

ОСНОВЫ ТЕХНОЛОГИИ МАШИНОСТРОЕНИЯ

УЧЕБНИК И ПРАКТИКУМ ДЛЯ ВУЗОВ

Под общей редакцией **А. В. Тотая**

2-е издание, исправленное и дополненное

*Рекомендовано Учебно-методическим отделом высшего образования
в качестве учебника и практикума для студентов высших учебных
заведений, обучающихся по инженерно-техническим направлениям*

**Книга доступна на образовательной платформе «Юрайт» urait.ru,
а также в мобильном приложении «Юрайт.Библиотека»**

Москва ■ Юрайт ■ 2020

УДК 621(075.8)
ББК 34.4я73
О-75

Ответственный редактор:

Тотай Анатолий Васильевич — доктор технических наук, профессор, почетный работник высшего профессионального образования Российской Федерации, заведующий кафедрой безопасности жизнедеятельности и химии Брянского государственного технического университета.

Рецензенты:

Степанов Ю. С. — доктор технических наук, профессор, директор Научно-образовательного центра нанотехнологий Государственного университета — учебно-научно-производственного комплекса (г. Орел);

Ямников А. С. — доктор технических наук, профессор кафедры технологии машиностроения Тульского государственного университета, заслуженный деятель науки и техники Российской Федерации.

Основы технологии машиностроения : учебник и практикум для вузов / О-75 А. В. Тотай [и др.] ; под общей редакцией А. В. Тотая. — 2-е изд., испр. и доп. — Москва : Издательство Юрайт, 2020. — 300 с. — (Высшее образование). — Текст : непосредственный.

ISBN 978-5-534-12954-0

В учебнике представлены все основные разделы курса, обеспечивающие подготовку обучающихся к освоению отраслевых технологий обрабатывающих производств. Даны понятия и определения производственного процесса и характеристика машиностроительного производства, принципы проектирования технологических процессов сборки и их размерно-точностной анализ. Изложены теория базирования заготовок и причины возникновения погрешностей при обработке заготовок. Выделены основные направления технологического обеспечения качества поверхностного слоя деталей машин и способы улучшения их эксплуатационных свойств. Описаны вопросы проектирования процессов обработки для различных типов производств, способы их нормирования и оценки себестоимости изготовления продукции. Рассмотрены конкретные примеры расчетов, сформулированы задачи для самостоятельного решения и контрольные вопросы.

Соответствует актуальным требованиям Федерального государственного образовательного стандарта высшего образования.

Для студентов, обучающихся по программе прикладного бакалавриата по направлениям: «Автоматизация технологических процессов и производств», «Конструкторско-технологическое обеспечение машиностроительных производств», «Энергетическое машиностроение», «Техносферная безопасность», «Управление качеством».

УДК 621(075.8)

ББК 34.4я73

Разыскиваем правообладателей и наследников Горленко О. А.:

<https://urait.ru/info/search-for-copyright-holders>

Пожалуйста, обратитесь в Отдел договорной работы: +7 (495) 744-00-12; e-mail: expert@urait.ru

Все права защищены. Никакая часть данной книги не может быть воспроизведена в какой бы то ни было форме без письменного разрешения владельцев авторских прав.

© Коллектив авторов, 2015

© Коллектив авторов, 2018,
с изменениями

© ООО «Издательство Юрайт», 2020

ISBN 978-5-534-12954-0

Оглавление

Авторский коллектив	7
Предисловие	8
Введение.....	11
Глава 1. Основные понятия и определения.....	13
1.1. Изделие и его элементы	13
1.2. Производственный и технологический процессы	18
1.3. Характеристика машиностроительного производства.....	23
1.4. Технологичность конструкции изделий машиностроения.....	27
<i>Контрольные вопросы и задания.....</i>	<i>35</i>
Глава 2. Разработка технологического процесса сборки машин.....	36
2.1. Значение сборочных процессов в машиностроении.....	36
2.2. Размерно-точностной анализ в технологии сборки.....	40
2.2.1. Основные термины и определения	40
2.2.2. Методы обеспечения точности замыкающего звена размерной цепи	44
2.2.3. Выбор метода достижения точности замыкающего звена размерной цепи	53
2.3. Методика и последовательность проектирования технологических процессов сборки	62
<i>Контрольные вопросы и задания.....</i>	<i>67</i>
Глава 3. Базирование заготовок при механической обработке	69
3.1. Степень свободы при базировании	70
3.2. Классификация баз.....	72
3.3. Схемы базирования.....	76
3.4. Погрешности установки заготовки	85
3.5. Выбор технологических баз	91
<i>Контрольные вопросы и задания.....</i>	<i>93</i>
Глава 4. Технологическое обеспечение точности механической обработки.....	95
4.1. Общие положения	95
4.2. Погрешности обработки и факторы, влияющие на их формирование.....	97
4.2.1. Погрешности обработки, вызванные геометрическими погрешностями станка	98

4.2.2. Погрешности обработки, вызванные упругими деформациями технологической системы от силы резания.....	100
4.2.3. Погрешности обработки, вызванные размерным износом режущего инструмента	102
4.2.4. Погрешности обработки, вызванные температурными деформациями технологической системы	103
4.2.5. Погрешности обработки, вызванные неточностью мерного режущего инструмента и применяемой схемы обработки.....	106
4.2.6. Погрешность настройки технологической системы на выполняемый размер.....	107
4.2.7. Погрешности обработки, возникающие на станках с числовым программным управлением (ЧПУ)	109
4.3. Расчетно-аналитический метод определения суммарной погрешности обработки	110
4.4. Статистические методы исследования точности обработки.....	115
4.4.1. Применение методов теории выборок.....	115
4.4.2. Определение закона распределения показателей качества	119
4.4.3. Индексы воспроизводимости технологического процесса.....	122
4.4.4. Статистическое управление точностью заготовок при механической обработке.....	124
4.5. Экономическая точность обработки	127
4.6. Пути и резервы повышения точности механической обработки....	129
<i>Контрольные вопросы и задания.....</i>	<i>133</i>

Глава 5. Технологическое обеспечение качества

поверхностного слоя деталей машин 136

5.1. Формирование и строение технологического поверхностного слоя.....	137
5.2. Геометрические характеристики поверхностного слоя	140
5.3. Физико-химическое состояние поверхностного слоя.....	146
5.4. Взаимосвязь параметров качества поверхностного слоя с технологией обработки.....	154
5.5. Влияние качества поверхностного слоя на эксплуатационные свойства изделий	181
5.6. Понятие о технологической наследственности	189
5.7. Современный подход к технологическому обеспечению качества поверхностного слоя и эксплуатационных показателей деталей машин.....	190
<i>Контрольные вопросы и задания.....</i>	<i>193</i>

Глава 6. Припуски на механическую обработку 195

6.1. Формирование припусков на механическую обработку. Общие положения	195
6.2. Опытно-статистический метод определения припусков	198
6.3. Расчетно-аналитический метод определения припусков	205
<i>Контрольные вопросы и задания.....</i>	<i>208</i>

Глава 7. Основы технического нормирования	210
7.1. Общие положения	211
7.2. Структура технически обоснованной нормы времени	211
7.3. Технологическая себестоимость и методы ее определения	215
7.4. Установление квалификации работ производственного персонала при реализации технологического процесса	218
<i>Контрольные вопросы и задания</i>	220
Глава 8. Проектирование технологических процессов обработки заготовок	221
8.1. Основные этапы разработки технологических процессов	221
8.2. Принципы построения операций механической обработки	225
8.3. Размерный анализ технологических процессов механической обработки	228
8.3.1. Размерные связи, возникающие на этапе установки заготовки	228
8.3.2. Размерные связи, возникающие в процессе настройки станка	231
8.3.3. Размерный анализ технологических процессов	238
8.3.4. Особенности расчета размерных цепей, у которых замыкающим звеном является припуск на обработку	242
8.4. Типизация технологических процессов	244
8.5. Групповые технологические процессы	247
8.6. Основы модульных технологий	250
<i>Контрольные вопросы и задания</i>	252
Практикум по основам технологии машиностроения	253
1. Размерно-точностной анализ в технологии сборки	253
2. Расчет погрешности базирования	259
3. Технологическое обеспечение точности механической обработки	264
4. Взаимосвязь параметров качества поверхностного слоя с технологией обработки	268
5. Расчет припусков на механическую обработку	278
6. Основы технического нормирования	279
7. Размерный анализ технологических процессов механической обработки	285
Литература	289
Новые издания по дисциплине «Технология машиностроения» и смежным дисциплинам	291
Приложения	292

Авторский коллектив

Тотай Анатолий Васильевич — доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Безопасность жизнедеятельности и химия» Брянского государственного технического университета (предисловие; введение; гл. 5: 5.1—5.4, 5.6, 5.7; гл. 7; практикум: 4, 6);

Бишутин Сергей Геннадьевич — доктор технических наук, профессор кафедры «Автомобильный транспорт» Брянского государственного технического университета (гл. 4: 4.1—4.3, 4.5, 4.6; гл. 6; практикум: 3, 5);

Горленко Олег Александрович — доктор технических наук, профессор кафедры «Управление качеством, стандартизация и метрология» Брянского государственного технического университета (гл. 2: 2.2; гл. 3; гл. 4: 4.4; гл. 8: 8.3; практикум: 1, 2, 7; приложения);

Прокофьев Александр Николаевич — доктор технических наук, профессор кафедры «Технология машиностроения» Брянского государственного технического университета (гл. 2: 2.1, 2.3; гл. 8: 8.1, 8.2, 8.4—8.6);

Федонин Олег Николаевич — доктор технических наук, профессор, ректор Брянского государственного технического университета (гл. 1; гл. 5: 5.5; гл. 9: 9.4; практикум: 4).

Предисловие

Посвящается юбилею создания Брянского государственного технического университета.

Машиностроение является важнейшей отраслью промышленности, продукция которого должна обеспечивать все сферы народного хозяйства производительным, надежным и экономичным оборудованием.

В какой бы отрасли промышленности ни работал инженер-технолог, проектирование технологических процессов, инструментов и оснастки на высоком научном уровне требует глубоких знаний основ технологии машиностроения.

Одной из пострадавших отраслей народного хозяйства России в период перехода к рыночной экономике является машиностроение. В 90-е гг. XX столетия обрабатывающие производства практически не имели возможности обновления станочного парка, инструментальной и технологической оснастки. Резко сократился приток на предприятия выпускников вузов машиностроительного профиля, что наглядно выразилось в нарушении преемственности работников технологических служб, и к началу XXI столетия образовался острый дефицит специалистов, способных проектировать технологические процессы, отвечающие требованиям сегодняшнего дня.

Наметившаяся в последние годы тенденция к модернизации машиностроительного комплекса требует обеспечения технических вузов современной учебной литературой, отвечающей задачам подготовки специалистов технологических направлений.

Перечисленные предпосылки определили структуру и содержание данного учебника, в котором в достаточно компактной форме изложены базовые вопросы основ технологии машиностроения, освоив которые студент подготовлен к изучению отраслевых технологических дисциплин.

Представленный материал позволяет освоить основные компетенции дисциплины, рекомендуемые как стандартами третьего, так и четвертого поколения.

Большое внимание в учебнике уделено практическим примерам и заданиям для самостоятельного решения и освоения основ технологии машиностроения.

Поставленные в конце каждой главы контрольные вопросы и задания дают студенту возможность увереннее подготовиться к аттестации по данной дисциплине.

В результате изучения материала учебника «Основы технологии машиностроения» бакалавр должен:

знать

- основные понятия и определения элементов машиностроительного производства;
- теоретические основы размерно-точностного анализа сборочных процессов;
- правила базирования заготовок или изделий при выполнении технологических операций;
- методы технологического обеспечения точности механической обработки;
- закономерности формирования параметров состояния поверхностного слоя деталей машин и их влияния на эксплуатационные свойства изделий;
- принципы проектирования технологических процессов обработки заготовок;

уметь

- оценивать технологичность конструкций изделий;
- разрабатывать технологические процессы сборки изделий;
- выбирать базовые поверхности заготовок различных классов деталей;
- применять статистические методы анализа точности обработки;
- прогнозировать геометрические и физико-механические характеристики поверхностного слоя деталей машин после различных технологических методов обработки;
- рассчитывать припуски на обработку технологических поверхностей;
- разрабатывать технологические процессы механической обработки деталей для различных типов производств;

владеть

- количественными методами определения типа машиностроительного производства;
- способами расчета погрешностей базирования и установки;
- навыками технологического обеспечения эксплуатационных показателей деталей машин;
- методами нормирования технологических операций.

Издание учебника подготовлено в соответствии с актуальными требованиями Федерального государственного образовательного стандарта высшего образования (ФГОС ВО 3+) для студентов бакалавриата по направлениям подготовки: «Автоматизация технологических процессов и производств», «Конструкторско-технологическое

обеспечение машиностроительных производств», «Энергетическое машиностроение», «Техносферная безопасность», «Управление качеством».

Настоящий учебник написан коллективом авторов Брянской научной технологической школы, основанной профессором Э. В. Рыжовым на рубеже 60—70-х гг. XX столетия и, как мы надеемся, внесет определенный вклад в развитие технологии машиностроения и будет способствовать подготовке квалифицированных специалистов для отечественной промышленности.

Введение

Развитие технологии машиностроения как науки происходило параллельно с совершенствованием искусства металлообработки в течение последних трех столетий.

Технология (греч. *techne* — искусство, мастерство; *logos* — наука, учение) **машиностроения** — это наука об изготовлении машин требуемого качества, количества в заданные сроки при наименьшей себестоимости.

Русским механиком М. В. Сидоровым в 1711 г. на Тульском оружейном заводе был создан станок для сверления оружейных стволов. В тот же период А. К. Нартов изобрел суппорт для токарного станка и первый зуборезный станок.

К тому же времени относится деятельность гениального русского ученого М. В. Ломоносова (1711—1765), который спроектировал и изготовил сферотокарный и шлифовальный станки. Изобретатель паровой машины И. И. Ползунов (1728—1764) смастерил расточной станок.

Начало изучению способов обработки заготовок, обеспечивающих получение готового изделия, положил в 1804 г. академик В. М. Саверин. Он сформировал фундаментальные положения о технологии и определил ее как науку о ремеслах и заводах.

В 1819 г. профессором Московского университета И. А. Двигубским была издана книга «Начальные основания технологии, как краткое описание работ на заводах».

Профессором И. А. Тиме в 1885 г. выпущен в свет капитальный трехтомный труд «Основы машиностроения», в котором сформулированы основные положения о резании металлов, многие из которых считаются справедливыми до наших дней. В труде профессора А. П. Гавриленко «Технология металлов» изложены теоретические основы технологии металлообработки.

Из зарубежных ученых XIX столетия следует отметить К. Кармаша, который опубликовал труды «Введение в механическое учение технологии», «Основы механической технологии» и «Справочник по механической технологии».

Американец Ф. У. Тейлор в работе «Искусство обработки металлов» сформулировал ряд важных положений по механической обработке резанием (1900).

Формирование современного состояния научных основ технологии машиностроения началось в 30-е гг. XX столетия и продолжает развиваться благодаря трудам отечественных и зарубежных ученых: Б. С. Балакшина, Б. М. Базрова, А. М. Дальского, П. Е. Дьяченко, М. Е. Егорова, В. С. Корсакова, В. М. Кована, И. М. Колесова, А. А. Маталина, С. П. Митрофанова, Э. В. Рыжова, А. П. Соколовского, Э. А. Сателя, Ю. М. Соломенцева, А. Г. Сулова, П. И. Ящерицина, Г. Ф. Мичелетти, Г. Опитца, Я. Пекленика, Т. Сата, Г. Шпура и других.

Поставленные в последние годы руководством государства задачи по модернизации всего народнохозяйственного комплекса и созданию 25 млн высокотехнологичных рабочих мест невозможно решать без подъема уровня машиностроения. Достижению этой цели должно способствовать обеспечение притока инженерных кадров, вооруженных современными знаниями способов изготовления машин, не уступающих своими техническими характеристиками лучшим мировым образцам.

Глава 1

ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ

После изучения данной главы студент должен:

знать

- определение изделия машиностроительной продукции и его элементов;
- характеристику производственного и технологического процесса;
- различия между такими понятиями, как объем выпуска, программа выпуска и производственная партия;
- количественные методы определения типа машиностроительного производства;

- определения технологической операции и ее составляющих;

уметь

- формулировать основные особенности поточного производства;
- рассчитывать такт и ритм для условий крупносерийного и массового производства;

- давать характеристику гибким производственным системам;

владеть

- методами описания структуры различных технологических операций;
 - принципами выбора технологического оснащения для различных типов машиностроительного производства.
-

1.1. Изделие и его элементы

Создание машины как изделия машиностроительного предприятия является результатом сложного производственного процесса, в течение которого материалы и полуфабрикаты, поступающие на предприятие, становятся отдельными элементами (детальями), которые затем собираются.

Элементы машины между собой (сборка) соединяются различными способами, выбор которых зависит от конструкции машины и объема выпуска. Сборка заключается в соединении первичных элементов машины (деталей) в сборочные единицы (узлы) и в окончательном сборе всех элементов (деталей и узлов). Названия конструктивных элементов изделий определяет ГОСТ 2.101—68.

Изделием называется продукт конечной стадии любого машиностроительного производства. Изделием может быть любая машина, заготовка, деталь или узел (сборочная единица) в зависимости от того, что является объектом данного производства.

В зависимости от назначения их делят на изделия основного производства и изделия вспомогательного производства.

К изделиям основного производства следует относить изделия, предназначенные для поставки (реализации). К изделиям вспомогательного производства следует относить изделия, предназначенные только для собственных нужд предприятия (оснастка, инструмент и т. п.).

Изделия, предназначенные для поставки (реализации) и одновременно используемые для собственных нужд предприятием, изготовляющим их, следует относить к изделиям основного производства.

Устанавливаются следующие виды изделий:

- машина;
- заготовка;
- деталь;
- сборочная единица;
- комплекс;
- комплект.

Виды изделий и их структура представлены на рис. 1.1. Изделия, в зависимости от наличия или отсутствия в них составных частей, делят:

- на неспецифицированные (детали) — не имеющие составных частей;
- специфицированные (сборочные единицы, комплексы, комплекты) — состоящие из двух и более составных частей.

Машина — это механизм или сочетание механизмов, осуществляющих целенаправленные движения для преобразования энергии или производства работ. Практически все машины в настоящее время являются мехатронными системами. Производство механической части этих систем является объектом машиностроительных предприятий, электронной части — предприятий электронной промышленности.

Заготовкой в машиностроительном производстве является изделие, используемое для изготовления детали.

Деталь — это изделие, характерным признаком которого является отсутствие в нем разъемных или неразъемных соединений (например, вал, шестерня, корпус, державка резца и т. д.).

У каждой детали, предназначенной для сборки, имеются *сопрягающиеся и несопрягающиеся поверхности*. Сопрягающиеся поверхности при сборке соприкасаются с поверхностями других деталей, образуя соответствующие сопряжения.

Сопрягающиеся поверхности, служащие для присоединения к данной детали других деталей, называются *вспомогательными базами* (например, направляющие станины, на которые устанавли-

вается передняя бабка, опорная плоскость державки под режущую пластинку и т. д.).

Поверхности, имеющие назначение выполнять некоторые рабочие функции, называются *функциональными* (исполнительными или рабочими) — например, боковая поверхность зуба зубчатого колеса, направляющие станков.



Рис. 1.1. Виды и структура некоторых изделий

Базовые детали — это детали, выполняющие в узле роль соединительного звена, обеспечивающего при сборке соответствующее относительное положение других деталей (например, станина станка, рама автомобиля, державка резца и т. д.).

Сборочная единица (узел) — это часть изделия, которая собирается отдельно и в дальнейшем участвует в процессе сборки как одно целое (например, задняя бабка токарного станка).

Сборочные единицы (узлы), в процессе общей сборки непосредственно входящие в изделие, называются сборочными единицами 1-го порядка (например, передняя бабка токарного станка).

Сборочные единицы, входящие в сборочную единицу 1-го порядка, называются сборочными единицами 2-го порядка и т. д. (например, шпиндельный узел передней бабки).

Отдельные детали могут входить в сборочные единицы любого порядка или непосредственно в собираемое изделие (например, болты).

Структура изделия схематично представлена на рис. 1.2.

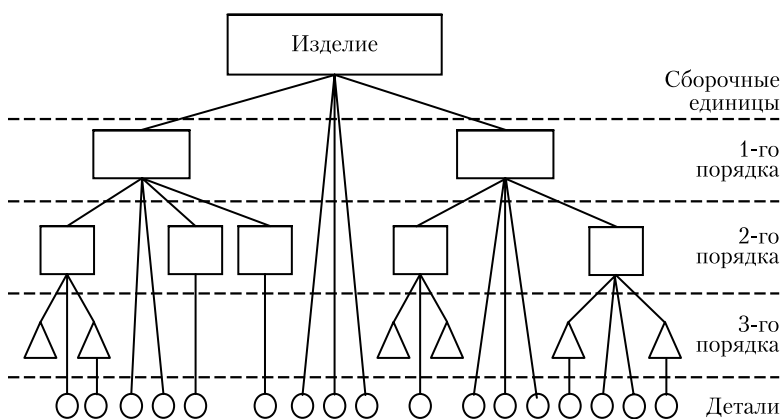


Рис. 1.2. Технологическая схема изделия

Пример 1.1

Рассмотрим в качестве изделия машиностроения грузовой автомобиль (рис. 1.3). Сборочной единицей 1-го порядка в таком изделии является, например, двигатель внутреннего сгорания (рис. 1.4), соединяемый с рамой автомобиля в ходе общей сборки. Двигатель внутреннего сгорания также состоит из ряда сборочных единиц. Например, такой сборочной единицей 2-го порядка является шестеренный насос системы смазывания двигателя, который прикручивается болтами к блоку цилиндров двигателя снизу.

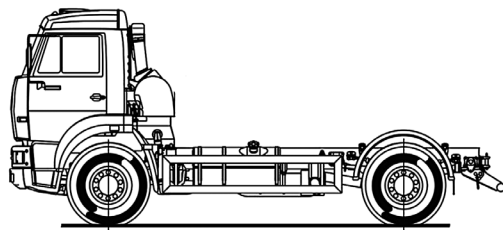


Рис. 1.3. Изделие машиностроения — грузовой автомобиль

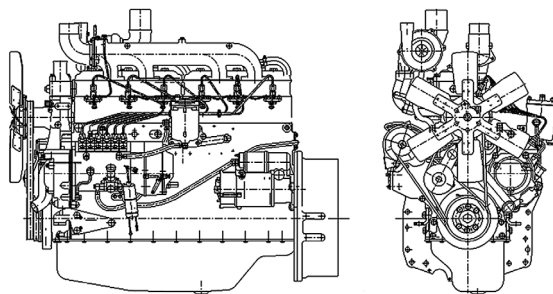


Рис. 1.4. Двигатель внутреннего сгорания — сборочная единица 1-го порядка грузового автомобиля

Шестеренный насос заставляет циркулировать масло в системе, обеспечивая его подачу к парам трения двигателя. Он состоит из деталей и может иметь сборочные единицы (рис. 1.5).

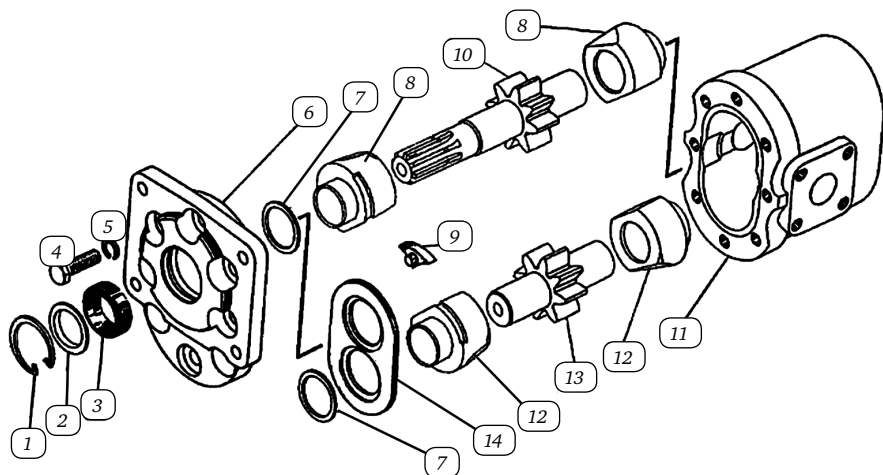


Рис. 1.5. Детали и сборочные единицы шестеренного насоса двигателя автомобиля:

- 1 — кольцо пружинное; 2 — кольцо опорное; 3 — манжета; 4 — болт;
 5 — шайба; 6 — крышка насоса; 7 — кольцо; 8 — втулка правая;
 9 — уплотнение; 10 — шестерня ведущая; 11 — корпус;
 12 — втулка левая; 13 — шестерня ведомая; 14 — двойная манжета

Базовой деталью шестеренного насоса является его корпус. Если ведомая и ведущая шестерни насоса будут иметь соединения с валами и на сборку подаваться в собранном виде, то они будут являться сборочными единицами 3-го порядка.

Сборочные единицы могут быть конструкторскими, технологическими и конструкторско-технологическими.

Конструкторская сборочная единица — это единица, спроектированная лишь по функциональному принципу без учета технологии сборки (например, механизм привода суппорта).

Технологическая сборочная единица или узел — это сборочная единица, которая может собираться отдельно от других частей изделия (например, консоль фрезерного станка).

Конструкторско-технологическая сборочная единица (агрегат) — это единица, которая отвечает условию функционального назначения ее в изделии и условию самостоятельной независимой сборки (насос, коробка передач, агрегатная головка).

Наилучшим вариантом конструкции любой машины является (если она состоит из конструкторско-технологических сборочных единиц и нормализованных деталей) ее агрегатирование или модульное построение. Машина, спроектированная по агрегатному (модульному) принципу, несомненно, будет конкурентоспособной,

так как обладает лучшими технико-экономическими показателями как при изготовлении, так и в эксплуатации и ремонте.

Каждая сборочная единица включает в себя определенные виды соединения деталей. По возможности относительного перемещения составных частей соединения подразделяются на подвижные и неподвижные. По сохранению целостности при сборке соединения подразделяются на разъемные и неразъемные. Соединение считается разъемным, если при его разборке сохраняется целостность составных частей, и неразъемным, если при разборке его составные части повреждаются и их целостность нарушается.

Комплекс — это два и более специфицированных изделия, не соединенных на предприятии-изготовителе сборочными операциями, но предназначенных для выполнения взаимосвязанных эксплуатационных функций.

Каждое из изделий, входящих в комплекс, служит для выполнения одной или нескольких основных функций, установленных для всего комплекса, например, цех-автомат; завод-автомат; автоматическая телефонная станция; бурильная установка; изделие, состоящее из метеорологической ракеты, пусковой установки и средств управления; корабль.

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 запасных частей, укладочных средств, тары и др.

Комплект — это 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 инструмента и принадлежностей, комплект измерительной аппаратуры, комплект упаковочной тары и т. п. К комплектам также относят сборочную единицу или деталь, поставляемую вместе с набором других сборочных единиц и (или) деталей, предназначенных для выполнения вспомогательных функций при эксплуатации этой сборочной единицы или детали, например, осциллограф в комплекте с укладочным ящиком, запасными частями, монтажным инструментом, сменными частями.

1.2. Производственный и технологический процессы

Производственный процесс представляет собой совокупность всех действий людей и орудий производства, необходимых на дан-

ном предприятии для изготовления или ремонта выпускаемых изделий.

В него включаются все действия по изготовлению деталей и сборке сборочных единиц и машин, контролю их качества, хранению и перемещению на всех стадиях изготовления, организации снабжения и обслуживания рабочих мест, участков, цехов и предприятия в целом, управления всеми звеньями производства, а также все работы по технической подготовке производства.

Например, если на машиностроительном предприятии имеется производство судовых дизелей, железнодорожных вагонов и магистральных тепловозов, то на данном предприятии реализуются три производственных процесса.

Одним из основных элементов производственного процесса является технологический процесс. В соответствии с ГОСТом 3.1109—82 «ЕСТД. Термины и определения основных понятий» под **технологическим процессом** (ТП) понимается часть производственного процесса, содержащая целенаправленные действия по изменению и (или) определению состояния предмета труда.

На машиностроительных предприятиях реализуются технологические процессы литья, сварки, штамповки, механической обработки, сборки, окраски, испытаний, контроля и др.

По ГОСТу Р 50-54-93-88 «ЕСТПП. Рекомендации. Классификация, разработка и применение технологических процессов» работы по созданию технологических процессов предусматривают определение серийности производства; анализ исходных данных; в зависимости от серийности производства и исходных данных подбор действующего типового, группового, модульного технологического процесса или поиск аналога единичного процесса; выбор исходной заготовки и методов ее изготовления; выбор технологических баз; составление технологического маршрута обработки; разработку технологических операций; выбор средств технологического оснащения (СТО); определение потребности в СТО, при необходимости их проектирование, производство и заказ; выбор средств механизации и автоматизации технологического процесса и внутренних средств транспортирования; назначение и расчет режимов обработки; нормирование; определение требований, обеспечивающих безопасность технологических процессов; расчет экономической эффективности; оформление технологической документации.

Под средствами технологического оснащения понимаются оборудование и технологическая оснастка, в том числе для контроля и испытаний.

Технологические процессы классифицируются на единичный, типовой и групповой.

Единичный ТП разрабатывается индивидуально на конкретное изделие.

Типовой ТП создают для группы изделий, обладающих общими конструктивными и технологическими признаками (валы, зубчатые колеса, рычаги и т. д.).

Групповой ТП — это технологический процесс изготовления группы изделий с разными конструктивными, но общими технологическими признаками (детали, обрабатываемые на токарных станках, детали, обрабатываемые на фрезерных станках, и т. д.).

Развитием типового и группового ТП является *модульный технологический процесс*, который базируется на единстве технологических методов обработки элементарных поверхностей (модулей) различных деталей.

Важнейшим элементом производственного процесса является его *техническая подготовка*, которая включает в себя конструкторскую подготовку, технологическую подготовку и календарное планирование производства.

Конструкторская подготовка производства — это разработка конструкции изделия и создание чертежей общей сборки изделия, сборочных элементов и отдельных деталей изделий, запускаемых в производство с оформлением соответствующих спецификаций и других видов конструкторской документации.

Под *технологической подготовкой* производства понимается совокупность взаимосвязанных процессов, обеспечивающих технологическую готовность предприятий к выпуску изделий заданного уровня качества при установленных сроках, объеме выпуска и затратах.

К технологической подготовке производства относится обеспечение технологичности конструкции изделия, разработка технологических процессов, проектирование и изготовление средств технологического оснащения (режущий, измерительный инструмент, приспособления, станды), управление процессом технологической подготовки производства, технологическая подготовка технической реконструкции производства. Для регламента работы по технологии существует единая система технологической подготовки производства (ЕСТПП)¹.

Технологическая подготовка наиболее ответственная и трудоемкая часть технической подготовки производства. Ее трудоемкость составляет 30—40 % для единичного производства, 40—50 % при серийном и 50—60 % при массовом производстве от трудоемкости общей подготовки производства.

Так, трудоемкость конструирования станка — 90 тыс. чел.-ч, проектирования техпроцессов и оснастки — 160 тыс. чел.-ч, конструирования паровой турбины — 82 тыс. чел.-ч, проектирования техпроцессов и оснастки — 207 тыс. чел.-ч, гусеничного трактора,

¹ ГОСТ 14.004—83 «Технологическая подготовка производства».

соответственно, 125 тыс. чел.-ч, 620 тыс. чел.-ч, дизеля — 110 тыс. чел.-ч, 180 тыс. чел.-ч и т. д.

Календарное планирование производственного процесса предусматривает возможности изготовления изделия в установленные сроки, в необходимых объемах выпуска и при определенных затратах.

Технологический процесс разбивается на технологические операции.

Технологической операцией называется законченная часть технологического процесса, выполняемая на одном рабочем месте одним или несколькими рабочими.

При обработке заготовок операция включает все действия рабочего, управляющего станком, а также автоматические движения узлов станка, осуществляемые в процессе обработки поверхностей заготовки до момента снятия ее со станка и перехода к обработке другой заготовки. При этом вместо одной заготовки может быть установлено для одновременной обработки несколько заготовок.

Операция является основной частью технологического процесса в организационном отношении. По операциям определяют трудоемкость процесса, необходимое количество производственных рабочих и его материально-техническое обеспечение (оборудование, приспособления, инструмент).

Операции нумеруют арабскими цифрами и называют в зависимости от применяемого оборудования. Например, токарно-винторезная, горизонтально-фрезерная, зубодолбежная, радиально-сверлильная, плоскошлифовальная, суперфинишная, полировальная и др.

Операция может выполняться за один или несколько установов.

Установ — часть технологической операции, выполняемая при неизменном закреплении обрабатываемых заготовок или собираемой сборочной единицы.

Установы на карте обозначают прописными буквами русского алфавита, например, **А, Б, В** и т. д., причем каждая новая операция начинается с установка «А».

Установы обозначают прописными буквами русского алфавита. Например, установ А, установ Б, установ В и т. д. Если технологическая операция выполняется за один установ, то его не указывают.

Обрабатываемая заготовка или собираемый узел, находясь в приспособлении, могут менять свое положение относительно рабочих элементов оборудования, занимая различные позиции.

Позицией называется фиксированное положение, занимаемое неизменно закрепленной обрабатываемой заготовкой или собираемой сборочной единицей совместно с приспособлением отно-

сительно инструмента или неподвижной части оборудования при выполнении определенной части операции.

Позиции обозначают римскими цифрами на карте. Например, **позиция I**, **позиция II** и т. д. Если в структуре технологической операции присутствует только одна позиция, то ее не нумеруют.

Операция обычно выполняется за один или несколько переходов. Переходы бывают технологические и вспомогательные.

Технологическим переходом называется законченная часть технологической операции, выполняемая одними и теми же средствами технологического оснащения при постоянных технологических режимах и установке.

Переходы обозначают арабскими цифрами. Например, переход 1, переход 2 и т. д.

Если обработка различных поверхностей заготовки ведется одновременно несколькими режущими инструментами, то это считается одним технологическим переходом.

Технологический переход может осуществляться за один или несколько ходов. Ход может быть рабочим и вспомогательным.

Рабочий ход — законченная часть технологического перехода, состоящая из однократного перемещения инструмента относительно заготовки, сопровождаемого изменением формы, размеров, поверхности или свойств заготовки.

Наряду с технологическими переходами составной частью технологической операции являются вспомогательные переходы.

Вспомогательный переход — законченная часть технологической операции, состоящая из действий человека и (или) оборудования, которые не сопровождаются изменением формы, размеров и поверхностей, но необходимы для выполнения технологического перехода.

Например, установка и закрепление заготовки, смена инструмента и т. д.

Также составной частью перехода является вспомогательный ход.

Вспомогательный ход — законченная часть перехода, состоящая из однократного перемещения инструмента относительно заготовки, не сопровождающегося изменением формы, размеров, шероховатости поверхности или свойств заготовки, но необходимого для выполнения рабочего хода, например подвод инструмента, отвод инструмента и т. д.

Пример 1.2

У ступенчатого вала происходит обработка двух торцовых поверхностей и сверление в них двух центровых отверстий (рис. 1.6). Такую обработку можно провести на токарно-винторезном и фрезерно-центровальном станках. Какая будет структура у этих технологических операций?

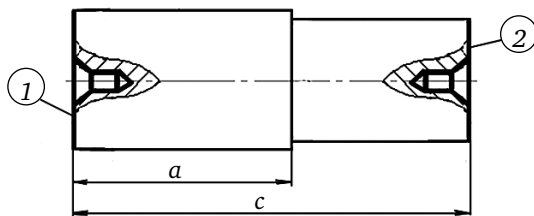


Рис. 1.6. Заготовка ступенчатого вала:

1, 2 — торцы; a , c — длины ступеней вала

На токарно-винторезном станке указанная обработка вала может происходить следующим образом: установка заготовки в патроне за одну из обработанных ступеней вала с упором в торец; подрезка резцом свободного торца; центрование этого торца центровочным сверлом; снятие заготовки и установка ее в патроне за другую ступень с упором в обработанный торец; подрезка оставшегося торца и его центрование. В этом случае структура токарно-винторезной операции будет следующей:

Установ «А».

Переход 1: подрезать торец 1.

Переход 2: центровать торец 1.

Установ «Б».

Переход 3: подрезать торец 2.

Переход 4: центровать торец 2.

На фрезерно-центровальном станке обработка поверхностей вала происходит следующим образом: установка заготовки в приспособлении станка; перемещение заготовки совместно с приспособлением в рабочую позицию станка; одновременное фрезерование торцов заготовки; перемещение заготовки совместно с приспособлением в рабочую позицию станка; одновременное центрование торцов заготовки.

Структура фрезерно-центровальной операции следующая:

Позиция I.

Переход 1: фрезеровать торцы 1 и 2 одновременно.

Позиция II.

Переход 2: центровать торцы 1 и 2 одновременно.

Таким образом, в структуре токарно-винторезной операции присутствуют два установка и четыре технологических перехода, в структуре фрезерно-центровальной операции — два технологических перехода, выполняемых в двух позициях.

1.3. Характеристика машиностроительного производства

Совокупность времени от начала производства заготовок до испытания изделия называется **производственным циклом** изготовления изделия.

В зависимости от объемов и сложности выпускаемых изделий по ГОСТу 14.004—83 производство подразделяется на единичное, серийное (мелкосерийное, среднесерийное, крупносерийное) и массовое.

Под *единичным производством* понимается выпуск несложных изделий в малых объемах (от одного до нескольких десятков). Единичное производство характеризуется многономенклатурностью изготавливаемых или ремонтируемых изделий.

Для единичного производства характерно:

- а) универсальное оборудование и технологическая оснастка, на рабочих местах выполняются разнообразные технологические операции;
- б) заготовки невысокой точности и с большими припусками;
- в) маршрутная технология и повременная оплата труда;
- г) требуемая точность деталей достигается методом пробных ходов и промеров, а сборочных единиц — методом пригонки.

Под *серийным производством* изделий, деталей или заготовок понимается периодическое изготовление сериями с определенным числом.

В зависимости от числа изделий, деталей или заготовок в серии производство условно делят на мелко-, средне- и крупносерийное.

Серийное производство характеризуется:

- а) универсальным, с числовым программным управлением (ЧПУ) и специализированным оборудованием;
- б) нормальным и специальным режущим и измерительным инструментом;
- в) применением приспособлений и частичной разметки;
- г) внедрением взаимозаменяемости и частичного или полного сокращения пригоночных работ;
- д) нормированными припусками;
- е) разрабатываемым технологическим процессом вплоть до отдельных элементов (операционный или маршрутно-операционный техпроцесс);
- ж) наличием технического нормирования.

Под *массовым производством* изделий, деталей или заготовок понимается изготовление их в массовых количествах по неизменяемым чертежам в течение длительного промежутка календарного времени.

Характерными особенностями массового производства являются:

- а) выполнение на каждом рабочем месте только одной закрепленной за ним непрерывно повторяющейся операции;
- б) широкое применение специальных и специализированных станков, автоматов, автоматических линий, роторных и роторно-конвейерных станков;

- в) применение высокопроизводительных приспособлений специального назначения;
- г) наличие полной взаимозаменяемости и отсутствие разметки;
- д) технологический процесс разрабатывается подробно, и рассчитываются технически обоснованные нормы времени.

Тип производства может быть определен по коэффициенту серийности K_c или коэффициенту закрепления операций $K_{з.о}$.

$$K_c = \frac{T_B}{T_{шт. ср}}, \quad (1.1)$$

где T_B — такт выпуска; $T_{шт. ср}$ — среднее штучное время на операцию (подробнее рассматривается в гл. 7).

$$T_{шт. ср} = \frac{\sum_{i=1}^n T_{шт. i}}{n} \quad (1.2)$$

где $T_{шт. i}$ — штучное время, необходимое для выполнения i -й технологической операции; n — число технологических операций.

Если $K_c < 1$, то производство при данном действительном фонде времени F_d не в состоянии выпустить требуемое число изделий в год. Необходимо увеличить F_d за счет 2—3-сменной работы или производительности труда; при $K_c = 1 \dots 2$ — массовое производство; при $K_c = 2, 1 \dots 10$ — крупносерийное производство; $K_c = 10, 1 \dots 20$ — среднесерийное производство; $K_c > 20, 1 \dots 40$ — мелкосерийное производство; $K_c > 40$ — единичное производство.

Коэффициент закрепления операций рассчитывается по формуле

$$K_{з.о} = \frac{O}{P}, \quad (1.3)$$

где O — число всех технологических операций, необходимых для выпуска изделия; P — число рабочих мест или технологического оборудования, используемого для производства изделия.

На одном и том же заводе, нередко даже в одном и том же цеху, одни изделия изготавливаются единично, другие — мелкими или средними партиями. В данном случае тип производства определяется по преобладающим изделиям.

По организации производственные процессы делятся на два вида: поточный и непоточный.

Под *поточным* видом организации производственного процесса понимается такой его вид, при котором заготовки, детали или собираемые изделия в процессе их производства находятся в периодическом движении с постоянной величиной такта. Это значит, что поступившая на первую операцию заготовка сразу же после окончания операции передается на вторую, после окончания второй —

на третью и т. д. до последней операции, после окончания которой готовая деталь сразу подается на сборку. Штучное время обработки заготовки на каждой операции равно или кратко такту. На сборку детали поступают через равные промежутки времени.

Исторический экскурс

Первые поточные производства были освоены в США на автомобильных заводах более 100 лет назад. Этот тип организации производства потребовал децентрализовать технологический процесс сборки на множество мелких операций и связать потоком деталей разные рабочие места.

Такой подход дал следующие результаты:

- существенно снизились трудоемкость и сложность на каждой отдельной технологической операции;
- практически до нуля сократилось время пролеживания деталей в местах промежуточного складирования;
- высокая скорость движения потока собираемых изделий задавала темп изготовления деталей, что сделало производство более ритмичным и организованным.

Для поточного производства важнейшей характеристикой является *производственный такт* T_B — время между выпусками двух промежуточных изделий:

$$T_B = \frac{F_D \cdot 60}{N}, \quad (1.4)$$

где F_D — действительный годовой фонд времени работы технологического оборудования, используемого для производства изделия в час; N — годовая программа выпуска изделий.

Пример 1.3

Для изготовления детали требуется выполнение пяти технологических операций. Нормы штучного времени для выполнения этих операций следующие: $T_{шт.1} = 55$ мин; $T_{шт.2} = 40$ мин; $T_{шт.3} = 25$ мин; $T_{шт.4} = 60$ мин; $T_{шт.5} = 45$ мин. Годовая программа выпуска деталей $N = 2000$ шт. Действительный годовой фонд времени работы технологического оборудования, используемого для выполнения операций, составляет $F_D = 4100$ ч. Какой тип производства будет на участке изготовления данных деталей?

Определим по формуле (1.2) среднее штучное время на операцию.

$$T_{шт. ср} = \frac{\sum_{i=1}^n T_{шт. i}}{n} = \frac{55 + 40 + 25 + 60 + 45}{5} = 45 \text{ мин.}$$

По формуле (1.4) определим такт выпуска деталей.

$$T_B = \frac{F_D \cdot 60}{N} = \frac{4100 \cdot 60}{2000} = 123 \text{ мин.}$$

Используя формулу (1.1), рассчитаем коэффициент серийности.

$$K_c = \frac{T_B}{T_{шт. ср}} = \frac{123}{45} = 2,73.$$

Следовательно, на участке изготовления данных деталей будет крупносерийное производство.

Под *непоточным* видом организации производственного процесса понимается такой его вид, при котором заготовки, детали или собираемые изделия в процессе их производства находятся в периодическом движении с различной продолжительностью операций и пролеживания между ними, в результате чего процесс осуществляется с меняющейся величиной такта по каждой операции.

Из приведенных определений видно, что поточный вид организации производственного процесса, прежде всего можно использовать в массовом производстве. Тогда оно называется поточно-массовое.

Серийное производство, особенно при значительных величинах партий, также может быть организовано с использованием поточного вида. Тогда оно называется переменнo-поточное.

Серийность производства определяет степень детализации описания технологического процесса.

В единичном производстве осуществляется маршрутное описание технологического процесса, которое заключается в сокращенном описании всех технологических операций в последовательности их выполнения без указания переходов и технологических режимов.

В мелко- и среднесерийном, а для ответственных изделий и в единичном производствах производится маршрутно-операционное описание технологических процессов, при котором даются сокращенное описание технологических операций в маршрутной карте и полное описание ответственных операций, формирующих качество изделий.

В крупносерийном и массовом производствах, а для ответственных изделий и в средне- и мелкосерийном производствах осуществляется операционное описание технологических процессов, которое сводится к полному описанию всех технологических операций в последовательности их выполнения с указанием технологических переходов и режимов.

1.4. Технологичность конструкции изделий машиностроения

Совершенство конструкции изделия характеризуется его соответствием современному уровню техники, экономичностью и удоб-

ством в эксплуатации, а также тем, в какой мере учтены возможности использования наиболее экономичных и производительных технологических методов его изготовления применительно к условиям производства. Конструкцию изделия, в которой эти возможности полностью учтены, называют технологичной.

Технологичность конструкции изделий (ТКИ) — понятие комплексное, так как рассматривать изолированно заготовительный процесс, процесс обработки, сборки и контроля, испытания и эксплуатации нельзя, т. е. понятие технологичности конструкции машин распространяется не только на изготовление, но и на их эксплуатацию.

Изделие обрабатывается на технологичность в процессе его конструирования, а не изготовления. Технологичность конструкции оценивается качественно и количественно.

Качественная оценка базируется на сравнительном анализе возможности применения прогрессивных процессов изготовления при принятой и предлагаемой конструкции изделия.

При качественной оценке ТКИ используют технологические рекомендации, которые оформляются в виде нормативно-технических документов. Такие рекомендации, как правило, иллюстрируются примерами и пояснениями по типу «лучше — хуже», «рекомендуется — не рекомендуется», «технологично — не технологично».

Качественная оценка технологичности не определяет количественные отличия вариантов конструкции друг от друга и от нормативного (базового) варианта, принятого за эталон при сравнении, а устанавливает только вариант, который в большей степени соответствует требованиям технологических процессов изготовления. При этом качественная оценка технологичности конструкции изделия позволяет определить элементы конструкции детали или сборочной единицы, требующие изменения.

Пример 1.4

Сущность качественной оценки технологичности конструкции деталей можно понять из рис. 1.7. На нем слева приведены примеры нетехнологичных конструкций, справа — аналогичные конструкции, но более технологичные.

Сверление отверстия со стороны наклонной или криволинейной поверхности (рис. 1.7, а) осложняется тем, что при врезании сверло может сломаться из-за значительной радиальной нагрузки. Без канавки для выхода шлифовального круга (рис. 1.7, б) переход от цилиндрической к торцевой поверхности получится с закруглением вследствие износа абразивного инструмента. Для отделения стружки от заготовки при долблении паза в отверстии втулки (рис. 1.7, в) необходимо радиальное отверстие в конце паза (или кольцевая выточка) для выхода резца. Сквозное ступенчатое отверстие обрабатывается проще, чем два глухих отверстия с противоположных сторон втулки (рис. 1.7, г).

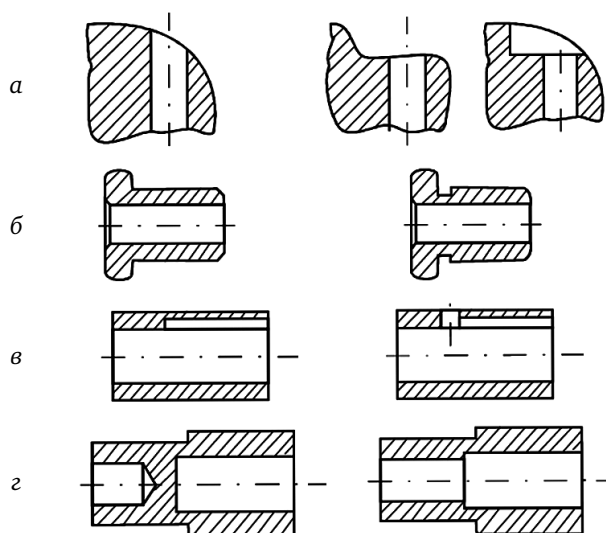


Рис. 1.7. Примеры нетехнологичных и технологичных конструкций деталей

Количественные методы оценки технологичности позволяют оценить, насколько один вариант отличается от другого, и установить, насколько принятый вариант соответствует эталонному, взятому за базу сравнения. Эти методы предусматривают применение показателей технологичности, позволяющих определить значения этих величин.

Согласно ГОСТу 14.201—83 «ЕСТПП. Обеспечение технологичности конструкции изделий» рекомендуют 11 показателей ТКИ (табл. 1.1).

Таблица 1.1

Рекомендуемый перечень показателей технологичности конструкции изделий по ГОСТу 14.201—83

№ п/п	Показатель	Виды изделия			
		деталь	сборочная единица	комплекс	комплект
1	Трудоемкость изготовления изделия	+	+	+	+
2	Удельная материалоемкость изделия (удельная металлоемкость, удельная энергоемкость и пр.)	—	+	+	—
3	Технологическая себестоимость изделия	+	+	+	+

№ п/п	Показатель	Виды изделия			
		деталь	сборочная единица	комплекс	комплект
4	Средняя оперативная трудоемкость технического обслуживания (ремонта) данного вида	0	+	+	–
5	Средняя оперативная стоимость технического обслуживания (ремонта) данного вида	0	+	+	–
6	Средняя оперативная продолжительность технического обслуживания (ремонта) данного вида	0	0	0	0
7	Удельная трудоемкость изготовления изделия	–	+	+	–
8	Трудоемкость монтажа	–	+	+	–
9	Коэффициент применяемости материала	–	+	0	0
10	Коэффициент унификации конструктивных элементов	+	0	0	0
11	Коэффициент сборности	–	+	+	–

Примечание. Знак «+» означает обязательное определение значения показателя точными методами; знак «–» означает, что для данного вида изделий не определяется значение показателя; знак «0» означает, что не обязательно определение показателя в общем случае.

1. Трудоемкость изготовления изделия (технологическая) — количество труда, выраженное во времени, необходимого для изготовления одного изделия:

$$T_{\text{и}} = \sum_1^n t_{\text{шт. к}}, \quad (1.5)$$

где $T_{\text{и}}$ — технологическая трудоемкость изготовления изделия; $t_{\text{шт. к}}$ — штучно-калькуляционное время выполнения операции; n — число операций, необходимых для изготовления изделия.

2. Удельная материалоемкость изделия — показатель, характеризующий расход материала, необходимый для получения единицы полезного эффекта от использования изделия по назначению. Металлоемкость изготовления изделия (общая металлоемкость) —