

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
«Северный (Арктический) федеральный университет
имени М.В. Ломоносова»

Филиал САФУ в г. Северодвинске
Институт судостроения и морской арктической техники

А.И. Бабкин

Проектирование валов и подшипниковых узлов

*Учебно-методическое пособие
к курсовому проектированию*

Архангельск
САФУ
2022

УДК 621.81
ББК 34.445
Б12

*Рекомендовано к изданию учебно-методическим советом
Северного (Арктического) федерального университета
имени М.В. Ломоносова*

Рецензенты:

Д.В. Кузьмин, вед. инженер-конструктор АО ПО «Севмаш», канд. техн.
наук, доцент;

Д.С. Иванов, начальник конструкторского бюро отдела главного
технолога АО «Центр судоремонта “Звездочка”»

Бабкин, А.И.

Б12 Проектирование валов и подшипниковых узлов: учебно-мето-
дическое пособие к курсовому проектированию / А.И. Бабкин; Сев.
(Арктич.) федер. ун-т им. М.В. Ломоносова. – Архангельск: САФУ,
2022. – 72 с.

ISBN 978-5-261-01583-3

Приведены описание работы валов и подшипниковых узлов, особенно-
сти выбора их конструктивных элементов, критерии работоспособности и
методика расчетов валов и подшипников. В приложении представлена необ-
ходимая для проектирования справочная информация.

Предназначено для студентов, выполняющих курсовое проектирование
по темам «Проектирование мотор-редуктора», «Проектирование обще-
промышленного привода» при изучении учебной дисциплины «Детали
машин и основы конструирования».

УДК 621.81
ББК 34.445

ISBN 978-5-261-01583-3

© Бабкин А.И., 2022
© Северный (Арктический)
федеральный университет
им. М.В. Ломоносова, 2022

1. Общие сведения

1.1. Порядок проектирования

Назначение валов – поддержка и направление вращающихся деталей и передача вращающего момента.

Основными критериями работоспособности валов являются прочность и выносливость (усталостная прочность). Валы испытывают сложную деформацию: совместное действие кручения, изгиба и растяжения (сжатия). Но так как напряжения в валах от растяжения-сжатия небольшие, то их обычно не учитывают.

Проектирование редукторных валов производится в три этапа:

1) проектировочный (приближённый) расчёт валов на кручение: определение расчетного диаметра вала;

2) конструирование вала: определение конструкции вала, подбор диаметров для каждого участка вала, подбор деталей и узлов, работающих совместно с валом, определение длин участков вала с согласованием длины каждого участка с окружающими деталями и общей компоновкой редуктора;

3) проверочные (уточнённые) расчёты валов на статическую и усталостную прочность.

Обычно при расчете валов выполняют проверочный расчет подшипников на долговечность, так как необходимые для расчета подшипников данные берут из расчета валов на статическую прочность.

Справочные таблицы, необходимые для проектирования, приведены в приложении.

1.2. Материалы валов

Валы редукторов рекомендуется изготавливать из конструкционных углеродистых и слаболегированных марок стали (табл. 1.1). Если проектируется вал-шестерня или вал червяка, то материал вала выбирают в соответствии с выбором материала при проектировании зубчатых или червячных передач.

Таблица 1.1

Механические характеристики материалов валов

Марка стали	Диаметр заготовки, мм	Твердость, НВ (не менее)	Механические характеристики, МПа					Коэффициент ψ_τ
			σ_b	σ_T	τ_T	σ_{-1}	τ_{-1}	
Ст5	Любой	190	520	280	150	220	130	0,06
45	≤ 120	240	780	540	290	360	200	0,09
	≤ 80	270	900	650	390	410	230	0,10
40Х	≤ 200	240	790	640	380	370	210	0,09
	≤ 120	270	900	750	450	410	240	0,10
40ХН	≤ 200	270	920	750	450	420	230	0,10
20Х	≤ 120	197	650	400	240	310	170	0,07
12ХН3А	≤ 120	260	950	700	490	430	240	0,10
18ХГТ	≤ 60	330	1150	950	660	500	280	0,12

Для повышения механических свойств вводят общую термообработку до твердости 230...260 НВ и при необходимости (шлицевой хвостовик или вал-шестерня) поверхностную закалку до твердости 38...42 HRC.

2. Проектировочный расчет валов

На начальной стадии проектирования, пока не известны длины участков вала, невозможно оценить величину изгибающей нагрузки, так как неизвестны плечи изгибающих моментов. Поэтому проектировочный расчёт валов выполняют только по напряжениям кручения, как при чистом кручении.

Значения допускаемых напряжений выбирают заниженными в пределах $[\tau]_{кр} = 10...30$ МПа. Меньшие значения $[\tau]_{кр}$ – для быстроходных валов, большие значения $[\tau]_{кр}$ – для тихоходных валов.

Для редукторных валов рекомендуется принимать: $[\tau]_{кр} = 10...15$ МПа – для быстроходных валов; $[\tau]_{кр} = 15...30$ МПа – для тихоходных валов.

Расчетный диаметр вала определяют по формуле

$$d_{в1} \geq \sqrt[3]{\frac{16T}{\pi[\tau]_{кр}}} \approx \sqrt[3]{0,2T[\tau]_{кр}},$$

где T – вращающий момент, Н·мм.

Рассчитанное значение $d_{в1}$ соответствует диаметру самого тонкого участка вала. Полученное значение $d_{в1}$ необходимо увеличить на 5...7 % в случае размещения на этом участке вала шпоночного или прессового соединения. Диаметр вала $d_{в1}$ округляется в большую сторону до стандартного значения по ГОСТ 12080-66 или ГОСТ 12081-72 (см. приложение, табл. 4, 5). Полезно согласовать диаметр быстроходного вала редуктора с диаметром вала электродвигателя для облегчения подбора муфты.

3. Конструирование валов

В качестве редукторных валов используются ступенчатые валы, количество и размеры ступеней вала зависят от количества и размеров установленных на вал деталей. Проектирование вала следует начинать с выходного конца вала, так как его конструкция и размеры определены ГОСТом. Рекомендуется принимать исполнение 1 (длинный конец вала).

Выбор типа конца вала определяется конструктивными соображениями.

Цилиндрические концы валов по ГОСТ 12080-66 (см. приложение, табл. 4) проще в изготовлении, но требуют дополнительной фиксации ступицы при посадке с зазором. При использовании посадки с натягом для высокоскоростных валов необходимо применение прессов для монтажа и демонтажа.

Конические концы валов по ГОСТ 12081-72 (см. приложение, табл. 5) сложнее при изготовлении, но обеспечивают плотную посадку ступицы, рекомендуются для высокоскоростных валов. Конический конец вала обеспечивает легкий монтаж и демонтаж ступицы.

После этого разрабатывается конструкция вала, обеспечивающая технологичность изготовления и сборки.

На рис. 3.1 приведены типовые конструкции валов одноступенчатых редукторов: *а* – быстроходный – цилиндрического; *б* – вал червяка; *в* – тихоходный.

Диаметры последующих участков определяют с учетом высоты заплечика t на каждом участке вала. Величина t должна быть достаточной для создания надежного упора, но не чрезмерной, так как это ведет к неоправданному увеличению массы вала.

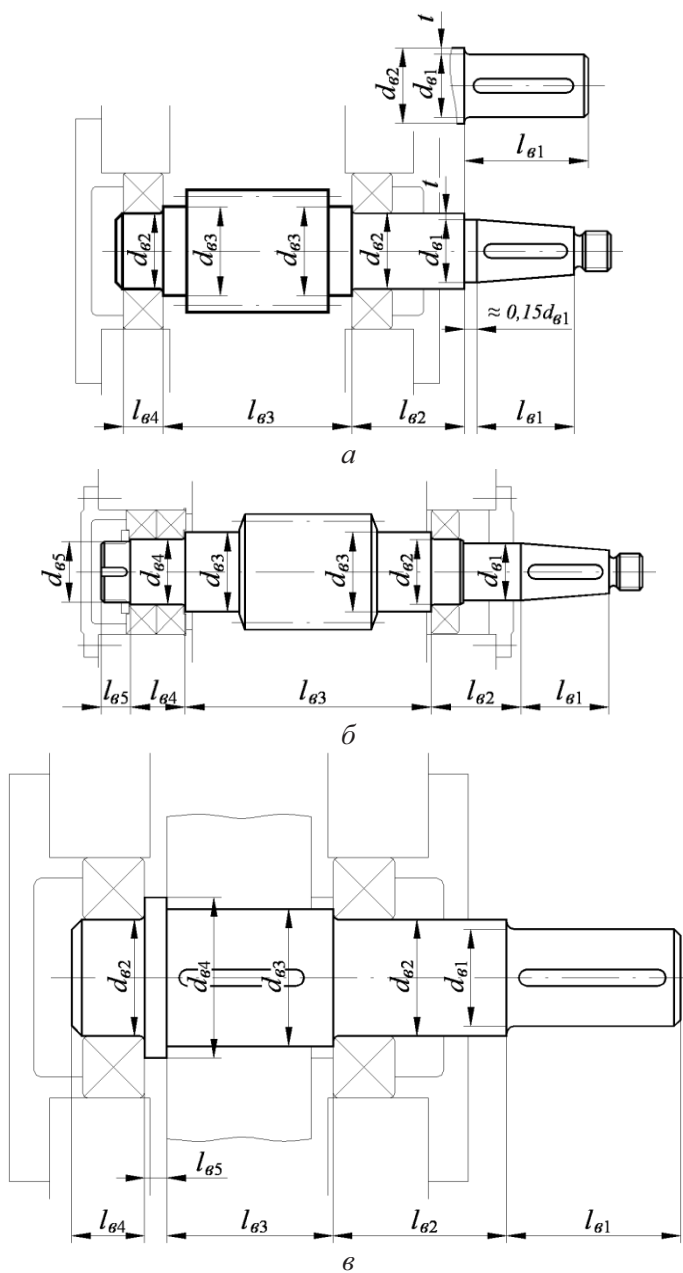


Рис. 3.1. Типовые конструкции валов одноступенчатых редукторов

Рекомендованные значения высоты t заплечика (буртика), фаски f ступицы колеса и радиусы закругления r_{\max} определяются по табл. 3.1 в зависимости от диаметра ступени вала d_b . Допускается отступать от предложенных рекомендаций по конструктивным или технологическим соображениям, например, принять одинаковые размеры фаски и радиусы закруглений для всего ступенчатого вала, а не разные для разных участков.

Таблица 3.1

Рекомендованные значения t, r_{\max}, f

Параметр	Диаметр ступени вала d_b						
	17...24	25...30	32...40	42...50	52...60	62...70	71...85
t	3	3,5	3,5	4,0	4,5	4,6	5,6
r_{\max}	1,5	2,0	2,5	3,0	3,0	3,5	3,5
f	1	1	1,2	1,6	2	2	2,5

Диаметры участков вала необходимо округлить до ближайшего стандартного значения из ряда $Ra 40$ по ГОСТ 6636-69 (см. приложение, табл. 1). Кроме этого, диаметры участков вала под подшипники нужно согласовать с посадочными размерами подшипников.

Длины участков вала (размеры $l_{b1}-l_{b5}$ на рис. 3.1) определяются по эскизной прорисовке (см. п. 3.2), в зависимости от размеров и расположения размещенных на валу деталей. Очень важно при исполнении прорисовки выполнять изображение деталей в строгом соответствии с масштабом.

3.1. Предварительный выбор подшипников качения

В редукторах опорами валов являются подшипники. В курсовых проектах рекомендуется использовать подшипники качения, серийно выпускаемые отечественной промышленностью.

Выбор наиболее рационального типа подшипника для данных условий работы редуктора зависит от факторов: передаваемой мощности редуктора, типа передачи, соотношения сил в зацеплении, частоты вращения внутреннего кольца подшипника, требуемого срока службы, приемлемой стоимости, схемы установки.

Предварительный выбор подшипников для каждого из валов редуктора проводят в следующем порядке:

Оглавление

1. Общие сведения	3
1.1. Порядок проектирования	3
1.2. Материалы валов	3
2. Проектировочный расчет валов	4
3. Конструирование валов	5
3.1. Предварительный выбор подшипников качения	7
3.2. Эскизная компоновка редуктора	9
4. Проверочные расчеты	12
4.1. Проверочный расчет на статическую прочность	12
4.2. Проверочный расчет на усталостную прочность	17
4.3. Проверка долговечности подшипников качения	22
5. Конструирование подшипниковых узлов	27
5.1. Схемы установки подшипников	27
5.2. Конструкция подшипниковых узлов	31
5.3. Регулировка теплового зазора в подшипниковых узлах	35
5.4. Уплотнительные устройства подшипниковых узлов	37
6. Пример выполнения расчета вала и подшипников	42
6.1. Проектировочный расчет вала	42
6.2. Конструирование вала	42
6.3. Проверочный расчет вала на статическую прочность	45
6.4. Проверочный расчет вала на усталостную прочность	51
6.5. Проверочный расчет подшипников на долговечность	53
Контрольные вопросы	55
Приложение	56