Выявив замыкающее звено, можно приступить к нахождению составляющих звеньев размерной цепи. Составляющими звеньями конструкторских размерных цепей могут быть:

- расстояния (относительные повороты) между поверхностями (их осями) деталей, образующими замыкающее звено, и основными базами этих деталей;
- расстояния (относительные повороты) между поверхностями вспомогательных и основных баз деталей, непосредственно участвующих в решении поставленной задачи своими размерами.

Руководствуясь этим положением, для нахождения размерной цепи следует идти от поверхностей деталей (их осей), образующих замыкающее звено, к основным базам этих деталей, от них — к основным базам деталей, базирующих первые детали, вплоть до образования замкнутого контура. Несовпадения (зазоры, несоосности) основных и вспомогательных баз соединяемых деталей, если они возможны, учитываются отдельными звеньями.

Таким образом, деталь может участвовать в размерной цепи лишь одним своим размером.

Выявление технологических размерных цепей, отображающих связь операций при получении размера детали, рекомендуется начинать с последней операции, на которой получается выдерживаемый размер. При этом могут иметь место два варианта:

а) задача обеспечения точности размера решается в пределах последней операции (в тех случаях, когда в качестве одной из технологических баз используется поверхность, от которой задан размер). В этом случае точность выдерживаемого размера достигается с помощью размерной цепи технологической системы, используемой на этой операции;

б) выдерживаемый размер будет являться замыкающим звеном трехзвенной размерной цепи, в которой одним из составляющих звеньев является расстояние (поворот) между конечным положением режущего инструмента и технологической базой детали, а другим составляющим звеном — размер, полученный на одной из предшествующих операций.

Рассматривая последний как замыкающее звено размерной цепи, возникающей на предшествующей операции, могут иметь место либо вариант а), либо вариант б). Развитие размерных связей завершается операцией, на которой размер получается как замыкающее звено размерной цепи технологической системы.

Методика построения плоской размерной цепи с параллельными звеньями. Правильно построенный замкнутый контур должен содержать только такие размеры, величина и точность которых влияют на формируемый в процессе проектирования, изготовления или измерения показатель точности машины (сборочной единицы). В этом и только в этом случае он позволяет получить правильные ответы на два интересующих вопроса:

1) какие детали (сборочные единицы) участвуют в формировании рассматриваемого показателя точности машины?,

2) каким или какими своими размерами они это делают?

Любые ошибки в построении размерной цепи делают модель процесса некорректной, конструкторские и технологические решения, принятые на основе анализа такой модели, снижают качество машины либо делают ее вообще неработоспособной. Исправление такого рода ошибок по результатам контроля уже изготовленных машин приводит к большим дополнительным затратам, значительному удлинению процесса технической подготовки производства новой машины.

Построение размерной цепи начинают с выявления исходного звена. Исходным звеном называют размер, содержащийся в формулировке поставленной задачи. Исходное звено может содержаться в формулировке задачи в явной или неявной форме.

Например, для токарного станка в технических условиях ставится задача: "Обеспечить совпадение осей конусных отверстий шпинделя и пиноли задней бабки. Допускаемая несоосность не более ... мм". Здесь исходное звено

присутствует в явном виде, так как несоосность есть на что иное, как расстояние между этими осями.

К сожалению, в конструкторской документации нередко формулируются задачи, в которых в явной форме никаких размеров нет. Такие задачи представляют для технолога наибольшую трудность. Например, сформулировано техническое условие: "Шестерня должна свободно без заеданий вращаться на оси". Без размерного представления технолог не в состоянии решить эту задачу при изготовлении машины. В этом случае технолог вынужден анализировать физический смысл задачи и выявлять размерные связи между деталями конструкции, которые нужно сформировать. Для решения рассматриваемой задачи необходимо сформировать в конструкции два размера: зазор A_0 между отверстием шестерни и осью и осевой зазор B_0 между торцами шестерни и проставочного кольца (рис. 14). Оба эти зазора в конструкторском чертеже обычно даже не изображены и могут быть представлены только мысленно, но они в реальной машине обязательно должны быть. Минимальная и максимальная их величина обуславливается многими причинами. Например, можно сказать, что минимальный зазор A_0 зависит от разности линейной тепловой деформации материалов шестерни и оси, колебаний теплового режима работы конструкции, применяемой смазки и т.д.

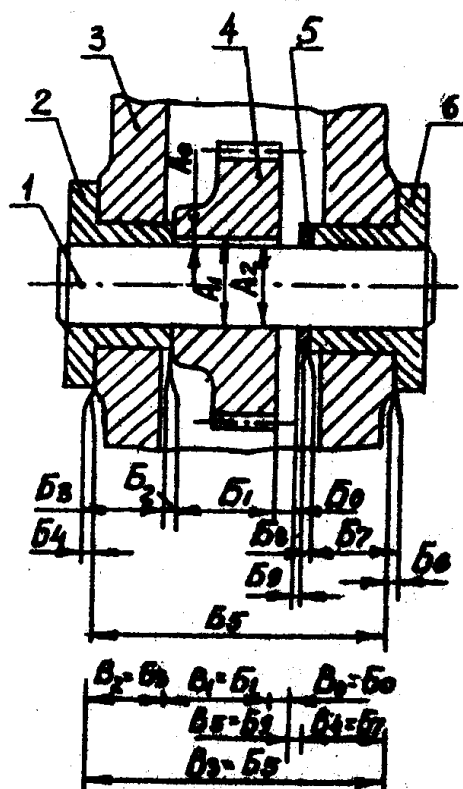


Рис. 14. Размерные цепи, обеспечивающие вращение шестерни на оси

Максимальная величина A_0 скорее всего будет ограничиваться допустимым радиальным биением зубчатого венца шестерни, так как ясно, что с увеличением A_0 это биение также растет. К сожалению, конструктор сегодня не всегда располагает надежными исходными данными, методиками,

зависимостями и уравнениями для обоснования допускаемых величин типа A_0 , B_0 и других подобных.

Выявление первого составляющего звена. Исходное звено всегда по физическому смыслу представляет собой показатель точности машины (сборочной единицы), т.е. расстояние (относительный поворот) между поверхностями ее различных деталей. Приступая к выявлению составляющих звеньев замкнутого контура размеров, можно начинать из любого конца исходного звена, так как в любом случае мы окажемся на поверхности одной из деталей, между которыми задано исходное звено. Например, на рис. 14 при построении цепи B начинаем с левого конца исходного звена B_0 , т.е. с торцевой плоскости шестерни 4.

Правило 1. Первое составляющее звено размерной цепи представляет собой размер детали, описывающий в направлении исходного звена положение поверхности (или ее элемента), соответствующий концу исходного звена, относительно основной базы этой детали.

Таким образом, построение первого составляющего звена требует выявления основной базы детали в координатном направлении исходного звена. В рассматриваемом примере основной базой шестерни в направлении размера B_0 (вдоль оси) является торец ступицы, следовательно, первым составляющих звеном размерной цепи будет размер шестерни B_1 .

Выявление второго составляющего звена.

Правило 2. Второе составляющее звено представляет собой размер, описывающий в направлении исходного звена переход с основной базы первой детали на соответствующую вспомогательную базу следующей детали.

Согласно теории базирования такой переход осуществляется размером установки, номинальное значение которого чаще всего равно нулю, но не равна нулю его погрешность - погрешность установки ω_y . С точки зрения формирования погрешности показателя точности машины (исходного звена), включение такого размера в размерную цепь оправдано.

В примере на рис. 14 второе звено B_2 описывает переход с торца шестерни (основная база первой детали) на торец втулки 2 (соответствующая вспомогательная база). Этот размер на схеме показан условно.

Выявление третьего составляющего звена. Задача этого шага - определить в конструкции в направлении исходного звена положение вспомогательной базы, которая соответствует концу предыдущего звена размерной цепи. В примере на рис. 14 речь идет о правом торце втулки 2. Очевидно, что положение этой поверхности в конструкции после установки туда несущей ее детали полностью определяется внутридетальным размером относительно основной базы. Таким образом, для построения третьего звена необходимо выявить основную базу второй детали в направлении исходного звена. В примере основной базой втулки 2 служит кольцевая плоскость ее бурта, следовательно, третье звено B_3 - размер между двумя торцами втулки 2, служащими ее основной и вспомогательной базами.

Правило 3. Третье составляющее звено представляет собой размер второй детали в направлении исходного звена между ее основной базой и вспомогательной базой, выявленной при построении предыдущего звена.

Обращает на себя внимание принципиальная общность с точки зрения физического смысла первого и третьего звеньев: внутридетальные размеры, описывающие положение относительно основной базы детали других поверхностей, выполняющих роль вспомогательной базы, или ограничивающих исходное звено.

Выявление составляющих звеньев 4 –(i-1) Следующие звенья размерной цепи выявляются на основе правил 2 и 3 и описывают повторяющиеся процессы установки каждой следующей детали и внутридетальное расположение участвующих в этих процессах их поверхностей. Количество этих звеньев может быть любое и определяется сложностью конструкции машины.

В результате этой работы достигается еще один принципиально отличающийся от предыдущих шаг, при выявлении которого определяется некоторое i -е звено.

Выявление i -го звена. Это звено представляет собой внутридетальный размер базовой детали машины (сборочной единиц.). Под базовой деталью в данном случае понимают такую, которая определяет взаимное расположение всех других. Обычно - это корпусная деталь. Например, в конструкции на рис. 14 такой базовой деталью является корпус 3, который различными своими вспомогательными базами определяет взаимное положение всех остальных, потенциально участвующих в решении поставленной задачи. При этом оказывается безразличным положение самой базовой детали, так как его изменения не сказываются на взаимном расположении установленных на нее других деталей. Так, положение корпуса 3 в машине не отражается на зазорах A_0 или B_0 . Поэтому при достижении вспомогательной базы базовой детали при построении размерной цепи становится бесполезным правило 3, более того, формальное следование ему не позволит замкнуть строящийся контур размеров. В связи с этим существует правило 4

Правило 4: i -е звено представляет собой внутридетальный размер базовой детали между двумя ее вспомогательными базами, ориентирующими две разные детали в направлении исходного звена.

В примере на рис. 14 таким звеном является B_5 - размер между торцами бобышек корпуса, служащих вспомогательными базами для втулок 2 и 6. Первую такую вспомогательную базу находят в результате выявления ($i - 1$)-го звена. На рис. 14 такое ($i - 1$)-е звено - это B_3 . Вторую вспомогательную базу при наличии достаточного опыта такой работы находят обычно при визуальном анализе исследуемой конструкции. В случае затруднений и для проверки результата визуального поиска можно применить прием построения размерной цепи, начиная с противоположного конца исходного звена. В этом случае, пользуясь правилами 1, 2, 3, обязательно достигают второй вспомогательной базы базовой детали. Так, в примере на рис. 14 можно начать построение цепи B из правого конца исходного звена B_0 и тогда будут выявлены по правилам 1, 2

и 3 звенья B_9, B_8, B_7, B_6 после этого появится торец правой бобышки корпуса в качестве вспомогательной базы для втулки 6.

Выявление остальных звеньев $(i + 1) - m$. Эти звенья могут быть выявлены двумя путями. Первый уже только что описан - построением размерной цепи, начиная с противоположного конца исходного звена. Второй заключается в применении тех же правил 3, 2 и 1, но в обратном направлении, т.е. осуществляя переход со вспомогательных баз предшествующих деталей на основные базы последующих. Например, на рис. 14 размером B_6 переходят со вспомогательной базы корпуса на основную базу втулки 6 (в противоположность размеру B_4), размером B_8 - со вспомогательной базы втулки 6 на основную кольца 5 (в противоположность размеру B_2). Внутридетальные же размеры всегда определяются по правилу 3, и только последнее звено m по правилу 1.

Замыкание контура. Замкнуть контур размеров - значит вернуться в исходную точку. Начав из левого конца исходного звена, нужно в конце построения в него же вернуться. Для этого после построения звена m нужно "пройти" по исходному звену и этим действием цепь "замкнуть". Поэтому исходное звено в конце построения размерной цепи называют замыкающим. Так как исходное и замыкающее звенья - это один и тот же размер, в практике, а иногда и в специальной литературе используют только термин "замыкающее звено", хотя это упрощение смазывает смысл и последовательность построения размерной цепи.

5. ПРОЕКТИРОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ СБОРКИ

Разработка технологии сборки машины является составной частью технологической подготовки ее производства. Процесс сборки является заключительным этапом изготовления машины, в значительной степени определяющим ее основные эксплуатационные качества.

Главными принципами проектирования технологического процесса сборки является обеспечение высокого качества изделий, достижение наибольшей производительности и экономичности процесса на основе возможно более широкого применения механизации и автоматизации сборочных работ. Технический и организационный уровень сборки в значительной мере определяет надежность и долговечность машины, а увеличение срока службы и повышение надежности работы машины в период ее эксплуатации.

Выполнение сборочных работ связано с большой затратой времени, составляющей значительную долю трудоемкости изготовления машины. Как правило, основная часть слесарно-сборочных работ представляет собой ручные работы, требующие больших затрат физического труда и высокой квалификации рабочих. Большая трудоемкость слесарно-сборочных работ не только существенно увеличивает общую трудоемкость изготовления машин, но и приводит к значительному ухудшению экономических показателей работы предприятия, связанному с большим скоплением на сборке дорогостоящих

готовых деталей и узлов, увеличивающих стоимость незавершенного производства предприятия и снижающим оборачиваемость оборотных средств.

Машины, приборы и механизмы собирают путем соответствующего соединения составляющих их деталей и сборочных единиц. Существует большое количество способов соединения деталей машин. Однако все применяемые соединения можно объединить в две большие группы — неразъемные и разъемные, которые, в свою очередь, могут быть как подвижными, так и неподвижными (таблица 5.1).

Таблица 5.1

Классификация соединений.

Конструктивные признаки	Неразъемные		Разъемные	
	неподвижные	подвижные	неподвижные	подвижные
Технологические признаки	Сварные Паяные Клеевые Заклепочные Вальцованные Прессовые	Вальцованные	Резьбовые Клиновые Шпоночные Шлицевые (зубчатые) Цилиндрические Конические Профильные	Резьбовые Шпоночные Шлицевые (зубчатые) Цилиндрические Профильные

Разъемные соединения можно многократно разбирать и вновь собирать без разрушения деталей. Разборка неразъемных соединений невозможна без разрушения соединительных элементов. В подвижных соединениях в процессе эксплуатации машины происходит изменение положения одной детали относительно другой, а в неподвижных взаимное расположение деталей остается постоянным

Основные определения

Изделием называется любой предмет или набор предметов производства, подлежащих изготовлению на предприятии. Различают следующие виды изделий: детали; сборочные единицы (узлы); комплексы; комплекты.

Деталь является предметом, изготовленным из однородного материала, без применения сборочных операций.

Сборочной единицей (СЕ) называется специфицированное изделие, составные части которого подлежат соединению между собой на предприятии изготовителе сборочными операциями (свинчиванием, клейкой, пайкой, опрессовкой и т.д.). СЕ можно разделить на конструктивные, технологические и конструктивно - технологические.

Конструктивная СЕ – это единица, спроектированная лишь по функциональному признаку, без учета особого значения условий независимой сборки.

Технологическая СЕ – это СЕ, которая может собираться отдельно от других и выполнять определенную функцию в изделиях одного назначения только совместно с другими составными частями.

Наилучшим вариантом конструкции является СЕ, которая отвечает условию функционального назначения ее в изделии и условию самостоятельной независимой сборки. Это конструктивно-технологическая СЕ (насосы, вентили, коробки передач ...)

Комплексом называется два и более специфицированных изделия, не соединенных на предприятии-изготовителе сборочными операциями, но предназначенных для выполнения взаимосвязанных эксплуатационных функций. В комплекс кроме изделий, выполняющих основные функции, могут входить детали, СЕ и комплекты предназначенные для выполнения вспомогательных функций, например детали и СЕ, предназначенные для монтажа комплекса на месте его эксплуатации.

Комплект представляет два и более изделия, не соединенных на предприятии-изготовителе сборочными операциями и представляющих набор изделий, имеющих общее эксплуатационное назначение вспомогательного характера, например комплект запасных частей, комплект инструментов и т.д.

Сборка – образование разъемных или неразъемных соединений составных частей изделия.

Узловая сборка – сборка, объектом которой является составная часть изделия – СЕ (узел).

Общая сборка – сборка, объектом которой является изделие в целом.

Сборочный комплект – группа составных частей изделия, которые необходимо подать на рабочее место для сборки изделия или его составной части.

В условиях единичного и мелкосерийного производства основная часть сборочных работ выполняется на общей сборке и лишь малая их доля осуществляется над отдельными сборочными единицами. С увеличением серийности производства сборочные работы все больше раздробляются по отдельным СЕ и в условиях массового и крупносерийного производства объем узловой сборки становится равным или даже превосходит объем общей сборки. Это в значительной мере способствует механизации и автоматизации сборочных работ и повышает их производительность.

ТП сборки заключается в соединении деталей в узлы и узлов и отдельных деталей в механизмы и целую машину. В связи с этим все работы сборочного процесса разбиваются на отдельные последовательные стадии, которые далее расчленяются на отдельные последовательные операции, переходы, приемы.

Под операцией в сборочном процессе понимается часть ТП, осуществляемая по какому-либо узлу или машине одним или несколькими рабочими на одном рабочем месте. Под переходом понимается часть операции, которая вполне закончена, не может быть расчленена на другие переходы и выполняется без смены инструментов одним или несколькими рабочими одновременно. Приемом называется часть перехода, состоящая из ряда

простейших рабочих движений выполняемых одним рабочим. Под установкой понимается придание определенного положения собираемым деталям и соединениям.

По стадиям процесса сборки подразделяется на следующие виды:

Предварительная сборка т.е. сборка заготовок, составных частей или изделия в целом, которые в последующем подлежат разборке. Например, предварительная сборка узла с целью определения размера неподвижного компенсатора.

Промежуточная сборка т.е. сборка заготовок, выполняемая для дальнейшей их совместной обработки. Например, предварительная сборка корпуса редуктора с крышкой для последующей совместной обработки отверстий.

Сборка под сварку т.е. сборка заготовок для их последующей сварки.

Окончательная сборка т.е. сборка изделия или его составной части, после которой не предусмотрена его последующая разборка при изготовлении.

Также в технологический процесс сборки может быть включен демонтаж, то есть частичная разборка изделия. Демонтаж может производиться с целью упаковки и транспортирования изделий к месту эксплуатации.

Виды сборочных работ:

Пригоночные работы. Погрешности взаимного расположения поверхностей деталей в процессе их обработки нередко значительно превышают допускаемые отклонения. Это вызывает необходимость в процессе сборки дополнительно обрабатывать детали и СЕ, пригоняя их по месту. Таким образом, под пригонкой понимается ручная или механическая обработка в процессе сборки сопрягающихся поверхностей деталей для достижения необходимой точности сопряжений или обеспечения других качественных показателей. Процесс пригонки состоит из двух этапов: определения величины погрешности и устранения ее снятием излишнего слоя металла. Продолжительность пригонки обычно трудно нормировать, т.к. она для различных СЕ различна.

Наиболее распространенными видами пригоночных работ являются

- Опиливание и зачистка. Например, опилование детали по контуру для снятия неровностей, шероховатостей, забоин, заусенцев, снятие припуска на детали – компенсаторе под размер, предусмотренный технологией сборки, устранение дефектов на поверхности детали (сколов, царапин), опилование плоскостей, сложных поверхностей пазов и выступов при подгонке соединений. После опилования поверхность зачищается или полируется.

- Притирка. Ее применяют при сборке в тех случаях, когда необходимо получить точный размер деталей за счет снятия очень малого припуска или для достижения плотного прилегания поверхностей, обеспечивающих гидравлическую непроницаемость соединения. Существует два способа притирки деталей – одной детали по другой (притирка клапанов, пробок и т.д.) и каждой из деталей по притиру. Притирка представляет собой процесс резания абразивными зернами, находящимися между поверхностями притира и детали. Процесс притирки необходимо всемерно механизировать, для чего применяют ручные электрические или пневматические машины и специальные станки. Для окончательной доводки поверхности вместо шлифпорошков применяют специальные полировочные пасты. Притертые поверхности проверяют на краску.

- Шабрение – отделочная обработка поверхности снятием тонкой стружки шабером вручную или механическим путем. Применяется для точного сопряжения деталей, напр. для герметизации соединений. После шабрения качество проверяется на краску.

- Сверление. В процессе сборки отверстия может потребоваться обработка отверстий, например, когда требуемая точность достигается прежде всего путем обработки двух или большего числа деталей в сборе, когда место сверления труднодоступно для обработки на станке а отверстие можно просверлить с помощью механизированного инструмента. После сверления отверстия могут зенкероваться или разворачиваться.

-Мойка деталей и СЕ. Металлические опилки, мельчайшие кусочки стружки, остатки обтирочных материалов, абразивный порошок, попадая в отверстия или каналы деталей, могут в последствии, при работе машины, попасть вместе со смазкой в подшипники или зазоры других подвижных соединений и вызвать их преждевременный износ. Для предотвращения этого детали и СЕ в процессе сборки проходят специальные операции – очистку и мойку. Это работа трудоемкая, на нее расходуется до 10% времени, затрачиваемого на изготовление деталей.

Очистка СЕ и деталей от слоя антикоррозионной смазки, следов краски и других твердых загрязнений может быть осуществлена механическим путем при помощи приводных и ручных щеток, с последующей мойкой и обдувкой сжатым воздухом.

Способы мойки применяют преимущественно следующие: химический (мойка окунанием и струйная мойка с применением органических растворителей), электрохимический (в спокойном или принудительно возбужденном электролите) и ультразвуковой.

Также к сборочным работам относят контроль качества сборки и испытания. Необходимость и характер испытаний и содержание контроля определяется назначением и структурой сборочной единицы и может быть весьма разнообразным. Осуществляемые в процессе сборки контрольные операции дают возможность установить в соединениях, СЕ и в машине степень соответствия относительного положения, и перемещения исполнительных поверхностей техническими требованиями на сборку.

В технологический процесс сборки могут включаться работы по окраске собранного изделия или его узлов, а также консервации и упаковке.

5.2 Виды и организационные формы сборки.

В различных типах и при различных условиях производства организация сборки приобретает различные формы. По перемещению собираемого изделия сборка подразделяется на стационарную и подвижную, по организации на непоточную, групповую и поточную / ТСП/.

1. Непоточная стационарная сборка характеризуется тем, что весь процесс сборки изделия и его СЕ выполняется на одной сборочной позиции. Все детали поступают на эту позицию. Достоинствами этой организационной формы сборки являются сохранение неизменного положения основной базовой детали, что способствует достижению высокой точности изделия; использование универсальных транспортных средств, приспособлений и инструментов, что сокращает продолжительность и стоимость ТПП. К недостаткам можно отнести длительность общего цикла сборки, выполняемого последовательно; потребность в высококвалифицированных рабочих, способных выполнять любую сборочную операцию; увеличение потребности в больших сборочных стендах, т.к. машина длительное время занимает монтажный стенд. Область применения – единичное и мелкосерийное производство тяжелого и энергетического машиностроения, экспериментальные и ремонтные цехи.

2. Непоточная стационарная сборка с расчленением сборочных работ предполагает дифференциацию процесса на узловую и общую сборку. Сборка каждой СЕ и общая сборка выполняется в одно и то же время различными бригадами и многими сборщиками. Собираемая машина остается неподвижной на одном стенде. В результате длительность процесса сборки значительно сокращается. Преимущества: значительное сокращение длительности общего цикла сборки; сокращение трудоемкости выполнения отдельных сборочных операций за счет специализации рабочих мест и их оборудования соответствующими приспособлениями и механизмирующими устройствами, специализации рабочих-сборщиков, лучшей организации труда, снижения потребности в дефицитной рабочей силе сборщиков высокой квалификации, более рационального использования помещений и оборудования, уменьшения размеров высоких помещений сборочных участков оборудованных мощными подъемно-транспортными устройствами, сокращения себестоимости сборки. Область применения – серийное производство средних и крупных по размеру машин.

3. Непоточная подвижная сборка характеризуется последовательным перемещением собираемого изделия от одной позиции к другой. Перемещение может быть свободным или принудительным. ТП сборки при этом разбивается на отдельные операции. Сборка со свободным перемещением собираемого объекта заключается в том, что рабочий закончив свою операцию, с помощью средств механизации или вручную перемещает собираемую СЕ на следующую

рабочую позицию, СЕ также могут собираться на тележках, рольгангах и т.п. Сборка с принудительным перемещением собираемого объекта состоит в том, что он передвигается при помощи конвейера или тележек, замкнутых ведомой цепью. Фактическая продолжительность выполнения каждой операции колеблется, для компенсации таких колебаний создается межоперационный задел. Область применения – переход от сборки единичных изделий к их серийному изготовлению.

4. Поточная сборка характеризуется тем, что при построении ТП сборки отдельные операции процесса выполняются за одинаковый промежуток времени – такт, или за промежуток времени, кратный такту. При этом на более продолжительных операциях параллельно работают несколько рабочих-сборщиков. Обеспечение одинаковой продолжительности технологических операций, называемое синхронизацией операций, достигается их перестройкой. Поточная сборка может быть организована со свободным или принудительным ритмом. Межоперационное перемещение собираемого изделия осуществляется: вручную или с помощью тележек наклонного лотка или рольганга, с помощью конвейера с периодическим или непрерывным перемещением. Поточная сборка сокращает длительность производственного цикла и уменьшает межоперационные заделы деталей, повышает специализацию сборщиков и возможности механизации и автоматизации сборочных операций, что в конечном итоге приводит к снижению трудоемкости сборки на 35 – 50%. Главным условием поточной сборки является обеспечение взаимозаменяемости собираемых узлов и деталей. В случае необходимости использования пригоночных работ они должны осуществляться за пределами потока на операциях предварительной сборки.

Поточная сборка делится на поточную стационарную и поточную подвижную сборку.

Поточная стационарная сборка применяется при сборке крупных и громоздких изделий (самолеты и т.д.). При этом виде сборки все собираемые объекты остаются на рабочих позициях в течение всего процесса сборки. Рабочие (или бригады) по сигналу все одновременно переходят от одних собираемых объектов к следующим через периоды времени, равные такту. Каждый рабочий (или бригада) выполняет закрепленную за ним одну и ту же операцию на каждом из собираемых объектов. Преимущества: работа с установленным тактом, равномерный выпуск продукции, короткий цикл сборки, высокая производительность труда, высокий съем продукции с 1 м² площади. Область применения – серийное производство машин, отличающихся недостаточной жесткостью базовых деталей, большими габаритами и массой (станков, самолетов и т.п.).

Поточная подвижная сборка становится экономически целесообразной в тех случаях, когда выпуск машин и их узлов значительно возрастают. Этот вид сборки может осуществляться с непрерывно или периодически перемещающимися собираемыми объектами. Преимущества – выполнение работы с требуемым тактом и возможность почти полного совмещения

времени, затрачиваемого на транспортирование объектов, со временем их сборки.

5.3 Проектирование технологического процесса сборки

Основными задачами проектирования технологического процесса сборки являются:

- определение наиболее рациональной последовательности сборки;
- выбор методов сборки;
- выбор и конструирование необходимого инструмента, приспособлений и оборудования;
- выбор методов и средств технического контроля качества сборки;
- установление норм времени на выполнение сборочных операций;
- определение рациональных способов транспортировки деталей, полуфабрикатов и изделий;
- набор и проектирование транспортных средств;
- разработка технологической планировки сборочного цеха и необходимой технической документации и т.д.

Разработка ТП и его технологического оснащения должна осуществляться в соответствии со стандартами: ЕСТД и ЕСТПП.

Для разработки ТП сборки машины или СЕ технологу необходимо иметь: сборочные чертежи, характеризующие машину или СЕ с полнотой, необходимой для отчетливого представления конструкции; чертежи деталей; спецификацию деталей по СЕ, технические требования на приемку; годовой план выпуска изделий, а также целевое назначение машины и технические требования к ней; выходные параметры машины или основные ее характеристики; срок службы машины; условия эксплуатации; к какому механизму или агрегату будет присоединена данная машина; техническую оснащенность предприятия, которое будет выпускать машину и т.д. Сборочные чертежи, а также чертежи деталей и поузловые спецификации необходимы технологу для изучения конструкции собираемого изделия.

После получения перечисленной выше документации технолог изучает чертежи и технические требования к изделию. Эти требования весьма разнообразны, поэтому необходимо выделить и проанализировать только те, от которых зависит качество сборки изделия. При сборке машин и механизмов основные требования сводятся, как правило, к соблюдению точности положения, вращения, линейного перемещения и т.д. основных их узлов и деталей относительно каких-либо базовых поверхностей или относительно друг друга. Эти задачи решаются при помощи размерных цепей.

Последовательность разработки технологического процесса сборки

1. В зависимости от программного задания устанавливается целесообразная организационная форма сборки, определяется ее такт и ритм.
2. Производится технологический анализ сборочных чертежей и рабочих чертежей деталей с позиций отработки технологичности конструкции.

3. Производится размерный анализ конструкции собираемых изделий с выполнением соответствующих размерных расчетов и устанавливаются рациональные методы обеспечения требуемой точности сборки. Определяется вероятное количество деталей и узлов, непригодных для взаимозаменяемой сборки, размеры регулирования и пригонки.
4. Определяется целесообразная в данных условиях производства степень дифференциации проектируемого процесса сборки.
5. Устанавливается последовательность соединения всех сборочных единиц и деталей изделия и составляются схемы общей сборки и узловых сборок изделия.
6. Определяются наиболее производительные, экономичные и технически целесообразные способы соединения, проверки положений и фиксации всех составляющих изделие СЕ и деталей. Определяется содержание технологических операций сборки и окончательных испытаний изделия.
7. Разрабатывается необходимая для выполнения ТП технологическая оснастка (приспособления, режущий, монтажный, контрольно-измерительный инструмент и оборудование).
8. Производится техническое нормирование сборочных работ и рассчитываются экономические показатели процесса сборки.
9. Оформляется техническая документация процесса сборки.

Разработку последовательности соединения СЕ и деталей изделия целесообразно начинать с построения технологической схемы сборки.

ТСС – вспомогательный технологический документ (не входящий в число обязательной технологической документации), который показывает в графическом виде последовательность соединения деталей и СЕ входящих в изделие; состав СЕ входящих в изделие; выполнение операций не связанных с присоединением деталей и СЕ (контроль, регулировка, заливка масла и др. рабочих сред окраска, упаковка и т.д.)

Для проектировании ТП сборки обычно применяют ТСС ранжированную по уровням или порядкам СЕ. Порядок сборочной единицы может начинаться от нулевого, то есть это предметы, не требующие сборки – детали и СЕ, поступающие со стороны (покупные и собранные в других подразделениях) и не требующие сборки в пределах изготовления заданного изделия. Далее следуют СЕ 1-го и более высоких порядков. Порядок СЕ всегда на единицу больше максимального порядка входящих в нее элементов

Сборочная единица переходит в следующий уровень только после присоединения СЕ порядка равного ей уровня. Сборочная единица $n^{го}$ порядка состоит из любого количества СЕ от 0 до $(n-1)$ порядка, но должна включать хотя бы одну СЕ $(n-1)$ порядка.

Обозначение СЕ любого порядка производится прямоугольником произвольной формы и размеров с $3^{мя}$ обозначениями: наименование, позиция по сборочному чертежу, количество устанавливаемых СЕ одновременно.

Составление ТСС:

1. Построение ТСС начинается с подготовки поля. На листе произвольной длины проводят горизонтальные линии, обозначающие уровни СЕ. Допускаются незаполненные уровни высших порядков.

2. Проводится анализ собираемого изделия. При этом:

- Выявляется базовая деталь всего изделия (обычно корпус, рама, станина, основание). Базовая деталь назначается из соображения, что на ней расположены все остальные комплектующие элементы изделия.

- Производится предварительная разбивка изделия на составляющие СЕ.

- В каждой намеченной СЕ назначается базовая деталь по тем же принципам, что и у всего изделия (СЕ).

3. Проектирование ТСС начинается с того, что изображается базовая деталь всего изделия, которая отправляется на общую сборку.

4. К базовой детали на уровне общей сборки присоединяются прочие элементы, в очередности исходящей из простоты соединения, т.е. любую деталь желательно присоединять пока собираемая СЕ не обросла прочими элементами.

5. Указываются действия связанные или не связанные с присоединением.

Пример ТСС представлен на рисунке 5.2.

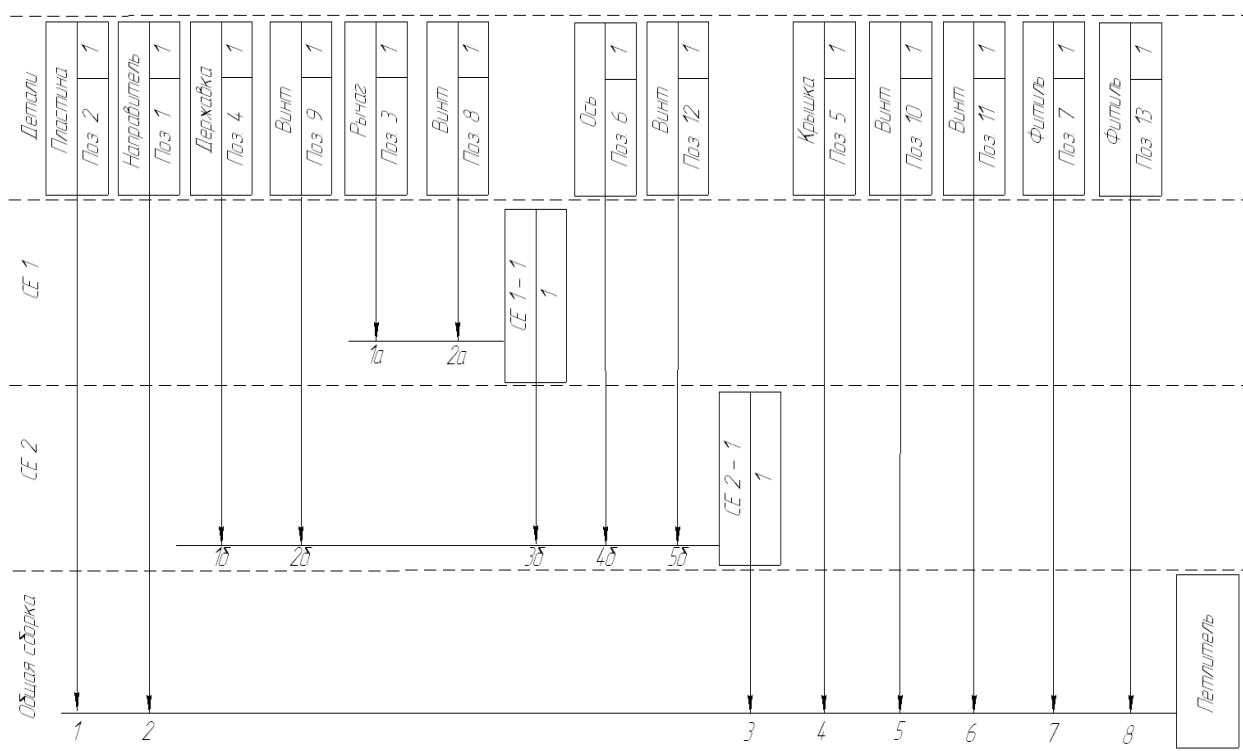


Рисунок 5.2 – Технологическая схема сборки

На основе ТСС составляется технологический процесс сборки. Перечень переходов начинается с перечисления переходов общей сборки. Затем составляется перечень переходов узловой сборки. Далее производится нормирование сборочных переходов и построение циклограммы сборки (рисунок 5.3). Методы нормирования изложены в главе 7.

Особенностью нормирования технологического процесса сборки является сложность разделения основного и вспомогательного времени. Поэтому при сборке нормируется оперативное время.

№ опер	№ пер	Содержание перехода	T _{пер}	T _{ум}	Время							
					0	2	4	6	8	10	12	
		Общая сборка										
005	1	Установить привод	2,16									
	2	Припилить шпанку	1,2									
	3	Установить шпанку	0,52									
	4	Установить муфту	0,38									
	5	Распаковать подшипник	0,12									
	6	Установить подшипник	0,64									
	7	Установить шайбу	0,2									
	8	Навинтить гайку	0,52									
	9	Отогнуть цусик шайбы	0,32									
	10	Заполнить солидолом подшипниковый узел	0,12									
	11	Установить фланец	0,38	1,68								
	12	Собрать 4 винта	0,48									
	13	Ввинтить винты	2,08									
	14	Закрепить винты проволокой	1,16									
010	15	Контроль сборки	0,32									
	16	Контроль смазки	0,24									
		Узловая сборка										
		СЕ2-1 Сборка фланца										
005	1	Установить фланец	0,12									
	2	Установить прокладку	0,38									
	3	Навинтить на болт гайку	0,28									
	4	Ввинтить болт	0,32									

Рисунок 5.3 – Циклограмма сборки

Формирование операций сборки

Формирование операций производится по двум принципам:

- для поточного производства – по такту выпуска τ_v ;
- для непоточного – по специализации рабочих мест и по входящим сборочным единицам (узлам). Если трудоемкость сборки превышает такт выпуска τ_v , то ТП сборки разбивается на ряд параллельно выполняемых операций, штучное время которых равно или кратно такту выпуска (т.е. применяется поточная сборка, а сборочная линия становится специализированной, ориентированной только на выпуск данного изделия).

Формирование операций в этом случае происходит путем объединения переходов суммарная трудоемкость которых равна $(0,7 \div 0,9)\tau_v$. Переходы, объединенные в одну операцию, на циклограмме закрашиваются соответствующим цветом или штрихуются.

В условиях поточной организации производства операции синхронизируются по такту выпуска. Если операция является

специализированной (например, испытания или балансировка), то она может быть недогруженной.

При проектировании ТП сборки возможны варианты. Поэтому необходимо выбрать наиболее оптимальный из них. По техническому требованию ТП сборки должен полностью обеспечить выполнение всех требований рабочего чертежа и технических условий приемки изделия. По экономическому принципу сборка должна вестись с минимальными затратами труда и издержками производства. ТП сборки изделий необходимо выполнять с наиболее полным использованием технических средств производства при наименьшей себестоимости изделий.

Из нескольких возможных вариантов ТП сборки одного и того же изделия выбирают наиболее производительный и рентабельный вариант. При равной производительности выбирают наиболее рентабельный вариант, а при равных рентабельностях – наиболее производительный.

Оптимизация ТП заключается в том, что в заданный промежуток времени необходимо обеспечить выпуск потребного количества изделий заданного качества при возможно меньшей себестоимости изготовления. В простейшем случае оптимизируют отдельные (обычно лимитирующие) операции сборки. По установленным ограничениям определяют наиболее выгодные схемы построения операций и условия выполнения сборки. Более сложная задача – оптимизация ТП в целом, ее решают методом динамического программирования с учетом влияния предыдущих операций на последующие. Поэтому нельзя на каждой операции принимать такое решение, при котором эффективность этой операции будет наибольшей. При оптимизации ТП может изменяться не только содержание операций но и его структура. ТП сборки оптимизируют по различным целевым функциям, чаще для получения наименьшей себестоимости изготовления изделий. В других случаях целевыми функциями оптимизации могут быть наибольшая производительность и наивысшее качество продукции. Знание основных закономерностей построения ТП и использование математических методов позволяют находить оптимальные решения с помощью ЭВМ.

Для технико-экономической оценки различных вариантов ТП сборки применяют ряд критериев. Критерии для оценки спроектированных ТП сборки можно разбить на абсолютные и относительные. К абсолютным критериям относят:

1. Трудоемкость ТП сборки как сумма штучных времен по всем операциям сборки.
2. Технологическая себестоимость выполнения узловой и общей сборки одного изделия
3. Число единиц сборочного оборудования.
4. Число сборщиков.
5. Средний разряд сборщиков.
6. Энерговооруженность сборщиков.

К относительным критериям относят

1. Коэффициент трудоемкости сборочного процесса

2. Коэффициент себестоимости сборки
3. Коэффициент загрузки рабочих мест и поточной линии
4. Коэффициент совершенства сборочного процесса изделия
5. Показатель уровня автоматизации процесса сборки
6. Коэффициент оснащенности ТП сборки

Основными технологическими мероприятиями, повышающие технико-экономические показатели процессов сборки, являются замена в максимально возможной степени ручных операций механизированными; широкое применение сборочных и контрольных приспособлений; ликвидация технологических простоев путем соответствующего перераспределения технологических переходов сборки между операциями, автоматизация сборки.

Автоматизация сборки повышает качество изделий, производительность, улучшает условия труда и высвобождает большое количество рабочих, снижает себестоимость изделий и уменьшает потребные производственные площади. В основе этой работы должна лежать типизация ТП сборки.

5.4 Испытания машин

По окончании сборки необходимо установить ее качество — правильность соединения деталей, их взаимодействия между собой, герметичность внутренних объемов и др. С этой целью в сборочных цехах производят контроль и испытание собранных агрегатов. Требования, предъявляемые при контроле, должны соответствовать техническим условиям, установленным на приемку готовой продукции. После окончательного контроля собранное изделие регулируют и испытывают. Испытания готовых агрегатов делят на три вида — приемочные, контрольные и специальные.

Приемочные испытания дают возможность выявить правильность взаимодействия отдельных деталей и сборочных единиц, качество их изготовления, производительность, расход масла и т. д. Показателями неудовлетворительной работы машины являются перерасход топлива, нагрев подшипников, стук и шум в отдельных сборочных единицах и быстрый износ некоторых деталей и др.

Если в результате приемочных испытаний выявились недостатки в работе агрегата, то после их устранения проводят повторные испытания, называемые контрольными испытаниями.

Специальные испытания, служащие для проверки работы новой машины и отдельных ее узлов, проводят на специальных стендах, которые в процессе испытаний можно регулировать. Стенды должны быть оборудованы необходимыми приборами, нагрузочными тормозами, трубопроводами и т. д. Специальные испытания проводят в двух режимах — на холостом ходу и под нагрузкой.

Испытания на холостом ходу позволяют проверить взаимодействие частей агрегата и приработку отдельных его деталей. Агрегат устанавливают на стенд и приводят во вращение сначала на малой частоте, наблюдая за работой отдельных частей, смазочной системы, состоянием трущихся поверхностей..

Постепенно частоту вращения увеличивают до номинальной. Если агрегат работает нормально, испытания заканчивают.

Испытания под нагрузкой проводят с целью проверки эксплуатационных технических качеств машины. Их характер и продолжительность предусматриваются инструкционной картой. Во время испытаний наблюдают за температурой охлаждающей жидкости, давлением в смазочной системе, расходом топлива и т. д. Нагрузку в процессе испытаний постепенно изменяют, например, с помощью тормозного устройства, доводя ее значение до номинального.

Какие-либо незначительные дефекты, обнаруженные в процессе испытаний под нагрузкой, по возможности устраняют непосредственно на стенде; более существенные дефекты ликвидируют на специальном ремонтном стенде. После устранения дефектов машину возвращают на повторные испытания.

Отрегулированная и проверенная машина поступает в отдел технического контроля (ОТК), а затем — на отделочные операции.

5.5 Отделка собранного изделия. Консервация и упаковка.

Внешняя отделка и окраска машин является заключительной и весьма трудоемкой операцией общей сборки. Поверхность деталей перед окраской подвергают механической или химической очистке. Механическую очистку осуществляют с помощью дробеметных или пескоструйных аппаратов, пневматических молотков, пневматических или электрических шлифовальных машин, механических щеток. Химическую очистку производят с помощью растворов для травления, обезжиривания, фосфатирования в ваннах с паровым или электрическим подогревом. После очистки детали перед окраской промывают в моечных машинах, которые в ряде случаев оснащены и сушильными камерами.

Окраска предохраняет машины от коррозии и придает им декоративный вид. Процесс окраски состоит из очистки, обезжиривания, грунтования, шпаклевания, сушки шпаклеванных поверхностей и собственно окраски.

В зависимости от конкретных условий производства пользуются различными способами окраски.

1. Ручную окраску (кистью), отличающуюся высокой трудоемкостью, применяют в условиях единичного производства. При тщательном выполнении ручной окраски получают достаточно качественное покрытие.

2. Окраска распылением отличается от ручной большей производительностью и может применяться для нанесения защитных и декоративных покрытий на изделия различных габаритных размеров.

3. Окраска окунанием используется как правило, в серийном или массовом производстве. Этим способом окрашивают детали простой формы, окуная их в ванну и вынимая из нее. После стекания излишков краски деталь помещают в сушильную камеру.

4. Окраску обливанием применяют для крупногабаритных изделий с большой площадью поверхности. Этот способ может осуществляться как вручную, так и с использованием механизированного оборудования. Установка для механизированного обливания имеет камеру с форсунками, направляющими краску на обрабатываемую деталь, и резервуар под камерой для сбора стекающей краски, которая фильтруется и вновь поступает к форсункам.

5. Окраску в барабанах, колоколах, автоматах и других специальных установках применяют в массовом производстве. Этим способом окрашивают мелкие детали.

В промышленности наиболее распространенным способом нанесения лакокрасочных покрытий является окраска распылением. Оборудование, применяемое для окраски распылением, можно разделить на три основные группы: 1) установки компрессорно-воздушного распыления (рисунок 5.4); 2) установки безвоздушного распыления; 3) установки для распыления в электростатическом поле.

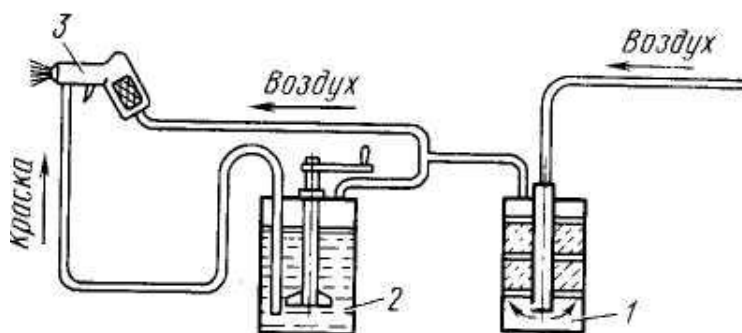


Рисунок 5.4 - Схема установки компрессорно-воздушного распыления:

1 — масло-влагоотделитель, 2 — резервуар для краски, 3 — краскораспылитель

Установка компрессорно-воздушного распыления (рисунок 5.4) состоит из резервуара 2 для лакокрасочного материала, масло-влагоотделителя 1, обеспечивающего очистку воздуха от влаги и масла, компрессора, подающего сжатый воздух (на схеме не показан), и краскораспылителя 3.

В установках безвоздушного распыления лакокрасочный материал подогревают до 70...100°C и под давлением 4,5...6 МПа подают к специальному распылительному устройству. По сравнению с пневматическим безвоздушное распыление позволяет улучшить качество окраски и снизить на 20...30 % (за счет снижения потерь на образование тумана) расход лакокрасочных материалов, а также растворителя.

Окрашивая изделия в электростатическом поле, краску вводят в пространство между наконечниками распылителя или системой проводников, соединенных с отрицательным полюсом источника тока высокого напряжения, и заземленным изделием. Мелкораспыленные нейтральные частицы краски, попадая в электрическое поле высокого напряжения, заряжаются отрицательно и направляются в сторону положительно заряженного изделия. Этот способ позволяет полностью механизировать технологический процесс окраски и улучшить его санитарно-гигиенические условия.

После окраски детали, сборочные единицы или машину подвергают сушке одним из следующих способов:

- разогретым до 55...220 °С воздухом в специальных камерах;
- лучистой энергией от специальных рефлекторов, в которых в качестве источника теплоты используют специальные лампы (производительность рефлекторной сушки в 3...5 раз превышает производительность сушки подогретым воздухом);
- токами высокой частоты (ТВЧ); способ применяют в массовом производстве;
- инфракрасным излучением; способ применяют для сушки деталей, покрытых цветными эмалями.

Выбор способа сушки зависит от условий производства и применяемых лакокрасочных материалов. Наибольшее распространение для сушки изделий получили конвекционные и терморегуляционные сушильные камеры.

В конвекционных сушильных камерах сушка производится при непосредственной передаче теплоты от циркулирующего горячего воздуха, нагреваемого паром, горячей водой или топочным газом. Поверхности изделия обдуваются горячей газовоздушной смесью, которая подается в сушильную камеру с помощью вентилятора.

В терморегуляционных сушильных камерах обогрев осуществляется за счет инфракрасного излучения. В качестве источников излучения используют: электролампы, имеющие форму сферических или параболических колб, внутренняя поверхность которых покрыта тонким слоем серебра; трубчатые электронагреватели (ТЭН) с алюминиевыми рефлекторами; панельно-клеточные нагреватели, в которых источником излучения является металлическая стенка, нагретая газовой горелкой или металлической спиралью.

Консервация и упаковка. Часто машины и агрегаты поступают в эксплуатацию не сразу после сборки, причем продолжительность периода до ввода в эксплуатацию может быть довольно значительной. Чтобы предохранить детали и сборочные единицы от коррозии в этот период, их подвергают консервации. Стандартом предусмотрены различные способы консервации, учитывающие конструктивные особенности машины, материал, из которого изготовлены ее детали, условия и сроки хранения, климатические и другие факторы. Основными из этих способов являются следующие:

- нанесение на всю или часть поверхности машины слоя смазки или ингибитора;
- упаковки в ингибиторную бумагу;
- помещение в атмосферу, насыщенную парами ингибитора;
- помещение в герметичный пленочный мешок с силикагелем или инертной атмосферой;
- упаковка в термоусаживаемую пленку.

Упаковка машины или ее частей служит для предохранения их от механических повреждений и атмосферных воздействий. Обычно для упаковки используют деревянные ящики, обитые внутри водонепроницаемой бумагой. Машины больших размеров отправляют потребителю в разобранном виде. При

решении вопроса о разборке необходимо учитывать наличие подъемно-транспортных средств - собственных и потребителя.

5.6 Организация работ на участке сборки. Планировка участка сборки

Организация работ на участке сборки зависит от целого ряда условий, в том числе организационной формы сборки, вида сборки, степени расчлененности технологического процесса на операции, степени механизации и автоматизации сборочного процесса и др.

На рисунке 5.5 представлена схема сборки изделия по бригадному методу /Покровский/. Этот метод применяется при стационарном виде сборки, часто для крупных изделий. Члены бригады специализируются на выполнении определенных сборочных операций, что позволяет использовать на сборке аналогичных изделий рабочих более низкой квалификации.

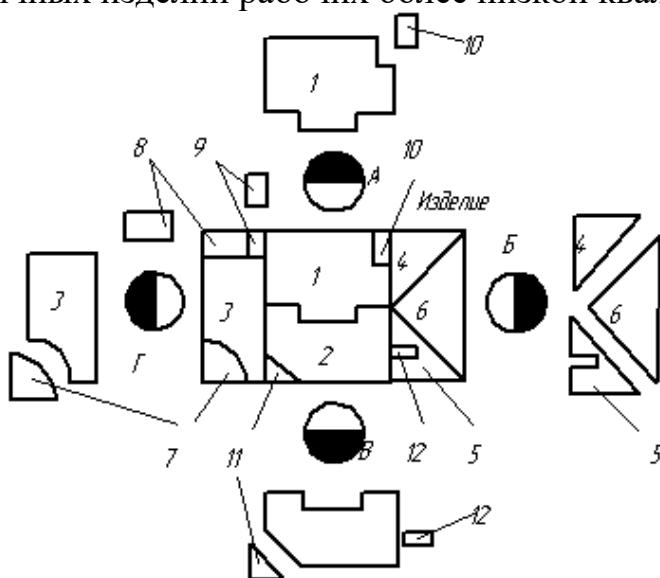


Рисунок 5.5 - Схема сборки изделия по бригадному методу: 1...12 - узлы и детали изделия; А, Б, В, Г – рабочие места.

Правильная организация рабочего места сборщика заключается в оснащении его высокопроизводительным оборудованием, приспособлениями и инструментами, необходимым инвентарем, подъемно-транспортными средствами и др. Планировка рабочего места слесаря-сборщика отличается большим разнообразием и зависит от характера производства. Один из типовых вариантов планировки рабочего места бригады слесарей-сборщиков для условий единичного и мелкосерийного производства показан на рисунке 5.6.

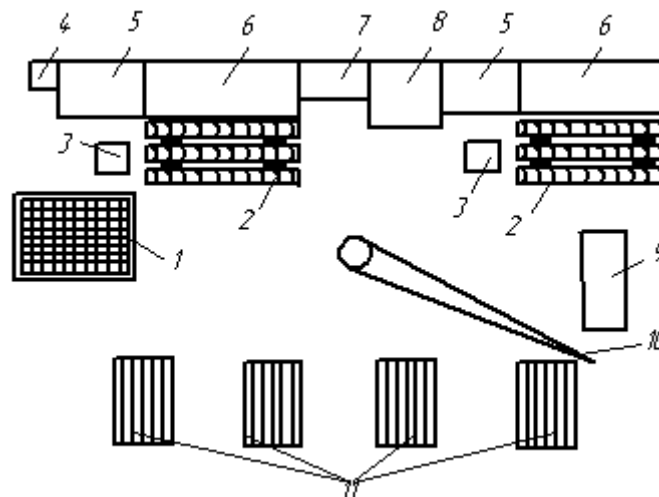


Рисунок 5.6 – Типовая планировка рабочего места бригады слесарей-сборщиков: 1 – подставка для деталей; 2 – решетки под ноги; 3 – подъемно-поворотные стулья; 4 – урна; 5, 11 – столы; 6 – слесарные двухтумбовые верстаки; 7 – двухсекционный шкаф; 8 – стол для технической документации; 9 – стеллаж; 10- консольно-поворотный кран.

При поточной организационной форме сборки технологический процесс может быть реализован с помощью специализированной поточной линии сборки. Расположение сборочных постов (станций) на такой линии осуществляется в порядке выполнения общей сборки (рисунок 5.7).

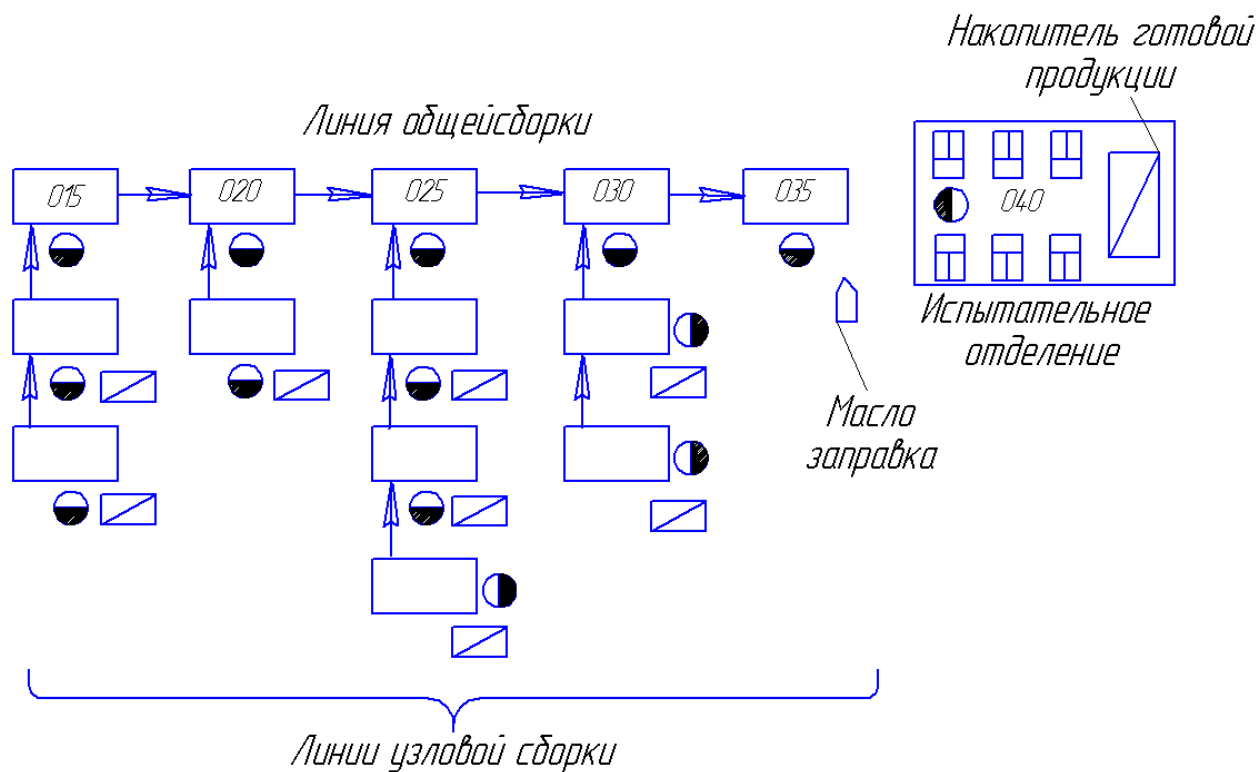


Рисунок 5.7 - Схема организации специализированной поточной линии сборки.

Перемещение собираемого изделия может осуществляться несколькими способами: на непрерывно движущемся конвейере; на конвейере с периодическим движением; последовательной передачей с помощью механических устройств; передачей вручную. В такую поточную линию сборки могут включаться кроме сборочных позиций средства межоперационного транспорта (конвейер, склиз, скат или ручная передача); места хранения комплектующих элементов (стеллажи); контрольно-регулирующая аппаратура; маслозаправочная станция; испытательные стенды; площадка (склад, накопитель) готовой продукции.

Если частный τ_b меньше трудоемкости общей сборки, то может быть организована многономенклатурная поточная линия сборки. Принцип организации такой линии подобен выше приведенному, но т.к. на линии собираются изделия не одного наименования, а нескольких возможно включение дополнительных постов, как общей так и узловой сборки которые не задействованы при сборке n-го наименования, но используются при сборке изделий других наименований.

Основное отличие участка непоточной сборки – наличие центрального комплектующего склада (ЦКС), на который изделие возвращается после выполнения каждой очередной операции (рисунок 5.8).

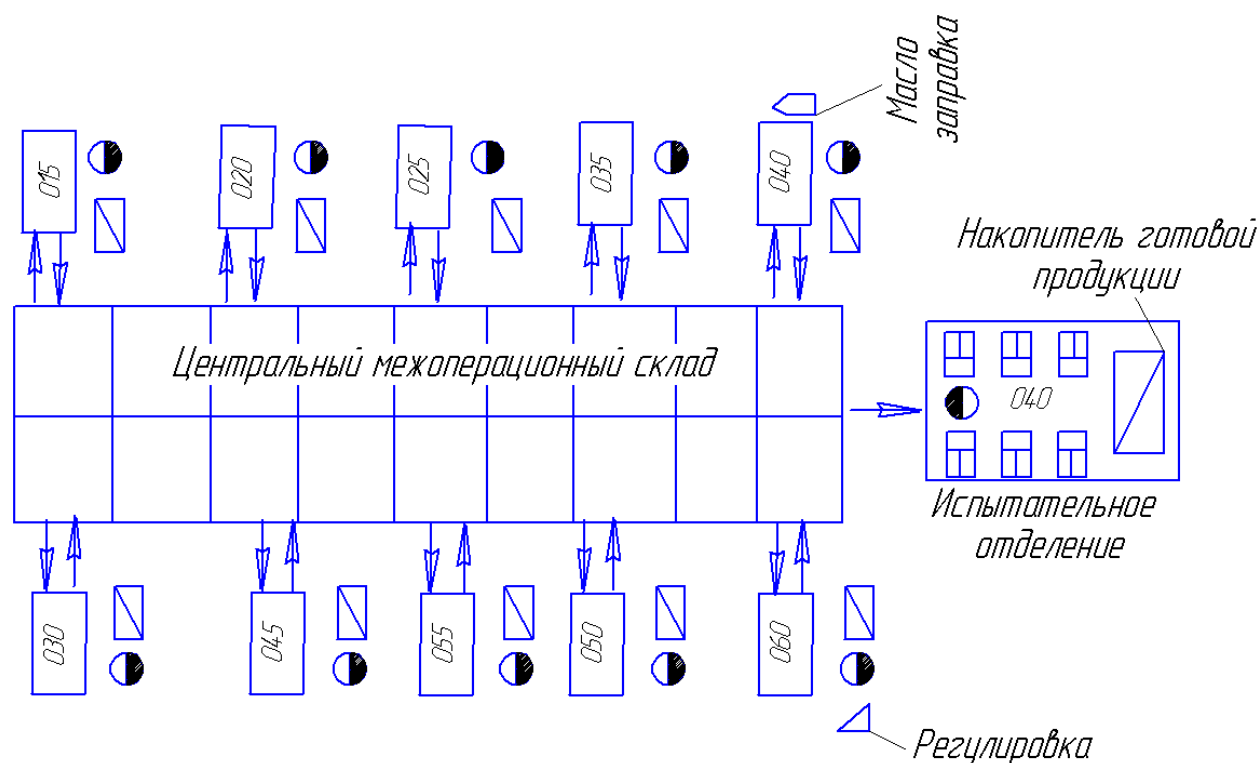


Рисунок 6.8 - Схема организации непоточной сборки

5.7. Технологическая документация на сборку изделий

Технологические карты сборки составляют на каждый отдельно собираемый узел (подгруппу, группу), а также общую сборку изделия. Для каждого рабочего места и сборочного поста в технологическую карту надо включать те операции, которые должны выполняться на этом посту.

Технологические карты сборки являются основными производственными документами, определяющими технологию сборки электроаппаратов. Они составляются на сборку узлов и всего аппарата.

Технологические карты сборки составляют на каждую операцию, Совокупность этих карт представляет собой технологический процесс сборки подгруппы, группы, изделия.

Технологические карты сборки составляют по установленным формам. Их снабжают эскизом, поясняющим содержание операции, с указанием номеров деталей и выдерживаемых при сборке размеров. Здесь же приводят технические условия на сборку. Операции и переходы вписывают в порядке очередности их выполнения.

При проектировании сборочных цехов единичного производства технологические карты сборки не разрабатываются, а составляют только операционные ведомости.

На основные и сложные узлы изделий составляют технологические карты сборки, в которых последовательно по каждой сборочной операции указывают: оборудование, инструмент и вспомогательные материалы; трудоемкость на узел, изделие и годовую программу; профессии и разряды рабочих. Здесь же указывают плотность работы. На другие узлы и общую сборку технологический процесс указывают в маршрутной ведомости.

Последовательность проектирования технологического процесса сборки сводится к разработке технологической схемы сборки, технологических карт сборки, производственных технологических карт контроля, индивидуальных, групповых и типовых процессов сборки, технологических инструкций.

Руководящими документами сборочного технологического процесса являются: сборочные чертежи узлов и механизмов, технические условия, схемы сборки, технологические схемы сборки, технологические карты сборки и др.

В серийном производстве технологический процесс сборки разрабатывается менее подробно, поэтому слесарям-сборщикам приходится иметь дело со сборочными чертежами. Составляемые в условиях серийного производства технологические карты сборки изделия содержат в себе многие данные по организационной подготовке сборочных работ. Например, в них указаны детали, подлежащие соединению, номера инструментов и приспособлений, применяемых при сборке. Таким образом, анализируя чертежи в условиях серийного производства слесарь-сборщик разбирает сравнительно небольшой круг вопросов. Это объясняется тем, что сборочные чертежи до поступления на сборку подробно анализируются в технических отделах завода и цеха во время проектирования технологического процесса сборки изделия. При этом многие вопросы, касающиеся организации и ведения сборочных работ, уже уточнены технологами, и слесарь только знакомится с результатами решения этих вопросов, которые указываются в технологическом процессе.

Технологическая карта сборки должна содержать: наименование узла; наименование цеха, отделения и места сборки; количество узлов на машину; номер узла; номер операции; содержание операции; сведения о деталях,

поступивших на данную операцию (номер деталей, количество); сведения об инструменте, приспособлениях и оборудовании для данной операции (наименование, индекс, количество) и норму времени. В технологической карте приводится эскиз сборки узла. Технологические карты сборки составляются на каждую сборочную единицу. Совокупность этих карт представляет собой технологический процесс сборки подгруппы, группы и изделия.

Карты сборки составляются для изделий всех видов производства. В них отражается последовательность и методы сборки, расчленение технологического процесса на отдельные операции. Данные об оформлении технологических карт сборки определяются типом и масштабом производства.